



**Seminararbeit zur Lehrveranstaltung
Fachwissenschaftliche Vertiefung mit pädagogischem Fokus Biologie**

Mikroverunreinigungen

Stefan Widmer

**Fachexperte: Dr. Etienne Vermeirssen
Beurteilung der didaktischen Kriterien: Dr. Marion Haug
Verantwortung Lehrveranstaltung: Prof. E. Hafen und Prof. M. Zwicky**

Zürich, November 2015

Einleitung

Die vorliegende Seminararbeit ist eine Vertiefung auf dem Gebiet der Ökotoxikologie mit Fokus auf das Thema Mikroverunreinigungen.

Rückstände von Chemikalien können in Schweizer Gewässern nachgewiesen werden. Sie stammen aus einer Vielzahl von Produkten unseres täglichen Gebrauchs wie Kosmetika, Pharmaka und Reinigungsmittel. Die Belastung der Gewässer durch Mikroverunreinigungen wird in der Öffentlichkeit diskutiert. Die Wirkungen von Chemikalien in tiefen Konzentrationen auf Mensch und Umwelt sind weitgehend unbekannt. Es besteht ein potenzielles Risiko für Populationen, Arten und Ökosysteme. Deshalb wurden politische Entscheide gefällt, die die Belastung von Mikroverunreinigungen einschränken sollen.

Die pädagogische Aufbereitung dieses Themas hat den Zweck anwendbares Unterrichtsmaterial zu liefern. Dieses ist für eine Verwendung im Gymnasium sowie in der Umweltbildung vorgesehen.

Übersicht

Die Arbeit ist folgendermassen gegliedert:

- Lehrbuchkapitel
- Didaktische Umsetzung
- Appendix

Das Lehrbuchkapitel ist an die Schülerinnen und Schüler gerichtet. Es vermittelt Grundlagen der Ökotoxikologie und fasst Informationen aus Studien und Lehrbüchern zu Mikroverunreinigungen zusammen. Einzelne Lerninhalte können anhand des Lehrbuchkapitels theoretisch erarbeitet werden. Es eignet sich als Handout, um den Biologieunterricht in diesem Thema zu begleiten. Auszüge davon könnten auch bei der Umweltbildung als Hintergrundinformation dienlich sein. Für Maturanden, die sich auf dem Fachgebiet Mikroverunreinigungen vertiefen wollen, beispielsweise um eine Maturaarbeit zu schreiben, kann das Lehrbuchkapitel als Überblick und Einstiegshilfe nützlich sein.

Die didaktische Umsetzung beinhaltet Überlegungen zur Einbettung des Themas im Lehrplan an einem Gymnasium. Einzelne Aspekte der Arbeit lassen sich auch in der Umweltbildung umsetzen. Die Arbeitsaufträge für die didaktische Umsetzung sind voneinander unabhängig. Somit kann eine Lehrperson einfach einzelne Elemente in ihren Unterricht integrieren. Je nach Arbeitsauftrag ist es allenfalls sinnvoll das Lehrbuchkapitel zur Vor- oder Nachbereitung zu verwenden. Somit können Hintergrundinformationen

und Zusammenhänge vermittelt werden, um die Anwendungen besser mit der Theorie zu verknüpfen. Für die praktische Auseinandersetzung mit dem Thema lässt sich ein Bio-test der Wasserqualität durchführen. Eine Anleitung dazu ist ebenfalls in dieser Arbeit enthalten.

Inhaltsverzeichnis

I. Lehrbuchkapitel	6
1. Mikroverunreinigungen Überblick	7
1.1. Was sind Mikroverunreinigungen?	7
1.2. Woher kommen Mikroverunreinigungen?	8
1.3. Wie wirken Mikroverunreinigungen?	8
2. Wirkung von Chemikalien in der Umwelt	9
2.1. Toxizität	9
2.2. Toxizität in der Umwelt	10
2.3. Hormonaktive Chemikalien	11
3. Verhalten von Chemikalien in der Umwelt	15
3.1. Chemische Eigenschaften	15
3.2. Bioakkumulation	16
4. Beispiele von Mikroverunreinigungen	18
4.1. Medikamente	18
4.2. Flammschutzmittel	19
4.3. Pestizide	19
4.4. Weichmacher	20
4.5. UV-Filter	20
5. Nachweismethoden und Testsysteme	22
5.1. Nachweis von Mikroverunreinigungen	22
5.2. Effektbasierter Nachweis von Mikroverunreinigungen	22
5.3. Anforderungen an Testsysteme	23
6. Massnahmen gegen den Eintrag von Mikroverunreinigungen	25
6.1. Reinigungsverfahren	25
6.2. Ozonung	25
6.3. Aktivkohle Behandlung	26
6.4. Verweildauer	26
6.5. Massnahmen an der Quelle	27
7. Risikoanalyse	29
Glossar	30

Inhaltsverzeichnis

II. Didaktische Umsetzung	34
8. Hintergründe zum Thema Mikroverunreinigungen	35
8.1. Zusammenfassung	35
8.2. Diskussion in der Gesellschaft	36
8.3. Forschungsgebiet	36
9. Stellenwert des Themas in der Biologie	38
9.1. Einbettung im Lehrplan	38
9.2. Bezug zur Evolutionstheorie	38
9.3. Bezug zu biologischen Grundkonzepten	39
9.4. Verbindung zu anderen Disziplinen	40
10. Didaktische Umsetzung	42
10.1. Reflexion über grundlegende Misskonzepte	42
10.2. Lernziel	43
10.3. Prüfungsfragen	44
10.4. Arbeitsblätter	48
Fallstudie Mikroverunreinigungen	48
Inhaltsstoffe von Pflegeprodukten	48
Lernaufgabe Bioakkumulation	49
Problem based learning: Hormonaktive Substanzen	49
Lernaufgabe Risikoanalyse	50
10.5. Anleitung Bachflohkrebsversuch	51
Vorschlag für eine Alternative zum Feldversuch	58
Literatur	62
Appendix	65

Teil I.

Lehrbuchkapitel

1. Mikroverunreinigungen Überblick

1.1. Was sind Mikroverunreinigungen?

In den Gewässern kommen synthetische organische Stoffe in sehr geringen Konzentrationen vor (ng/L - µg/L)¹. Erst durch neue analytische Methoden können Stoffe in solch tiefen Konzentrationen überhaupt nachgewiesen werden. Zur Veranschaulichung: Eine Konzentration von 100 ng/L entspricht etwa der Konzentration des Wirkstoffs einer Kopfschmerztablette (500 mg Paracetamol) in zwei olympischen Schwimmbecken (50 m × 25 m × 2 m = 2500 m³ → 2 Becken = 5 Millionen Liter) siehe Abbildung 1.1.



Abbildung 1.1.: Der Wirkstoff einer Kopfschmerztablette (500 mg Paracetamol) aufgelöst in zwei olympischen Schwimmbecken entspricht einer Konzentration im Bereich der Mikroverunreinigungen (100 ng/L).

¹Für gewisse Substanzen gelten Qualitätskriterien im Konzentrationsbereich von pg/L. Der EU Grenzwert von 17α-Ethinylestradiol (EE2) liegt beispielsweise bei 35 pg/L.

1.2. Woher kommen Mikroverunreinigungen?

Mikroverunreinigungen stammen aus verschiedenen Quellen. Aus Haushalten gelangen Medikamentenrückstände, Inhaltsstoffe von Körperpflegeprodukten und Reinigungsmittel über das Abwasser in die Gewässer. Das Abwasser wird zwar in den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) gereinigt, jedoch werden zahlreiche Stoffe nur teilweise entfernt. Dazu kommt, dass ein kleiner Teil des Abwassers über Lecks direkt in die Umwelt gelangt. Die in der Landwirtschaft benutzten Pflanzenschutzmittel werden bei Regen aus den Feldern gewaschen und gelangen direkt in die Gewässer¹. Bei starken Regenfällen wird das Abwasser über die Regenüberläufe direkt in die Gewässer geleitet. So gelangen zeitweise Stoffe in die Gewässer, die normalerweise in der ARA abgebaut werden. Ein besonderer Fall sind Biozide aus Fassadenanstrichen, welche gerade bei diesen Regenernissen ausgewaschen werden.

Mikroverunreinigungen gelangen nicht nur in die Oberflächengewässer, sondern auch ins Grundwasser. Das bedeutet, dass manche Mikroverunreinigungen auch im Trinkwasser nachgewiesen werden können².

1.3. Wie wirken Mikroverunreinigungen?

Mikroverunreinigungen können im Körper von Tieren und Menschen wie Hormone wirken. Wenn Substanzen in das Hormonsystem eingreifen, reichen bereits sehr tiefe Konzentrationen aus, um Wirkungen hervorzurufen. Einige dieser Stoffe wirken wie das weibliche Geschlechtshormon Östrogen. In der Umwelt konnten schon verschiedene Fälle beobachtet werden, wo das Hormonsystem von Fischen und anderen Tieren durch Chemikalien gestört wurde^{3,4}. Dies hatte Veränderungen im Fortpflanzungssystem zur Folge. Bei Menschen wird befürchtet, dass Mikroverunreinigungen während der Embryonalentwicklung zu Störungen führen können⁵.

2. Wirkung von Chemikalien in der Umwelt

2.1. Toxizität

Die Wirkung einer Substanz ist von ihrer Konzentration abhängig. Jeder Stoff ist ab einer bestimmten Konzentration giftig. Die Toxizität ist eine Stoffeigenschaft, die besagt, wie giftig eine Chemikalie ist. Um herauszufinden bei welcher Konzentration oder Dosis eine Chemikalie eine bestimmte Wirkung zeigt, werden Toxizitätstests durchgeführt. Bei solchen Tests werden Testorganismen bestimmten Konzentrationen eines Stoffes ausgesetzt. Für jede Konzentration wird analysiert, bei wie vielen Individuen eine Wirkung eintritt. Dies ist in der Abbildung 2.1 dargestellt.

Das Resultat eines Toxizitätstests lässt sich in einer sogenannten Dosis-Wirkungs-Kurve darstellen (Abbildung 2.2). Bei der Interpretation einer solchen Kurve ist der EC_{50} -Wert wichtig. Er gibt an, welche Konzentration bei der Hälfte der getesteten Individuen die gefragte Wirkung auslöst. Die akute Toxizität wird in der Regel durch die Mortalitätsrate bestimmt. Dabei werden die Testorganismen während einer kurzen Expositionszeit einer hohen Konzentration des Stoffes ausgesetzt. Der EC_{50} -Wert wird dabei zum LC_{50} -Wert (Lethal Concentration). Er ist die Konzentration bei welcher 50% der Organismen nach kurzzeitiger Verabreichung eines Stoffes sterben. Akute Wirkungen spielen in der Ökotoxikologie beispielsweise bei Unfällen, bei denen grosse Mengen von Chemikalien in die Umwelt gelangen, eine Rolle. Dies sind jedoch Ausnahmefälle. Die chronische Einwirkung von Chemikalien in geringen Konzentrationen ist die eigentliche Problematik in der Ökotoxikologie. Um die chronische Toxizität zu bestimmen, werden Organismen über längere Zeit einer Substanz exponiert. Je nach Organismus

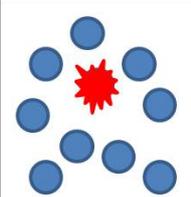
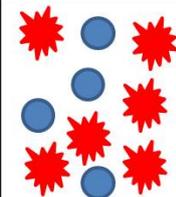
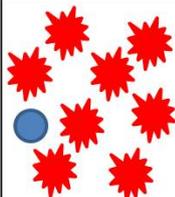
Konzentration (mg/L)	0.5	2	10	50
Wirkung				

Abbildung 2.1.: Schematische Darstellung eines Ökotoxizitätstests: Testorganismen (blau) werden einem Wirkstoff ausgesetzt. Je nach Konzentration des Wirkstoffs zeigen mehr oder weniger der Organismen einen Effekt (rot).

2. Wirkung von Chemikalien in der Umwelt

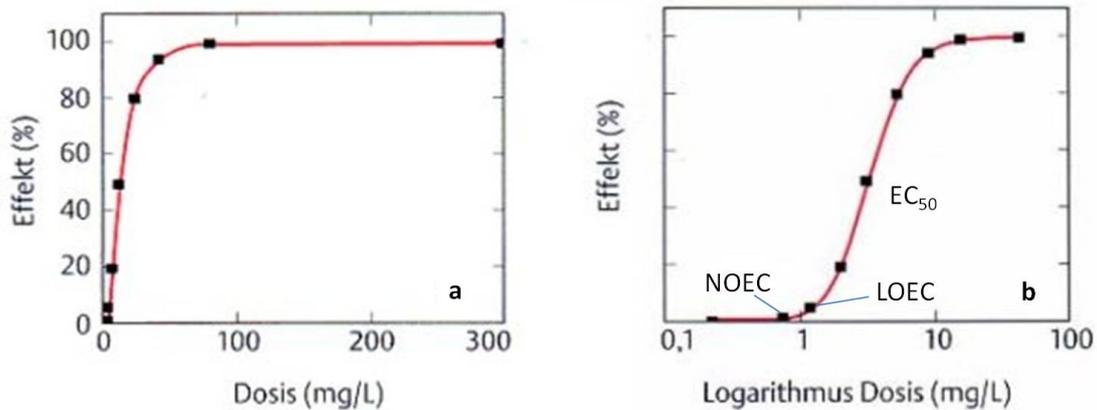


Abbildung 2.2.: Dosis-Wirkungs-Kurven in linearer (a) und halblogarithmischer Form (b). Die Punkte stellen die Resultate von einzelnen Experimenten dar. EC_{50} = Konzentration bei der die Chemikalie bei 50% Organismen eine Wirkung verursacht. NOEC = Konzentration bei der noch keine Effekte beobachtet werden. LOEL = Konzentration bei der erste Effekte im Experiment auftreten (nach Fent 2013)⁶.

und Substanz kann ein Experiment von einigen Tagen bis zu mehreren Jahren dauern. Bei der Beurteilung der chronischen Wirkung einer Substanz sind der NOEC-Wert (No Observed Effect Concentration) und der LOEC-Wert (Lowest Observed Effect Concentration) besonders interessant. Der NOEC-Wert ist die höchste Konzentration bei der keine beobachtbaren Effekte nach längerer Expositionszeit auftreten. Der LOEC-Wert ist die niedrigste Konzentration, bei der erste Effekte nachgewiesen werden können.

Die Resultate von Toxizitätstests sind immer nur für die getesteten Organismen gültig. Manche Arten sind besonders empfindlich auf einen bestimmten Stoff und sterben schon bei sehr tiefen Konzentrationen. Andere Arten können mit demselben Stoff gut umgehen und vertragen hohe Konzentrationen⁶.

2.2. Toxizität in der Umwelt

Die Ökotoxikologie befasst sich mit den Wirkungen von Chemikalien auf einzelne Organismen und ganze Ökosysteme. Um die Auswirkungen auf ein Ökosystem abzuschätzen werden Wirkungsanalysen auf der Ebene von Organismen durchgeführt. Dabei werden wenige typische Arten eines Ökosystems untersucht. Für eine gute Abschätzung der ökotoxikologischen Wirkung macht es Sinn, Organismen verschiedener trophischer Stufen zu untersuchen. Typische Modelorganismen der Ökotoxikologie sind Algen (Primärproduzent), Wasserfloh (Primärkonsument) und Fisch (Sekundärkonsument)⁶. Wie in der Abbildung 2.2 zu sehen ist, bestimmt die Konzentration einer Substanz darüber, ob die Substanz eine Wirkung auf Organismen hat.

2. Wirkung von Chemikalien in der Umwelt

Mikroverunreinigungen kommen in extrem tiefen Konzentrationen in der Umwelt vor (Abschnitt 1.1). Die meisten Chemikalien haben in solch niederen Konzentrationen keine messbare Wirkung. Besitzen Chemikalien jedoch bestimmte Eigenschaften, so können sie bereits in den Konzentrationen der Mikroverunreinigungen auf Organismen wirken. Besonders wirksam sind Substanzen, die in die Steuerung eines biologischen Systems eingreifen. Ein Beispiel dafür sind hormonaktive Chemikalien. Sie können den Hormonhaushalt des Körpers durcheinander bringen, was schwerwiegende Folgen auf die Entwicklung oder die Fortpflanzung haben kann. Manche Mikroverunreinigungen haben in der Umwelt dieselbe Wirkung wie an ihrem Einsatzort. Die spezifische Wirkung, die bei der Anwendung erwünscht war, hat unerwünschte Folgen, wenn die Substanz in die Umwelt gelangt. So wirken sich die Hormone aus der Antibabypille negativ auf die Fortpflanzung von Fischen aus. Ein anderes Beispiel sind Pflanzenschutzmittel gegen Unkraut, die gezielt die Photosynthese blockieren. Dieselbe Wirkung üben sie auch auf Algen in den Gewässern aus.

Organismen sind in der Umwelt einem Gemisch von vielen verschiedenen Substanzen ausgesetzt. Es ist möglich, dass die kombinierte Wirkung von Substanzen stärker ist als die Wirkung einer isolierten Substanz. Die Wirkung einer Substanz bei einer bestimmten Konzentration kann verstärkt werden, wenn sie in einem Gemisch von verschiedenen Substanzen vorkommt. Bei einem Gemisch ist es jedoch schwer herauszufinden, wie die einzelnen Substanzen genau wirken. Eine verstärkte Wirkung bedeutet nicht immer, dass zusätzliche Stoffe den gleichen Prozess beeinflussen. Eine Verstärkung kann allein durch den Stress hervorgerufen werden, den der Organismus hat, wenn er mit einem zusätzlichen Schadstoff umgehen muss⁶. Bei der Beurteilung der Belastung durch Mikroverunreinigungen ist es daher sinnvoll einen Effektnachweis mit Umweltproben durchzuführen (siehe Abschnitt 5.2).

2.3. Hormonaktive Chemikalien

Viele Hormone werden im Körper von endokrinen Drüsen gebildet. Über die Blutbahn erreichen sie die Zellen des ganzen Körpers. Die Zellen, die von den Hormonen angesprochen werden, sind die Zielzellen. Diese besitzen einen Rezeptor, der das Hormon bindet. Das Hormon passt zum Hormonrezeptor wie ein Schlüssel zum Schloss. Durch die Bindung des Hormons wird der Rezeptor aktiviert und löst in der Zelle eine Reaktion aus (dargestellt in Abbildung 2.3 und 2.4). Auf diese Weise werden verschiedenste Lebensvorgänge gesteuert. Bindet beispielsweise das Hormon Estradiol an den Östrogenrezeptor, so aktiviert dieser die Transkription von Genen. Die DNA wird an einer bestimmten Stelle abgelesen und als RNA Molekül vervielfältigt. Je nach Zielzelle werden aber andere Gene exprimiert. Das Hormon löst also in den verschiedenen Zellen unterschiedliche Reaktionen aus. In einer Knochenzelle bewirkt die Aktivierung des Östrogenrezeptors, die vermehrte Einlagerung von Kalzium in den Knochen, während in der Hypophyse die Ausschüttung von LH und FSH gehemmt wird⁷.

2. Wirkung von Chemikalien in der Umwelt

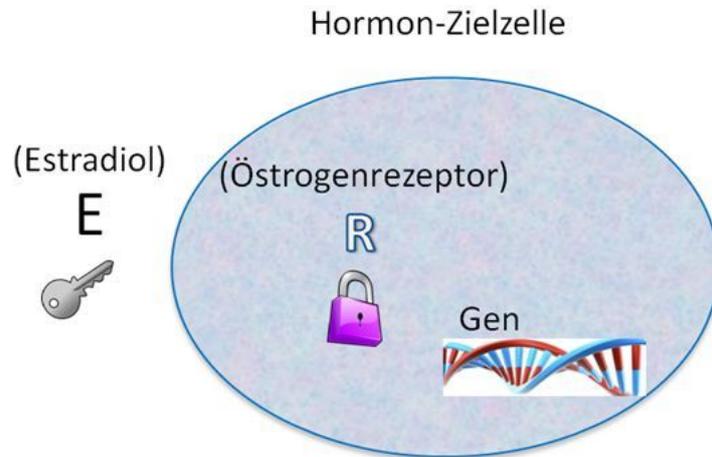


Abbildung 2.3.: Estradiol befindet sich ausserhalb der Hormon-Zielzelle. In der Zielzelle befindet sich der Östrogenrezeptor

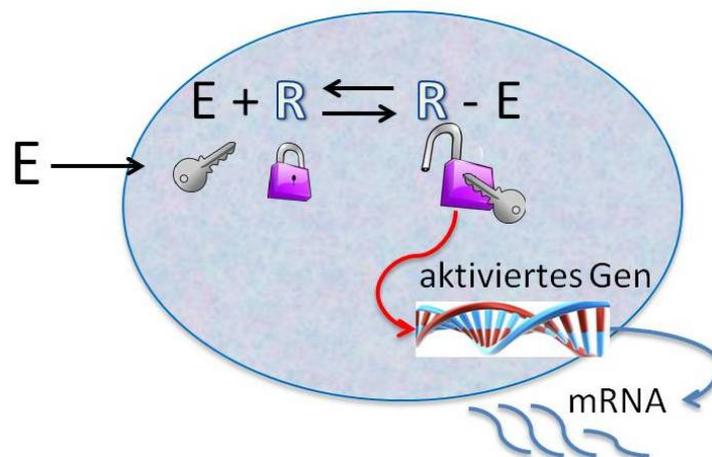


Abbildung 2.4.: Estradiol passiert die Zellmembran und gelangt in die Hormon-Zielzelle. In der Zielzelle bindet Estradiol an den Östrogenrezeptor. Die Bindung aktiviert den Östrogenrezeptor, er kann nun bestimmte Gene aktivieren. Die aktivierten Gene werden transkribiert (mRNA wird synthetisiert). Mit der mRNA werden schliesslich Proteine synthetisiert. Zusammengefasst werden durch die Bindung von Estradiol an den Östrogenrezeptor, molekulare Prozesse in der Hormon-Zielzelle ausgelöst.

2. Wirkung von Chemikalien in der Umwelt

Hormonaktive Substanzen sind oft dazu in der Lage, an den Östrogenrezeptor oder an den Androgenrezeptor zu binden. Neben den Geschlechtshormonen können auch andere Hormonsysteme durch äussere Faktoren gestört werden, wie etwa das der Schilddrüsenhormone. Manche der Substanzen wirken wie körpereigene Hormone und aktivieren somit den Rezeptor. Es ist auch möglich, dass ein Stoff an einen Hormonrezeptor bindet, diesen dabei aber nicht aktiviert. Solch ein Stoff kann die Wirkung der natürlichen Hormone einschränken. Wenn beispielsweise ein Stoff dem Östrogen entgegen wirkt bezeichnet man ihn als antiöstrogen. Ein Beispiel dafür ist die Chemikalie Tamoxifen. Sie bindet an den Östrogenrezeptor, und macht diesen somit für das wirksamere Estradiol unzugänglich. Manche hormonaktiven Chemikalien wirken auch auf den Hormon-Metabolismus, das heisst sie beeinflussen die Hormonsynthese.

Bis vor kurzem konnte anhand der chemischen Struktur keine Vorhersage gemacht werden, ob ein Stoff hormanaktiv ist oder nicht. Heute kann dies mit Computersimulationen erreicht werden. Es wird berechnet ob ein gewisses Molekül an einen Rezeptor binden kann. Somit kann anhand der chemischen Struktur eine Aussage gemacht werden ob ein bestimmtes Molekül beispielsweise an den Östrogrezeptor binden kann⁸.

Besonders verbreitet in der Umwelt sind Stoffe, die wie das weibliche Geschlechtshormon Östrogen wirken. Es gibt natürliche Stoffe, die auf den Hormonhaushalt wirken. Ein Beispiel sind Kleearten mit antiöstrogener Wirkung. Sie wurden entdeckt weil Schafe in gewissen Gebieten unfruchtbar waren. Ein anderes Beispiel von natürlich vorkommenden Substanzen ist körpereigenes Östrogen. Es wird von Tieren über den Urin ausgeschieden. Auf diese Weise entlassen Viehhaltungen Östrogen in die Umwelt. Daneben gibt es viele Chemikalien mit östrogener Wirkung die vom Menschen eingesetzt werden.

Das klassische Beispiel für einen Umweltschadstoff ist das Pestizid DDT. Es wurde eingesetzt um Insekten zu töten, die die Ernte bedrohen. Es stellte sich heraus, dass DDT die Eierschalen bei Vögel dünner werden lässt und so zum Zerbrechen der Eier führt. Diese Wirkung wird durch die Störung der Eierschalensynthese verursacht⁷. DDT und andere Organochlor-Pestizide haben aber auch eine östrogene Wirkung. Dies zeigten Beobachtungen an Vögel und Alligatoren. Unter dem Einfluss von Pestiziden ist ihre Geschlechtsentwicklung verändert. Es konnte gezeigt werden, dass die Konzentration von Testosteron und Estradiol im Blut von Alligatoren in einem Pestizid belasteten Gebiet verändert war⁷. Ein anderes Pflanzenschutzmittel das nachweisbar auf das Hormonsystem wirkt ist Atrazin. Atrazin ist das meist eingesetzte Pestizid in den USA und wahrscheinlich weltweit. Das Pestizid gilt als sicher, weil es eine relativ kurze Halbwertszeit hat und nicht zu Bioakkumulation neigt (siehe Abschnit 3.2). Es steht jedoch im Verdacht einen Rolle beim Rückgang der Amphibienpopulationen zu spielen. Es wurde gezeigt, dass Atrazin eine Verweiblichung bei Fröschen bewirkt^{4,9}. Wenn männliche Frösche im Labor einer Konzentration von Atrazin ausgesetzt wurden, wie sie auch in der Umwelt zu finden ist, wurde ein Grossteil der Männchen unfruchtbar. Jedes zehnte Männchen wandelte sich sogar zu einem fortpflanzungsfähigen Weibchen um. Nachkommen dieser Weibchen, die genetisch gesehen immer noch Männchen sind, sind zu 100% Männchen¹⁰. Das bedeutet, dass dieses Phänomen eine kritische Verschiebung im Geschlechterverhältnis bewirken kann. Es wird vermutet, dass Atrazin das Hormonsystem

2. Wirkung von Chemikalien in der Umwelt

stört indem es die Aromataseaktivität steigert. Dieses Enzym bewirkt eine vermehrte Umwandlung von Testosteron in Östrogen.

Eine besonders sensible Phase für die Wirkung von hormonaktiven Substanzen ist die Embryonalentwicklung. Dies wird ersichtlich am Beispiel der weiblichen Hirnentwicklung bei Säugetieren. Östrogen scheint dabei eine wichtige Rolle für die Entwicklung des Sexualverhaltens zu spielen. Das Hormon ist jedoch sehr gering konzentriert, weshalb exogene östrogen aktive Substanzen bereits in geringen Konzentration eine Wirkung haben können¹¹. Schadstoffe im Körper der Frau können auf den Embryo wirken, wenn sie die Plazentaschranke überwinden. Selbst nach der Geburt kann der Säugling Schadstoffe aufnehmen, wenn sich solche in der Muttermilch anreichern. Deshalb ist Exposition der Frau mit hormonaktiven Substanzen während der Schwangerschaft und während dem Stillen besonders heikel¹².

3. Verhalten von Chemikalien in der Umwelt

3.1. Chemische Eigenschaften

Bei der Beurteilung wie stark ein Stoff in der Umwelt wirksam ist, muss das Verhalten analysiert werden. Je nachdem, welche chemischen Eigenschaften ein Stoff besitzt, findet man ihn eher gelöst im Wasser oder gebunden an Feststoffe. Wie schnell sich ein Stoff in der Umwelt verbreitet, ist bei der Abschätzung wo und in welcher Konzentration der Stoff vorkommen wird von Bedeutung. Daneben ist es entscheidend darüber Bescheid zu wissen, wie schnell ein Stoff in der Umwelt abgebaut wird. Um das Umweltverhalten einer Chemikalie vorherzusagen werden folgende Eigenschaften betrachtet:

Persistenz: Wenn ein Stoff sehr stabil ist und kaum in der Umwelt abgebaut wird, wird er als persistent bezeichnet. Ein Stoff kann durch die Einwirkung von Sonnenlicht zerfallen. Dieser Vorgang wird Photolyse genannt. Wird ein Stoff von Organismen aufgenommen, wird er in den meisten Fällen zu einem gewissen Grad metabolisiert. Bei dem biologischen Abbau entstehen Abbau- und Umwandlungsprodukte, welche von den Organismen wieder ausgeschieden werden. In der Umwelt gibt es auch Chemikalien, welche mit verschiedenen Stoffen reagieren können. Beim chemischen Abbau werden die Stoffe zu Reaktionsprodukten umgewandelt. Für die Persistenz sind meist Kohlenstoff-Chlor-Verbindungen verantwortlich. Diese sind sehr schwer zu hydrolysieren. Das macht das Molekül widerstandsfähig gegen chemischen, biologischen und photolytischen Abbau. Persistente Chemikalien sind gefährlich für die Umwelt, weil die Zufuhr rate die tiefe Abbaur rate schnell übersteigen kann. Die Stoffe können sich anreichern und so wirksame Konzentrationen erreichen.

Wasserlöslichkeit: Ein entscheidender Faktor für die Verteilung eines Stoffes in der Umwelt ist die Wasserlöslichkeit. Eine gute Wasserlöslichkeit ermöglicht die Verteilung über Gewässer. Was die Mikroverunreinigungen aus Haushalten angeht, so sind wasserlösliche Stoffe besonders problematisch, weil sie die ARA recht gut passieren können. Stoffe die nur schlecht wasserlöslich sind, werden eher durch die ARA aus dem Abwasser entfernt. Diese Stoffe binden (adsorbieren) an Partikel, die in der ARA zurückgehalten werden und landen im Klärschlamm. Für die Wasserlebewesen können wasserlösliche Stoffe besonders gefährlich sein, weil sie den gelösten Stoffen permanent ausgesetzt sind. Für Menschen können die wasserlöslichen Stoffe dann gefährlich werden, wenn sie ins Trinkwasser gelangen. Nicht wasserlösliche Stoffe binden sich an Partikel und lagern sich in Zellmembranen und im Fettgewebe ein. Sie werden eher über die Nahrung aufgenommen. Schadstoffe können

3. Verhalten von Chemikalien in der Umwelt

sich beispielsweise an Früchten und Gemüse anlagern oder im Fleisch von Tieren angereichert werden (siehe Abschnitt 3.2).

Flüchtigkeit: Die Flüchtigkeit eines Stoffes besagt, wie schnell er in die Gasphase eintritt. Flüchtige Stoffe können gefährlich sein, weil sie durch die Luft eingeatmet werden können. Über die Schleimhäute können sie direkt ins Blut gelangen, ohne zuerst die Leber zu passieren. Auch nicht-flüchtige Stoffe können in der Luft vorkommen, wenn sie sich an Staubpartikel anlagern. Auf diesem Weg gelangen viele Stoffe in die Atmosphäre, wo sie über weite Strecken transportiert werden können.

3.2. Bioakkumulation

Die Anreicherung eines Fremdstoffes im Organismus nennt man Bioakkumulation. Fremdstoffe werden direkt aus der Umgebung oder über die Nahrung aufgenommen. Fettlösliche Stoffe reichern sich im Fettgewebe an. Sie werden nur schwer vom Körper ausgeschieden. Wird ein Stoff nur schlecht vom Körper abgebaut, kann er sich immer weiter anreichern. Wasserlösliche Stoffe neigen nicht zur Anreicherung im Körper und werden schnell wieder ausgeschieden. Ob sich ein Stoff im Körper anreichert, ist von der Aufnahmerate und der Eliminationsrate abhängig. Die Eliminationsrate beschreibt, wie schnell ein Stoff den Körper durch Abbau oder Ausscheidung verlässt. Übersteigt die Aufnahmerate die Eliminationsrate, kommt es zur Bioakkumulation. Geschieht die Bioakkumulation über die Nahrungsaufnahme, so kann der Stoff entlang der Nahrungskette immer weiter angereichert werden. Die Primärproduzenten akkumulieren fettlösliche Schadstoffe aus der Umwelt. Diese Stoffe halten sich lieber im Fettgewebe oder in Zellmembranen auf als im Wasser. Primärkonsumenten nehmen, wenn sie die Primärproduzenten fressen, die angereicherten Stoffe auf. Im Körper der Primärproduzenten reichert sich der Stoff weiter an. Die Sekundärkonsumenten wiederum fressen die Primärkonsumenten und damit auch die angereicherten Stoffe. Die Konzentration des Stoffes steigt mit zunehmender Trophieebene an, wobei wirksame Konzentrationen immer wahrscheinlicher werden. Tertiärkonsumenten haben also die höchste Belastung.

Die Entdeckung der Bioakkumulation ist mit der Geschichte von DDT verbunden.

Die Geschichte von DDT

Das Pflanzenschutzmittel Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) ist ein Insektizid, also ein Gift, das vor allem gegen Insekten wirkt. Die insektizide Wirkung von DDT wurde 1939 von dem Schweizer Industrie-Chemiker Paul Müller entdeckt. DDT wurde in den kommenden 30 Jahren sehr erfolgreich gegen landwirtschaftliche Schädlinge, wie den Kartoffelkäfer, eingesetzt. Ein weiteres Einsatzgebiet von DDT war die Malariabekämpfung. DDT wurde grossflächig in Malariagebieten versprüht um die Anophelesmücke, Überträgerin des Krankheitserregers der Malaria, zu vergiften. In Italien wurde Malaria durch das Besprühen der Hauswände mit DDT bekämpft. Der grosse Erfolg des Insektizids brachte P. Müller 1948 einen Nobelpreis ein. Seit 1955 wurden bei Wanderfalken und anderen Greifvögel, häufig zerbrochene Gelege gefunden. Man fand heraus, dass die Eier der Greifvögel deutlich dünnere Eierschalen hatten als früher. Die Bestände der Wanderfalken in Deutschland hatten um 1965 um 80% abgenommen, im Osten der USA und in Kanada war die Art gänzlich verschwunden. Die Verdünnung der Eierschalen wurde mit dem DDT Einsatz in Verbindung gebracht. Diese Beobachtung führte 1967 zur Entdeckung der Bioakkumulation. Die Konzentrationen der DDT Rückstände wurden untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass Räuber an der Spitze der Nahrungskette höhere DDT Konzentrationen hatten als ihre Beutetiere. Die DDT Konzentrationen nahmen in Organismen mit der Trophieebene zu. Es konnte experimentell nachgewiesen werden, dass die Verdünnung der Eierschalen bei Greifvögeln und Wasservögeln durch DDT verursacht wird. Daraufhin wurde der Einsatz von DDT in der Landwirtschaft in vielen Ländern verboten. Das Pestizid wurde in der Malariabekämpfung weiterhin eingesetzt. Bei den wiederholten Einsätzen von DDT überlebten immer die Mücken, die durch eine zufällige Anpassung besser mit dem Gift umgehen konnten. So entwickelten sich Mückenpopulationen, die nicht mehr so anfällig auf DDT waren. Deshalb verlor der Einsatz des Insektizids an Effizienz. Heute gilt der grossflächige Einsatz von DDT als nicht nachhaltig.

4. Beispiele von Mikroverunreinigungen

4.1. Medikamente

In vielen Gewässern sind Spuren von Medikamenten nachweisbar. Die wichtigsten Gruppen sind Schmerzmittel, Entzündungshemmer, Antibiotika, Herzmittel, Lipidsenker, Antiepileptika, Antidepressiva und hormonelle Verhütungsmittel.

Landesweit werden diese Medikamente in Tonnen verbraucht. Der Verbrauch von Acetylsalicylsäure (Aspirin) lag 2009 beispielsweise bei 43.8 Tonnen in der Schweiz¹³. Der Eintrag in Gewässer findet fast ausschliesslich über das gereinigte Abwasser statt. Aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften werden Medikamente mehr oder weniger gut von der Kläranlage eliminiert. Die Konzentrationen, die in den Gewässern gemessen werden, liegen gewöhnlich nicht im Bereich, in dem sie akute Effekte bei Wasserlebewesen auslösen. Über die chronische Toxizität von Mikroverunreinigungen allgemein ist relativ wenig bekannt, das gilt auch für Medikamentenrückstände mit der Ausnahme von 17α -Ethinylestradiol (EE2), dem Wirkstoff der Antibabypille, zu welchem schon mehrere Studien gemacht wurden.

Medikamente haben eine spezifische Wirkung im Körper. Sie greifen gezielt in physiologische Vorgänge ein und sind entsprechend wirksam. Zudem haben Medikamente mehr oder weniger starke Nebenwirkungen. Oft sind diese Vorgänge bei sehr unterschiedlichen Tieren nahezu identisch. Die meisten zellulären Prozesse sind bei den Tieren sehr ähnlich. Sie waren schon bei einem gemeinsamen Vorfahren vorhanden. Während der Evolution veränderten sich diese Prozesse nicht wesentlich, weil sie für das Überleben der Tiere wichtig waren. Darum kann ein Medikament auf Fische eine Wirkung haben, die der gewünschten Wirkung beim Menschen ähnlich ist. Unterschiede zwischen den Organismen sind jedoch ebenfalls vorhanden. Der Metabolismus einer Schnecke unterscheidet sich von demjenigen eines Krebses. Deshalb ist es auch möglich, dass ein Medikament unterschiedliche Effekte bei verschiedenen Organismen hervorruft (vgl. Kapitel 2).

Entzündungshemmer und Schmerzmittel werden sehr oft im Abwasser und in Oberflächengewässern nachgewiesen. Ibuprofen und Diclofenac sind zwei verbreitete Vertreter dieser Gruppe und kommen in vielen Ländern im Mikrogramm-Bereich im Abwasser vor. Ein bekannter Nebeneffekt dieser Medikamente sind Nierenschäden. Ibuprofen wird in der ARA fast vollständig entfernt. Diclofenac wird in der ARA relativ langsam abgebaut, deshalb kann die Elimination gesteigert werden, indem das Abwasser länger in der ARA zurückgehalten wird¹³.

Betablocker sind Herzmedikamente, die bei hohem Blutdruck eingesetzt werden. Sie werden häufig im Abwasser nachgewiesen und treten auch in Oberflächengewässern auf.

4. Beispiele von Mikroverunreinigungen

Lipidsenker werden bei Patienten eingesetzt um Gefässerkrankungen vorzubeugen. Sie gehören zu den Medikamenten, die am häufigsten im Abwasser nachgewiesen werden.

Das synthetische Östrogen EE2 wird zur hormonellen Verhütung eingesetzt. Der Stoff wird in viel kleineren Mengen verbraucht als die meisten anderen Medikamente. Der Grund dafür, liegt in der hohen Wirksamkeit von EE2. In vielen Ländern ist der Stoff im Abwasser und in Oberflächengewässern nachweisbar. Die Konzentration liegt unterhalb des Nanogramm-Bereiches. In der ARA wird EE2 zu 85% eliminiert. Der Stoff ist in der Umwelt relativ persistent und in tiefen Konzentrationen wirksam. Bei Fischen können Konzentrationen von 1-4 ng/L oder tiefer zu östrogenen Effekte führen¹³.

Das Medikament Carbamazepin wird gegen Epilepsien eingesetzt. Es ist weit verbreitet und wird in Konzentration von bis zu 6.3 µg/L im Abwasser gefunden¹³. Carbamazepin wird in der ARA kaum abgebaut oder zurückgehalten. In der Umwelt ist das Medikament ebenfalls persistent. Umweltkonzentrationen von 1 µg/L in Oberflächengewässern kommen vor. Diese Konzentrationen können bei Wasserorganismen wie Meeresschnecken Effekte auslösen¹⁴. Inwiefern die Populationen darunter leiden, ist unklar.

4.2. Flammschutzmittel

Flammschutzmittel werden in Elektroprodukten und Textilien eingesetzt um die Entzündung dieser Gegenstände zu verhindern oder einen Brand zu verlangsamen. Bromierte Flammschutzmittel werden häufig verwendet. Sie kommen beispielsweise im Plastik von Computergehäusen vor. Sie haben die Eigenschaft auszugasen und gelangen so in die Raumluft und den Hausstaub. Bromierte Flammschutzmittel sind lipophil und neigen zur Bioakkumulation. Sie können im menschlichen Fettgewebe und in der Muttermilch nachgewiesen werden. Die Stoffe werden vor allem über Staub aufgenommen. Auch in den Sedimenten von Gewässern und im Klärschlamm kommen bromierte Brandschutzmittel vor, die hauptsächlich aus Textilien ausgewaschen werden. Es konnte bei einigen bromierten Flammschutzmitteln Hormonaktivität nachgewiesen werden, bei anderen besteht der Verdacht auf eine solche Wirkung.

4.3. Pestizide

Pestizide werden in der Landwirtschaft zum Pflanzenschutz eingesetzt. Es sind Gifte die sich gezielt gegen Insekten (Insektizide), Pflanzen (Herbizide) oder Pilze (Fungizide) richten. Diese spezifischen Wirkungen haben die Pestizide natürlich auch ausserhalb ihres geplanten Einsatzgebietes. Nicht nur die Schädlinge und das Unkraut werden angegriffen, sondern auch andere Organismen in der Umwelt. Die industrielle Landwirtschaft setzt Pestizide in grossen Mengen ein. Dadurch ist die Umwelt direkt am Einsatzort belastet. Gelangen die Pestizide in die Gewässer, sind die dort lebenden Organismen ebenfalls betroffen. Auch auf Menschen können Pestizide eine schädliche Wirkung haben. Weltweit kommt es jährlich zu Millionen von Vergiftungsfällen von Personen, die in Landwirtschaft tätig sind. Viele Pestizide haben als Nebeneffekt das Potenzial, in den

4. Beispiele von Mikroverunreinigungen

Hormonhaushalt von Tieren und Menschen einzugreifen. Die Hormonaktivität von Atrazin und DDT wurde bereits in Kapitel 2.3 angesprochen. Viele andere Pestizide haben ebenfalls eine Wirkung auf das Hormonsystem¹⁵. Die Landwirtschaft ist dafür verantwortlich, die Umweltbelastung durch Pestizide zu minimieren. Es ist zu verhindern, dass die Pestizide durch Regen in Gewässer ausgeschwemmt werden.

4.4. Weichmacher

Weichmacher werden Kunststoffen zugesetzt um diese flexibel, dehnbar und geschmeidig zu machen. Das geschieht, indem die Weichmacher zwischen die Polymere des Kunststoffs eingebaut werden. Weichmacher kommen in Bodenbelägen, Tapeten, kunststoffbeschichteten Verpackungsmaterialien, Kinderspielzeugen, Lacken, Befilmungsüberzügen von Tabletten und in vielen anderen Produkten vor. Der grösste Teil der Weichmacher wird, dem an für sich brüchigen und spröden PVC, zugegeben. Die am meisten verwendeten Weichmacher gehören zur Stoffgruppe der Phthalate. Sie sind relativ billig herzustellen und vielseitig einsetzbar. Das Problem der Phthalate ist, dass sie sich wie Wasser in einem Schwamm verhalten. Sie entweichen allmählich aus dem Kunststoff welcher dadurch mit der Zeit spröde wird. Die herausgelösten Phthalate gelangen in die Umwelt und werden von Menschen aufgenommen. Dies geschieht über das Essen, die Atemluft oder über die Haut. Im Körper werden sie rasch abgebaut und ausgeschieden und akkumulieren somit kaum. Verschiedene Phthalate haben hormonähnliche Eigenschaften. Vor allem bei jüngeren Kindern konnten Stoffwechselprodukte von Phthalaten im Urin nachgewiesen werden^{16,17}.

Bisphenol A (BPA) gehört zwar nicht in die Gruppe der Weichmacher, der Einsatz und die Problematik dieses Stoffes ist jedoch dieselbe. BPA wird unter anderem in Kunststoffe eingebaut um diese flexibler zu machen. Der Stoff wird ebenfalls herausgelöst und kann eine hormonaktive Wirkung entfalten.

4.5. UV-Filter

UV-Filter befinden sich in Sonnencremes und Kosmetika zum Schutz der Haut vor UV-Strahlung. Verschiedene UV-Filter sind östrogen aktiv. Tierversuche an Ratten haben gezeigt, dass einige UV-Filter Einflüsse auf die Entwicklung vor und nach der Geburt haben. Die Nachkommen von Ratten, die den UV-Filtern ausgesetzt waren, zeigten ein verändertes Wachstum von Prostata, Hoden, Uterus sowie auch der Schilddrüse. Ihr Sexualverhalten wird ebenfalls gestört. Der Mensch nimmt sehr kleine Mengen von UV-Filter über die Haut oder oral (z.B. von Lippenstiften) auf. In einer Studie wurde menschliche Muttermilch auf verschiedenen UV-Filter untersucht¹⁸. Dabei wurde in über 75% der getesteten Proben mindestens eine dieser Substanzen gefunden. Auch in Gewässern können UV-Filter nachgewiesen werden¹⁹. Der Eintrag in Gewässer findet über das gereinigte Abwasser oder direkt über badende Menschen statt. Laboruntersuchungen bei Fischen haben auch hier eine östrogene Wirkung gezeigt. Ein Gemisch von verschiedenen

4. Beispiele von Mikroverunreinigungen

UV-Filtern, ist schon bei tiefen Konzentrationen wirksam. Das heisst, die Stoffe können eine additive oder sogar synergetische Wirkung haben²⁰.

5. Nachweismethoden und Testsysteme

5.1. Nachweis von Mikroverunreinigungen

Um Mikroverunreinigungen nachweisen zu können, braucht es sehr empfindliche Methoden. Die Massenspektrometrie bietet die Möglichkeit die Mikroverunreinigungen zu bestimmen und damit nachzuweisen. Bei dem Verfahren wird die Masse von Molekülen und Atomen analysiert. Anhand der Massenspektren, die bei der Analyse einer Probe entstehen, können die in der Probe enthaltenen Stoffe identifiziert werden. Die Auswertung der Massenspektren erfordert viel Wissen und Erfahrung. Die Moleküle einer Probe müssen für die Analyse aufgetrennt werden. Dies geschieht mittels Chromatographie. Um wasserlösliche Stoffe zu analysieren, ist die konventionelle Gaschromatographie eher ungeeignet. Dazu wird heute die Flüssigchromatographie verwendet. Neben der Massenspektrometrie existieren weitere Methoden der chemischen Analytik um einzelne Stoffe spezifisch nachzuweisen. Die Analysemethoden werden immer leistungsfähiger und ermöglichen somit den Nachweis von Chemikalien in Konzentrationen im Bereich der Mikroverunreinigungen. Dennoch bleibt der Nachweis eine aufwändige Angelegenheit.

5.2. Effektbasierter Nachweis von Mikroverunreinigungen

Mit Biotests können ebenfalls Chemikalien nachgewiesen werden. Diese Tests weisen eine bestimmte biologische Aktivität einer Substanz nach. Oder anders ausgedrückt: sie können die Effekte der Chemikalien auf Organismen sichtbar machen. Deshalb werden sie effektbasierte Testsysteme genannt. Ein Testsystem ist dazu geeignet eine bestimmte Wirkung nachzuweisen. Es wird zwischen *in vivo* und *in vitro* Testsystemen unterschieden. Ein *in vivo* Testsystem benützt lebende Modellorganismen. Dabei wird beobachtet, welche Effekte bei den Modellorganismen durch Substanzen hervorgerufen werden. Bei den Effekten, kann es sich um messbare Veränderungen im Körper oder im Verhalten handeln. Bei *in vitro* Versuchen wird mit Zellkulturen gearbeitet um ganz bestimmte Effekte nachzuweisen. In einer Zellkultur kann zum Beispiel die Bindung einer Substanz an einen bestimmten Rezeptor sichtbar gemacht werden.

Effektbasierter Nachweis von östrogen aktiven Substanzen

Es gibt verschiedene Testsysteme um östrogen aktive Substanzen nachzuweisen. Ein *in vivo* Test ist die Bildung von Eidotterprotein in männlichen Fischen. Weibliche Fische bilden Vitellogenin, ein Protein, das für die Produktion von Eizellen wichtig ist. Männchen bilden normalerweise dieses Protein nicht. Unter dem Einfluss von östrogen aktiven

5. Nachweismethoden und Testsysteme

Substanzen wird in den Männchen jedoch ebenfalls Vitellogenin gebildet. Die östrogen aktiven Substanzen aktivieren den Estrogenrezeptor. Der aktivierte Estrogenrezeptor aktiviert die Expression des Vitellogenin-Gens. Es wird mRNA gebildet, mit welcher wiederum das Protein Vitellogenin gebildet wird (vgl. Abschnitt 2.3.) Deshalb lässt das Auftreten von Vitellogenin in Fischmännchen auf das Vorkommen von östrogen aktiven Substanzen schliessen. Dieser Nachweis kann auch *in vitro* mit einer Zellkultur von Fischleberzellen gemacht werden. Die Fischleberzellen werden im Labor kultiviert. Zu der Zellkultur wird die Probe gegeben. Die Leberzellen bilden dann Vitellogenin, wenn die Probe Östrogen aktive Substanzen enthalten hat (vgl. Abschnitt 2.3).

In der Praxis ist es wichtig, dass sich die Organismen oder Zellen im Labor leicht kultivieren lassen und sie eine einfache Auswertung der Resultate ermöglichen. Für den Nachweis östrogenener Aktivität werden unter anderem die folgenden zwei *in vitro* Testsysteme verwendet²¹.

1. Rezeptorbindungstest mit Hefezellen (Yeast Estrogen Screen, YES)
2. Rezeptorbindungstest mit einer menschlichen Zelllinie (Estrogen Receptor – Chemical Activated Luciferase Gene Expression, ER-CALUX)

Bei beiden Testsystemen wird ein künstlich eingebautes Gen von dem Östrogenrezeptor aktiviert. Bei dem YES bewirkt das Genprodukt (das Protein, das bei einer Aktivierung des Gens gebildet wird) einen Farbumschlag. Bei dem ER-CALUX System wird bei Aktivierung des Estrogenrezeptor Luciferase, ein leuchtendes Protein produziert. Die östrogene Aktivität kann also direkt anhand des des Farbumschlags und der Lichtintensität gemessen werden. Je höher die östrogene Aktivität, desto deutlicher der Farbumschlag im YES und desto höher die Lichtintensität bei der ER-CALUX-Zelllinie. Dies lässt wiederum auf eine höhere Konzentration von östrogenen Substanzen schliessen.

5.3. Anforderungen an Testsysteme

Um den Zustand der Gewässer zu untersuchen und zu beurteilen, braucht es standardisierte Methoden. Die Testergebnisse von verschiedenen Standorten sollen miteinander vergleichbar sein. Dazu müssen die Nachweise reproduzierbar sein. Das bedeutet, dass zwei verschiedene Messungen ein und derselben Probe das gleiche Ergebnis liefern müssen. Dies ist nur mit einem genau definierten Protokoll möglich, das besagt, wie man bei den Tests vorgehen muss.

Die Nachweismethoden müssen sehr sensitiv sein, das heisst sie müssen die tiefen Stoffkonzentrationen, in denen die Mikroverunreinigungen vorkommen, bestimmen können. Für Östrogen aktive Substanzen sind die Biotests ER-CALUX und YES in der Lage die Substanzen, nach einer Anreicherung der Probe nachzuweisen. Mit der chemischen Analytik können einige der bekannten Substanzen nicht in diesen tiefen Konzentrationen nachgewiesen werden.

Mikroverunreinigungen kommen oft in einem Gemisch von verschiedenen Substanzen vor. Manche Substanzen haben eine ähnliche Wirkung auf die Organismen. Es

5. Nachweismethoden und Testsysteme

ist möglich, dass sich die Wirkungen einzelner Substanzen im Gemisch addieren oder verstärken²⁰. Um die Wirkung eines Cocktails von Substanzen zu testen braucht es effektbasierte Biotests. Mit chemischer Analytik können die einzelnen Bestandteile des Gemisches nachgewiesen werden sofern diese bekannt sind, nicht aber deren gemeinsame Wirkung. Im Biotest wird die Wirkung des Gemisches nachgewiesen, die einzelnen Substanzen bleiben jedoch unbekannt.

6. Massnahmen gegen den Eintrag von Mikroverunreinigungen

6.1. Reinigungsverfahren

Viele Mikroverunreinigungen gelangen über das gereinigte Abwasser in die Gewässer. Dies bedeutet, dass sie die Abwasserreinigungsanlage (ARA) passieren können. Die ARAs sind dafür konzipiert, Nährstoffe, Feststoffe und Fette aus dem Abwasser zu entfernen. Dabei werden auch diverse organische Stoffe eliminiert, indem sie biologisch abgebaut werden oder indem sich die Stoffe am Klärschlamm anlagern. Eine solche Elimination geschieht auch mit den meisten Mikroverunreinigungen, jedoch ist sie nicht immer ausreichend. Die Elimination in der ARA schwankt zwischen unter 10% (Carbamazepin) und über 80% (Diclofenac)¹³¹. Um die Mikroverunreinigungen besser aus dem Abwasser zu entfernen, wurde über zusätzliche Reinigungsschritte nachgedacht. Es sind verschiedene chemische und physikalische Verfahren bekannt um Chemikalien zu eliminieren. Am Wasserforschungsinstitut Eawag wurden solche Verfahren auf Effizienz und Umsetzbarkeit getestet. Dabei erwiesen sich zwei Verfahren, die Behandlung mit Aktivkohle und die Ozonung, als praktikabel.

6.2. Ozonung

Ozon hat eine stark oxidierende Wirkung. Doppelbindungen und bestimmte funktionelle Gruppen von Molekülen werden angegriffen. Sehr viele Mikroverunreinigungen werden durch Ozon oxidiert und somit in Substanzen umgewandelt, die biologisch abbaubar sind oder keine ökotoxikologischen Wirkungen mehr zeigen sollten. Ozon greift neben den Mikroverunreinigungen auch viele andere Stoffe an, die in der biologischen Reinigung eliminiert werden. Es wäre ineffizient wenn das Ozon auch mit diesen Stoffen reagieren würde. Deshalb wird die Ozonung erst nach der biologischen Reinigung eingesetzt. Das Ozon wird vor Ort in einem Ozonreaktor erzeugt, dies braucht Energie. Die Ozonung entfernt ein breites Stoffspektrum. Die Stoffe wurden in Pilotversuchen durchschnittlich zu über 80% eliminiert. Bei der Ozonung entstehen Reaktionsprodukte. Diese wurden in den Versuchen auf ihre Toxizität und ihre östrogene Aktivität untersucht. Grundsätzlich waren die Reaktionsprodukte weniger toxisch als die Ausgangsprodukte. Eine an die Ozonung anschliessende Sandfiltration ist jedoch angebracht um die Toxizität der Produkte weiter zu reduzieren²³.

¹Der Abbau der Substanzen kann zwischen verschiedenen ARAs stark variieren. Der Abbau von Diclofenac schwankt beispielsweise zwischen 0 und 82% und beträgt im Mittel 22%²².

6. Massnahmen gegen den Eintrag von Mikroverunreinigungen

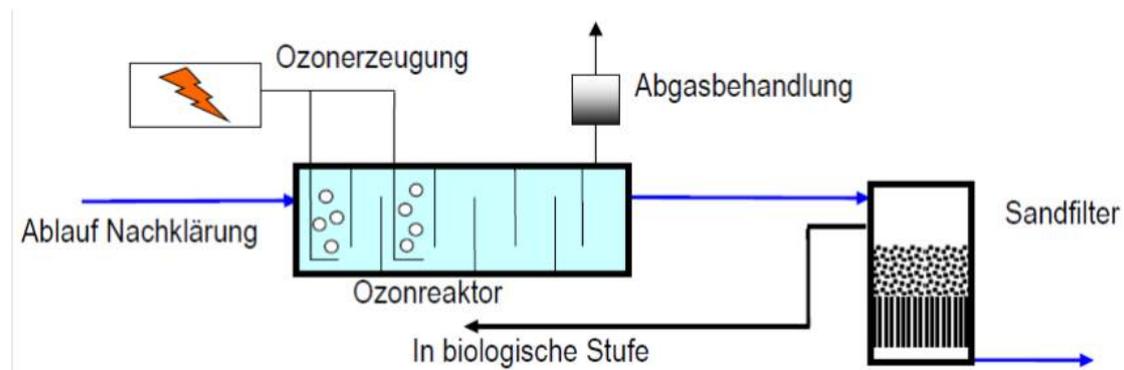


Abbildung 6.1.: **FlieBschema einer Ozonung** Gasförmiges Ozon wird in einem Ozongenerator gebildet. Ozon wird in einem Reaktor eingeleitet, wo es mit den Abwasserinhaltsstoffen reagiert. Anschliessend fliesst das Abwasser durch einen Sandfilter. Reaktive Oxidationsprodukte werden in einer biologischen Stufe entfernt. Die ozonhaltige Abluft ist giftig und muss behandelt werden (Abegglen & Siegrist 2012)²³.

6.3. Aktivkohle Behandlung

Aktivkohle hat eine poröse Struktur und somit eine enorm grosse Oberfläche. An der Aktivkohle-Oberfläche lagern sich viele Stoffe aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften an. Pulveraktivkohle (PAK) ist sehr fein gemahlene Aktivkohle. Sie wird nach der biologischen Reinigung mit dem Abwasser vermischt. Anschliessend wird die PAK abgetrennt und verbrannt. Wenn die PAK bereits in der biologischen Stufe eingesetzt wird, sind höhere Mengen für die Reinigung notwendig. Die PAK bindet dort viele organische Substanzen, die im normalen Prozess eliminiert werden. Die Herstellung von Aktivkohle ist energieaufwändig. Für die Herstellung von 1 kg Aktivkohle werden 3-5 kg Kohle benötigt. Die Tests mit PAK zeigen, dass ein breites Stoffspektrum weitgehend (durchschnittlich 80%) aus dem Abwasser entfernt werden. Eine Abnahme der Toxizität des Abwassers konnte nachgewiesen werden.

6.4. Verweildauer

Wenn das Abwasser und der Klärschlamm länger in der ARA verweilen, kann die Elimination von manchen Mikroverunreinigungen deutlich gesteigert werden. Durch die längere Verweildauer haben biologische Abbauprozesse mehr Zeit um zu wirken. Ein Beispiel dazu ist das Medikament Diclofenac, welches deutlich besser biodegradiert wird, wenn der Klärschlamm 8 Tage zurückgehalten wird¹³. Der Abbau von Carbanazepin hingegen lässt sich auch durch längere Rückhaltezeit nicht merklich steigern.

6. Massnahmen gegen den Eintrag von Mikroverunreinigungen

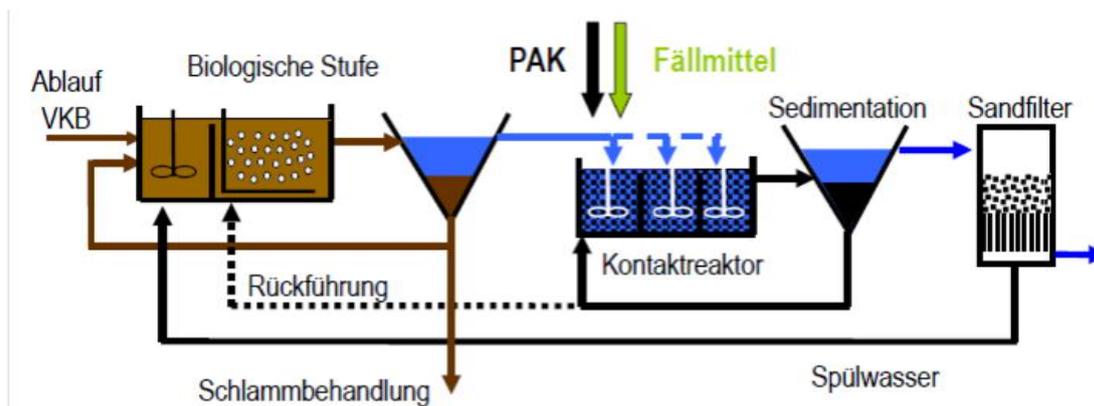


Abbildung 6.2.: **Fließschema einer PAK-Behandlung** Nach der biologischen Stufe wird dem Abwasser PAK beigemischt. Die PAK bindet Mikroverunreinigungen und wird vom Abwasser wieder abgetrennt und zurückgeführt. Der Überschuss der PAK gelangt in die biologische Stufe, von wo er in den Klärschlamm gelangt. Der Klärschlamm wird schliesslich verbrannt (Abegglen & Siegrist 2012)²³.

6.5. Massnahmen an der Quelle

Die Belastungen durch Pflanzenschutzmittel im Privatbereich können durch die fachgerechte Anwendung eingeschränkt werden. Der Einsatz von manchen Herbiziden ist beispielsweise nur an Orten erlaubt, wo das Wasser im Boden versickert, damit die Chemikalien nicht in Gewässer gelangen. Dennoch werden diese Herbizide oftmals auf Plätzen oder auf Wegen eingesetzt. Das Verbot muss daher strikter umgesetzt werden. Die Initiative "Stopp den Giftzweig"²⁴ vom praktischen Umweltschutz Schweiz (Pusch) hat das Ziel, die Benutzer auf die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln in der Natur zu sensibilisieren und den fachgerechten Umgang mit den Chemikalien zu vermitteln. Dabei soll wo möglich auf die Nutzung der Gifte verzichtet werden.

In der Landwirtschaft kann durch die fachgerechte und standortgerechte Anwendung dazu beigetragen werden, dass weniger Pestizide in die Gewässer gelangen. Die Pflanzenschutzmittel sollen gezielt und massvoll eingesetzt werden. Eine Massnahme ist, direkt an Gewässer angrenzendes Land nicht zu bewirtschaften, oder auf den Einsatz von Pestiziden zu verzichten. Die Reinigung von Spritzgeräten ist ein heikler Punkt bei dem es zu Gifteinträgen in Gewässer kommen kann. Darum gilt es auch hierbei besondere Vorsichtsmassnahmen zu treffen. Die Reste aus Spritzgeräten müssen korrekt entsorgt werden.

Eine weitere Quelle von Bioziden sind Zusatzstoffe von Baumaterialien. Fassadenanstriche beispielsweise enthalten toxischen Stoffe um einem Algen- oder Pilzbewuchs vorzubeugen. Diese Stoffe werden allerdings mit Regenwasser ausgewaschen. Es sind Bemühungen im Gange, durch angepasste Rezepturen die Auswaschung zu reduzieren. Eine Alternative zum Einsatz von Bioziden ist die regelmässige, mechanische Reinigung des

6. Massnahmen gegen den Eintrag von Mikroverunreinigungen

Mauerwerks. Die Besiedlung der Gebäudeoberfläche durch Algen und Pilze lässt sich in der Gebäudeplanung vorbeugen. Dabei ist es wichtig auf den Wetterschutz der Fassaden zu achten um deren Befeuchtung möglichst gering zu halten.

Auch die Haushalte können den Eintrag von Mikroverunreinigungen verringern. Eine sparsame Anwendung von Reinigungs-, Wasch- und Spülmittel, trägt dazu bei. Bei der Auswahl von Reinigungsprodukten sollte auf Umweltlabels geachtet werden, um möglichst wenig nicht biologisch abbaubare Stoffe in das Abwasser zu bringen. Ein vernünftiger und sparsamer Umgang mit Shampoo und Duschmittel, reduziert die Belastung des Abwassers. Oft kann durch die Reduktion der verbrauchten Menge an Reinigungs- und Waschmitteln die Umweltbelastung gesenkt werden und zusätzlich Geld gespart werden. Es lohnt sich auszuprobieren, ob dieselbe Reinigungsleistung nicht auch mit weniger Mittel erreicht werden kann. Eine effiziente Art, die Umweltbelastung tief zu halten, ist weniger zu Waschen. Möglicherweise reicht es, ein nicht verschmutztes Kleidungsstück einfach auszulüften statt zu waschen oder es macht Sinn bei schweisstreibenden Tätigkeiten, bereits getragene Wäsche nochmals zu tragen. Tipps und Tricks zum ökologischen Haushalt und anderen Themen werden auf der Internetseite "Stopp den Giftzwerg"² präsentiert.

Beim Kauf von Kosmetikartikeln können Konsumenten und Konsumentinnen auf die Inhaltsstoffe Rücksicht nehmen. Dadurch reduzieren sie ihre eigene Belastung mit hormonaktiven Substanzen und senken zugleich deren Eintrag in die Umwelt. Es gibt nützliche Internetseiten und Apps um sich über die Inhaltsstoffe der Kosmetikprodukte zu informieren³. Ein besonders wichtiger Punkt ist die Entsorgung von Arzneimitteln. Sie können dazu zurück in die Apotheke gebracht werden. Auf keinen Fall dürfen Arzneimittel in der Toilette runter gespült werden.

²Stopp den Giftzwerg <<http://www.giftzwerg.ch/>>.

³Codecheck.info - Produkte checken und gesund einkaufen <<http://www.codecheck.info/>>, ToxFox-Kosmetikcheck online - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) <<http://www.bund.net/>>.

7. Risikoanalyse

Die Risikoanalyse beurteilt, ob die Umweltbelastung mit einer gewissen Substanz eine Gefahr für die Umwelt darstellt. Dazu werden die Ergebnisse aus den toxikologischen Studien herangezogen. Für die meisten Substanzen liegen jedoch nur Ergebnisse zur akuten Toxizität vor. Für die Beurteilung von Mikroverunreinigungen wären jedoch Studien über die chronischen Wirkungen, wenn möglich auch generationsübergreifend, nötig. Diese sind jedoch viel aufwändiger und fehlen oftmals. Um die Wirkungsschwelle einer Substanz abzuschätzen braucht es die Angaben zum NOEC- und zum LOEC-Wert (siehe Abbildung 2.2). Die Schwellenkonzentration liegt irgendwo zwischen diesen beiden Werten. Die Risikoanalyse bildet die Grundlage zur Festlegung von Grenzwerten. Bis jetzt existiert in der Schweiz nur ein Grenzwert für Pestizide. Er ist in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) festgelegt und beträgt 100 ng/L. Für viele andere Stoffe gibt es eine Predicted No-Effect Concentration (PNEC). Die Risikoanalyse beinhaltet auch die Einschätzung der Umweltkonzentration der Stoffe. Einerseits werden Messungen der Stoffkonzentration an verschiedenen Standorten gemacht. Die Messwerte werden als Measured Environmental Concentration (MEC) bezeichnet. Die MEC-Werte sind jeweils eine Momentaufnahme, welche von der aktuellen Eintragsmenge des Stoffes und der Wassermenge des Gewässers abhängig sind. Mit vielen solchen Messungen erhält man Informationen über die Bandbreite der Konzentrationen. Um die Belastung abzuschätzen wird mit Modellen die durchschnittliche Konzentration berechnet. Dieser Wert wird Predicted Environmental Concentration (PEC) genannt². Ein Risiko für die Umwelt besteht, wenn der PEC-Wert den PNEC-Wert übersteigt ($PEC > PNEC$). Ist der PEC-Wert kleiner als der PNEC-Wert besteht jedoch immer noch ein Risiko für die Umwelt²⁸. Möglicherweise gibt es Abbauprodukte des Stoffes die immer noch wirksam sind. Dieses Szenario muss bei der Risikobeurteilung geklärt werden. Dazu kommt, dass der untersuchte Stoff in der Umwelt in einem Gemisch von verschiedenen anderen Stoffen vorkommt. Die Wirkung der anderen Stoffe kann einen Einfluss auf die Wirkung des untersuchten Stoffes haben. Ein Beispiel dafür ist die additive Wirkung von Stoffen mit dem selben Wirkmechanismus.

Glossar

in vitro

Experimente ausserhalb eines lebenden Organismus. Dazu werden meist isolierte Zellen oder Organe untersucht. *In vitro* Experimente werden in einer kontrollierten, künstlichen Umgebung durchgeführt. Ein Beispiel sind Zellen, die in einer Plastikschaale kultiviert werden. 22

in vivo

Experimente im lebendigen Organismus. 22

17 α -Ethinylestradiol (EE2)

Künstlich hergestelltes Östrogen, Wirkstoff der Antibabypille, hochwirksam. 18, 19

Abwasserreinigungsanlage (ARA)

Auch Kläranlage genannt. Die ARA sind dafür konzipiert Nährstoffe aus dem Abwasser zu entziehen. Feststoffe werden zurückgehalten und organische Verbindungen werden abgebaut. 8, 18, 25

Adsorption

Die Adsorption ist die Anreicherung eines gelösten Stoffs an eine Oberfläche. Eine gelöste Chemikalie kann an die Oberfläche von Feststoffen adsorbieren (anlagern). 15

Atrazin

Herbizid, hemmt die Photosynthese von Pflanzen. Wird in der Umwelt nur langsam abgebaut. Atrazin neigt nicht zur Bioakkumulation und ist für die meisten Nützlinge ungefährlich. Der Stoff bringt bei manchen Organismen den Hormonhaushalt durcheinander. 13

Bioakkumulation

Anreicherung einer Substanz in einem Organismus. Geschieht durch direkte Aufnahme aus der Umgebung oder über die Nahrungsaufnahme. 13

Bisphenol A

Wird aus zwei Phenol und einem Aceton synthetisiert. Aus Bisphenol A (BPA) werden polymere Kunststoffe hergestellt. Der Ausgangsstoff wird unter Umständen wieder aus den polymeren Endprodukten freigesetzt. 20

Chromatographie

Verfahren zur Auftrennung eines Stoffgemisches. Die Substanzen passieren mit der so genannten mobilen Phase eine stationäre Phase. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Substanzen, der stationären Phase und der mobilen Phase werden die einzelnen Substanzen unterschiedlich schnell weitertransportiert und somit voneinander getrennt. 22

Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT)

Insektizid welches seit den 1940er Jahren in der Landwirtschaft und in der Malariaabwehr eingesetzt wird. DDT und einige seiner Abbauprodukte zeigen hormonähnliche Wirkungen. Die Chemikalie ist nur schwer abbaubar in der Umwelt. 13, 16, 17

EC₅₀-Wert

Effect Concentration. Der Wert gibt diejenige Konzentration einer Chemikalie an, bei dem der gemessene Effekt 50% beträgt. 9

Elimination

Unter Elimination versteht man in der Toxikologie die Beseitigung einer Substanz aus einem Körper oder einer Umgebung. Eine Substanz kann durch Abbau oder Ausscheidung eliminiert werden. In der ARA werden Substanzen aus dem Abwasser eliminiert. 18

Estradiol

Auch 17 β -Estradiol, natürliches Östrogen, vom Körper produziert. 11

Exposition

Unter Exposition versteht man das Ausgesetztsein von Mensch und Umwelt gegenüber Umwelteinflüssen (z.B. Kontakt mit einem chemischen Stoff). 9

Expositionszeit

Dauer eines toxikologischen Experiments. Zeit während der, die Testorganismen einer Substanz ausgesetzt werden. 9

Follikelstimulierendes Hormon (FSH)

Sexualhormon welches bei beiden Geschlechtern im Vorderlappen der Hirnanhangsdrüse produziert wird. Führt bei der Frau zum Wachstum und der Reifung der Eizellen im Eierstock. Beim Mann wird die Spermienbildung angeregt. 11

Hormon

Ein Hormon ist ein Botenstoff der von spezialisierten Zellen des Körpers produziert wird. Das Hormon wird von den Zellen in den Blutkreislauf abgegeben und gelangt zu den Zielzellen wo es eine spezifische Wirkung ausübt. 8

LC₅₀-Wert

Lethal Concentration. Der Wert gibt diejenige Konzentration an, bei dem 50% der Testorganismen sterben. 9

LOEC-Wert

Lowest Observed Effect Concentration. Die niedrigste Konzentration bei der erste Effekte nachgewiesen werden. 10

Luteinisierendes Hormon (LH)

Sexualhormon welches bei beiden Geschlechtern im Vorderlappen der Hirnanhangsdrüse produziert wird. Fördert bei der Frau den Eisprung und die Gelbkörperbildung, beim Mann die Spermienreifung. 11

Massenspektrometrie

Verfahren zum Messen von Massen von Molekülen und Molekülfragmenten. Die dabei entstehenden Massenspektren können zur Identifikation von Molekülen verwendet werden. 22

Measured Environmental Concentration (MEC)

Die Konzentration einer Chemikalie in einer Umweltprobe. 29

NOEC-Wert

No Observed Effect Concentration. Konzentration bei der keine beobachtbaren Effekte nach längerer Expositionszeit auftreten. Der LOEC-Wert ist die niedrigste Konzentration, bei der erste Effekte nachgewiesen werden können. 10

Persistenz

Beständigkeit einer Chemikalie in der Umwelt. Eine persistente Chemikalie wird nur langsam Abgebaut. 15

Pestizid

Oberbegriff für chemische Substanzen, die gegen schädliche Lebewesen wirken. Wenn sie zum Schutz von Pflanzen eingesetzt werden spricht man von Pflanzenschutzmitteln. Werden sie zum Schutz der Gesundheit oder von Materialien eingesetzt, bezeichnet man sie als Biozide. Je nachdem gegen welche Zielorganismen ein Pestizid wirkt, kann es genauer als Herbizid (gegen Pflanzen), Fungizid (gegen Pilze), Insektizid (gegen Insekten) ect. bezeichnet werden. 19

Phthalate

Ester der Phthalsäure (= 1,2-Benzoldicarbonsäure) mit verschiedenen Alkoholen. Phthalate werden industriell in grossen Mengen erzeugt und als Weichmacher in Kunststoffen eingesetzt. 20

Predicted Environmental Concentration (PEC)

Die PEC ist die vorhergesagte Umweltkonzentration, welche mit Modellen berechnet wird. 29

Predicted No-Effect Concentration (PNEC)

Vorhergesagte maximal tolerierbare Konzentration für die Umwelt. 29

Tamoxifen

Arzneimittel zur Therapie von Brustkrebs, bewirkt eine kompetitive Hemmung der Östrogenrezeptoren. 13

Östrogen

Auch Estrogen, ist ein weibliches Geschlechtshormon, bindet an den Östrogenrezeptor. 13

Teil II.

Didaktische Umsetzung

8. Hintergründe zum Thema Mikroverunreinigungen

8.1. Zusammenfassung

Mikroverunreinigungen treten in sehr tiefen Konzentrationen (weniger als 1 µg/L) in der Umwelt auf. Mit modernen Messmethoden wie der Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS), können in den Gewässern verschiedene Substanzen nachgewiesen werden.

Über die Auswirkungen von Mikroverunreinigungen auf die Ökosysteme von Fließgewässern und Seen ist zur Zeit nur wenig bekannt. Es gibt hormonaktive Mikroverunreinigungen, deren Wirkung auf die Umwelt bereits nachgewiesen werden konnte. Beispielsweise wurde beobachtet, dass unterhalb der Abwasserreinigungsanlagen (ARA) der Hormonhaushalt von Fischen gestört wird³. Dies konnte auf hormonaktive Substanzen im Abwasser zurückgeführt werden²⁹. Hormonaktive Umweltchemikalien können ganze Populationen gefährden wie das folgende Beispiel zeigt. Weibliche Meeresschnecken im Nordatlantik zeigten Veränderungen in ihrem Fortpflanzungsapparat. Diese Veränderungen konnte vor allem in der Nähe von Häfen beobachtet werden. Die Weibchen wurden dadurch unfruchtbar was zu einem Zusammenbruch der lokalen Schneckenpopulationen führte. Verantwortlich dafür war eine Chemikalie aus dem Schutzanstrich von Schiffen, welche eine Vermännlichung in den Schneckenweibchen bewirkte³⁰.

Möglicherweise haben Mikroverunreinigungen auch eine Wirkung auf den menschlichen Körper. Die Häufung von bestimmten Missbildungen und Krankheiten wird mit der Belastung durch Mikroverunreinigungen in Verbindung gebracht⁵.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Die Aktivkohlebehandlung und die Ozonung sind zwei umsetzbare Varianten. Die Schweizer Regierung hat Massnahmen beschlossen um den Eintrag von Mikroverunreinigungen einzudämmen. In der neuen Gewässerschutzverordnung welche am 1. Januar 2016 in kraft treten wird ist die Ausbau der ARAs und deren Überprüfung festgelegt.

Beim Thema Abwasserreinigung lässt sich der Bogen zur Eutrophierung von Gewässern spannen: Abwasserreinigungsanlagen wurden dazu entwickelt um Nährstoffe aus dem Abwasser zu entfernen. Zu viele Nährstoffe im Abwasser bewirken ein starkes Algenwachstum. Dies führt zur Eutrophierung des Sees. Das ökologische Gleichgewicht ist gestört. Der Sauerstoff wird aufgebraucht, was das Ende für viele Wasserorganismen bedeutet.

8. Hintergründe zum Thema Mikroverunreinigungen

Das Thema Mikroverunreinigungen eignet sich um folgende Lerninhalte zu vermitteln:

- Menschen üben einen Einfluss auf die Umwelt aus. Viele Chemikalien wirken auf Organismen.
- Das Gleichgewicht von Systemen kann durch äussere Einflüsse gestört werden. Gerät das Hormonsystem des Körpers aus dem Gleichgewicht, kann dies Folgen für die Fortpflanzung haben. Auch Ökosysteme befinden sich in einem Gleichgewicht.
- Körperpflege- und Kosmetikprodukte enthalten Chemikalien, welche eine Wirkung auf den Körper und auf die Umwelt haben können.

8.2. Diskussion in der Gesellschaft

Die Presse befasste sich in den letzten 10 Jahren immer wieder mit dem Thema Mikroverunreinigungen. Immer wieder gibt es neue Meldungen über das Vorkommen bestimmter Substanzen in Gewässern und im Trinkwasser. Über die möglichen Auswirkungen wird dabei viel spekuliert. Die vielen Unsicherheiten sowie aktuelle neue Forschungsergebnisse machen das Thema spannend. Die Mikroverunreinigungen werden auch in der Politik diskutiert. Berichte zur Belastungssituation sowie über die möglichen Massnahmen wurden erstellt und entsprechende politische Beschlüsse wurden gefällt.

8.3. Forschungsgebiet

In der Schweiz wurde im Jahr 2000 ein Nationales Forschungsprogramm (NFP50) zur Abklärung der Bedeutung der hormonaktiven Stoffe für Menschen, Tiere und Ökosysteme lanciert. In verschiedenen Studien wurden folgende Bereiche erforscht:

- Einschätzung der Belastung durch hormonaktive Stoffe von Menschen, Tieren und der Umwelt in der Schweiz.
- Methoden und Modelle um die Wirkung dieser Stoffe zu analysieren.
- Abschätzung der Risiken für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für die Erhaltung der Artenvielfalt.
- Beurteilung von möglichen Massnahmen zum Schutz der Menschen und der Umwelt.

Es wurden neue hormonaktive Stoffe gefunden. Studien zeigten, dass verschiedene UV-Filter hormonell wirksam sind. Eine bedenkliche Beobachtung sind UV-Filter, die in Humanmilch vorkommen¹⁸. In einem Projekt wurde eine Wirkung von in der Umwelt vorhandenen Stoffen auf Glucocorticoid- und Mineralocorticoid Rezeptoren nachgewiesen³¹. Somit sollten Mikroverunreinigungen neben der östrogenen Wirkung auch auf andere Hormonaktivität getestet werden.

8. Hintergründe zum Thema Mikroverunreinigungen

Die Mikroverunreinigungen liegen in der Natur in einem Gemisch von vielen verschiedenen Substanzen vor. Deshalb ist es wichtig zu wissen, wie die Substanzen in Kombination auf Organismen wirken. Dies ist jedoch noch weitgehend unbekannt und ein aktuelles Gebiet der Forschung. Es ist naheliegend, dass Substanzen mit der gleichen Wirkung eine additive Wirkung auf Organismen haben. Es konnte gezeigt werden, dass hormonaktive Stoffe additiv wirken und somit Effekte auslösen, selbst wenn die Einzelkomponenten in Konzentrationen vorliegen, die unwirksam sind. Sogar eine synergetische Wirkung bei derer die Wirkung des Gemisches die addierte Wirkung der Einzelsubstanzen übersteigt wäre denkbar^{20,32,33}.

Ein weiterer Forschungsbedarf sind die chronischen Wirkungen auf Organismen, welche bei den meisten Mikroverunreinigungen unbekannt sind. Deshalb ist es schwer abzuschätzen, welche Wirkungen die Belastung auf eine Population oder ein Ökosystem haben wird. Es sind Studien im Gang um mehr über die Auswirkungen einzelner Chemikalien auf die Umwelt zu erfahren. Die Erfassung der aktuellen Lage ist ebenfalls ein offenes Arbeitsgebiet. Messungen von Mikroverunreinigungen in Gewässern sind aufwändig. Deshalb wird zusätzlich versucht, die Belastung zu modellieren. Für eine Risikobeurteilung werden die Forschungsergebnisse von solchen ökotoxikologischen Studien verwendet. Die aktuellen Studien dienen als Grundlage für politische Entscheide und Massnahmen zur Handhabung von Mikroverunreinigungen.

Ein wichtiges Forschungsgebiet ist die Etablierung von Testsystemen. Nur mit funktionierenden Nachweismethoden können die Gewässer überwacht und allenfalls rechtzeitig Massnahmen ergriffen werden. Die Entwicklung neuer Nachweismethoden für hormonaktive Stoffe ist ein langwieriges Unterfangen. Dazu gehören die Etablierung von Testprotokollen und die Evaluation der Testsysteme. Die tiefen Konzentrationen erschweren die Reproduzierbarkeit. Damit man die hormonaktiven Stoffe überhaupt nachweisen kann, müssen sie meist zuerst angereichert werden. Dieser Schritt verursacht natürlich zusätzliche Ungenauigkeit.

Ein aktueller Forschungszweig sind *in silico* Methoden. Sie werden dazu verwendet um die Wirkung von Substanzen vorherzusagen. Anhand der dreidimensionalen Struktur, sowie den chemisch-physikalischen Eigenschaften des Moleküls, kann mit Computerprogrammen simuliert werden, ob ein Stoff beispielsweise an einen Rezeptor bindet.

9. Stellenwert des Themas in der Biologie

9.1. Einbettung im Lehrplan

Das Thema Mikroverunreinigen lässt sich gut in der Ökologie behandeln. Die Ökologie ist ein fester Bestandteil der Lehrpläne. In den Lehrplänen der Kantonsschule Zürcher Oberland und der Kantonsschule Zürich Nord wird das Gebiet in der 5. Klasse behandelt¹. Es bietet sich an, das Thema Mikroverunreinigungen nach der Behandlung der ökologischen Grundlagen in den Unterricht einzubetten. Die Ökosysteme See und Fluss lassen sich über die Mikroverunreinigungen mit der Einflussnahme des Menschen auf die Umwelt verknüpfen. Dabei können Grundlagen aus der Ökologie angewendet und repetiert werden. Je nach Lehrplan wird die Hormonphysiologie im selben Zeitraum behandelt³⁴. Die Funktionsweise von hormonaktiven Substanzen ist ein wichtiger Lerninhalt des Themas Mikroverunreinigungen. Darum ist es sinnvoll eine Verbindung zur Hormonphysiologie herzustellen. Vielleicht bietet sich die Gelegenheit das Beispiel der hormonaktiven Substanzen als Einführung in das Thema Hormone zu verwenden. Wenn die Hormone bereits behandelt wurden, ergäben sich Anwendungsmöglichkeiten des erworbenen Wissens.

Die Unterrichtseinheit passt demnach am besten in die 5. Klasse eines Langzeitgymnasiums, respektive in die 3. Klasse eines Kurzzeitgymnasiums. Die ausführliche Behandlung des Themas lässt sich am ehesten im Schwerpunktfach Biologie und Chemie umsetzen. Der Lehrplan der Kantonsschule Wettingen² sieht für das Schwerpunktfach ein Lerngebiet "Chemie und Umwelt" vor. Mit der Unterrichtseinheit zum Thema Mikroverunreinigungen liessen sich alle Lerninhalte dieses Gebietes abdecken. Auszüge der Arbeit liessen sich auf jeden Fall auch in das Grundlagenfach dieser Klassenstufe integrieren.

9.2. Bezug zur Evolutionstheorie

Das Hormonsystem ist evolutiv konserviert. Bei Menschen wirken die selben Geschlechtshormone wie bei anderen Wirbeltierarten. Ob bei Weichtieren ebenfalls dieselben Geschlechtshormone wie bei Fischen oder Menschen wirksam sind ist umstritten. Sie besitzen zwar die selben Steroide wie die Wirbeltiere, jedoch ist unklar ob sie diese selber synthetisieren oder aus der Umwelt aufnehmen³⁷. Beim Beispiel der Nordischen Purpur-

¹ *Lehrplan der Kantonsschule Zürcher Oberland: 5. Klasse* <<https://www.kzo.ch/index.php?id=116>> (besucht am 04.07.2015), *Lehrplan Biologie Kantonsschule Zürich Nord* <<http://www.kzn.ch/cms/media/pdf/lehrplanbiologie.pdf>> (besucht am 04.07.2015).

² *Kantonsschule Wettingen Lehrpläne 2012* <https://gesetzessammlungen.ag.ch/frontend/annex%5C_document%5C_dictionaries/11537> (besucht am 17.09.2015).

9. Stellenwert des Themas in der Biologie

schnecke *Nucella lapillus* wird eine Vermännlichung durch Tributylzinn-Verbindungen (TBT) verursacht. Diese Chemikalien, die als Biozide in Unterwasseranstrichen verwendet werden, hemmen wahrscheinlich das Enzym Aromatase (CYP19). Die Aromatase wandelt Testosteron in Estradiol um. Dieser Prozess findet auch in Wirbeltieren statt.¹ Ein weiteres Beispiel aus der Ökotoxikologie ist die durch das Herbizid Atrazin hervorgerufene Verweiblichung bei Fröschen. Es wird angenommen, dass Atrazin die Aromatase (CYP19) induziert.

Obwohl die Geschlechtshormone so hoch konserviert sind, gibt es bei der Geschlechtsdetermination viele Varianten. Bei den Gastropoden gibt es hermaphroditische Arten die permanent zweigeschlechtlich sind. Es gibt aber auch Meeresschnecken welche zuerst männlich sind und sich zu Weibchen umwandeln, wenn sie älter werden. Oder solche die, wie die oben beschriebene Art, entweder Männchen oder Weibchen sind.

Die Abwasserbelastung stellt einen Evolutionsdruck für Wasserorganismen dar. Besonders gut sichtbar wird dies in Extremsituationen. In einem mit Abwasser aus einem Uranbergwerk belasteten Gewässer schafft es eine Algenart zu überleben. Diese Umwelt ist so stark vergiftet, dass keine anderen Algen dort wachsen können. Die Untersuchungen an der Algenart ergaben, dass die Adaptionen auf genetischen Veränderungen beruhen müssen. Die physiologische Anpassungskapazität allein würde der Alge kein Überleben in dieser Umwelt ermöglichen³⁸.

Solche Adaptionen sind auch bei weniger extremen Umweltbelastungen möglich. Es wird beispielsweise vermutet, dass Bachflohkrebse, die in urbanen Gewässern mit hoher Abwasserbelastung leben, besser mit Mikroverunreinigungen umgehen können als ihre Artgenossen aus unbelasteten Gewässern. Wenn diese Tiere in einem Testsystem zur Beurteilung der Wasserqualität eingesetzt werden, muss auf die Herkunft der Krebse Rücksicht genommen werden, da diese einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Dies wäre auch im beschriebenen Versuch mit den Bachflohkrebsen zu beachten.

Ein augenfälliger Bezug zur Evolutionstheorie ist die Entwicklung von Resistenzen von Schädlingen gegen Pestizide. Ein Beispiel dazu ist in der Geschichte von DDT im Lehrbuchkapitel erwähnt. Mücken können nach mehrmaligen DDT Einsatz besser mit dem Gift umgehen.

9.3. Bezug zu biologischen Grundkonzepten

Die **Organisationsebenen des Lebens** spielen im Bereich der Ökotoxikologie, in welchem das Thema Mikroverunreinigungen angesiedelt werden kann, eine grosse Rolle. Ob eine Art von Mikroverunreinigungen betroffen ist, hängt von ihrer Physiologie ab. Wenn es beeinträchtigte Arten gibt, kann dies einen Einfluss auf das Ökosystem haben, wodurch andere Arten indirekt von den Mikroverunreinigungen betroffen sein können.

¹Diese in der Literatur verbreitete Erklärung wird möglicherweise bald überholt sein. Sie geht von einer Wirkung von Testosteron auf die Penisentwicklung bei den Schnecken aus, was jedoch nicht belegt ist. Dies wäre ein Beispiel um aufzuzeigen, wie sich Theorien in der Wissenschaft durch kritisches Hinterfragen ändern. Mit veränderten Annahmen müssen sich auch die Interpretationen von Forschungsergebnissen ändern.

9. Stellenwert des Themas in der Biologie

Somit kann auch die **Stabilität und Verletzlichkeit biologischer Systeme** illustriert werden, was ein weiteres HSGYM-Basiskonzept ist. Dieses Konzept wird nochmals speziell durch die hormonaktiven Substanzen behandelt. Manche Mikroverunreinigungen können das Hormonsystem von Organismen durcheinander bringen, was im Falle der Geschlechtshormone gravierende Folgen auf die Fortpflanzung und die Entwicklung haben kann. Bei der Erklärung der Wirkungsweise von Hormonen und hormonaktiven Substanzen spielen die Basiskonzepte des **Schlüssel-Schloss-Prinzips** und des **Regelkreises** eine wichtige Rolle. Dabei liessen sich auch die **Grundphänomene der Genexpression** mit der Transkription und Translation repetieren oder vorbehandeln. Mikroverunreinigungen werden mit Biotests nachgewiesen. Dabei existieren *in vitro* und *in vivo* Testsysteme. Die *in vitro* Testsysteme sind **moderne molekularbiologische Methoden** bei denen genetisch veränderte Zellen dazu verwendet werden Effekte der Mikroverunreinigungen nachzuweisen. Die *in vivo* Testsysteme verdeutlichen, dass **Organismen offene Systeme in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt sind**. Die Toxikologie befasst sich mit den Auswirkungen von Substanzen auf Organismen. Dabei kommt das **Bausteinprinzip** zum Tragen. Es werden Prozesse in Zellen untersucht um die Wirkung auf Organe und den ganzen Körper zu verstehen. **Modellorganismen** werden verwendet, um die Auswirkungen einer Substanz auf ein Ökosystem zu beurteilen. Dazu werden oft Modellorganismen für die verschiedenen Trophieebenen verwendet. Das Reinigungsverfahren mit der Pulveraktivkohle funktioniert durch das Prinzip der **Oberflächenvergrößerung**. Bei einem Exkurs in die Abwasserreinigung sind **Stoffkreisläufe** von zentraler Bedeutung. Ohne die Abwasser-Reinigungsanlagen wäre der Nährstoffeintrag in unsere Seen so hoch, dass das Ökosystem in den Seen aus dem Gleichgewicht geraten würde.

9.4. Verbindung zu anderen Disziplinen

Die wichtigste Verbindung für das Thema Mikroverunreinigungen ist diejenige zur Chemie. Die Kenntnis der chemischen Eigenschaften der Substanzen ist grundlegend für das Verständnis ihres Verhaltens in der Umwelt. Anhand der Chemie lässt sich beispielsweise erklären, warum ein Stoff die ARA passieren kann oder dort zurückgehalten wird. Bei der Analyse des Verhaltens von Mikroverunreinigungen in der Umwelt, lässt sich beispielsweise die Theorie zur Verteilung eines Stoffes zwischen zwei Phasen anwenden.

Für einen fachübergreifenden Unterricht eignet sich das Thema der Wasserversorgung und Abwasseraufbereitung ganz speziell. Es passt gut zum Thema Mikroverunreinigungen und liefert Hintergrundinformationen, die wichtig sind um den Eintrag über das gereinigte Abwasser und die zusätzlichen Reinigungsverfahren zu verstehen. Die Abwasserreinigung lässt sich mit den Fächern Geographie, Chemie und Physik gemeinsam behandeln. Die Geographie beschreibt die aufwändige Infrastruktur der Schweizer Wasserversorgung und Kanalisation. Allenfalls wäre ein Vergleich mit der Handhabung in anderen Ländern spannend. Die Chemie behandelt Schadstoffe und deren Abbau. Sie geht auf die chemischen und biochemischen Reaktionen ein, die in der ARA ablaufen. Die möglichen Reinigungsverfahren zur Reduktion des Eintrags von Mikroverunreini-

9. Stellenwert des Themas in der Biologie

gungen fallen ebenfalls in das Gebiet der Chemie. Die Physik erklärt wie die ARA und die Kanalisation technisch funktionierten. Es liessen sich Durchflussgeschwindigkeiten durch Rohre, die Sedimentationsgeschwindigkeit der Partikel im Abwasser und viele andere für die ARA relevanten Faktoren berechnen. Die Biologie behandelt Auswirkungen der Wasserwirtschaft auf die Umwelt. Ein Beispiel ist die Eutrophierung von Seen vor dem Bau der ARAs.

10. Didaktische Umsetzung

10.1. Reflexion über grundlegende Misskonzepte

Auflistung möglicher Misskonzepte:

- Kläranlagen können das Abwasser vollständig aufreinigen.
- In der Schweiz sind Chemikalien so stark reguliert, dass die Konsumenten die Umwelt gar nicht wirklich belasten können.
- Die Kosmetikprodukte, die im Laden verkauft werden, sind so weit getestet, dass sie mit Sicherheit keine schädliche Wirkung auf den Körper haben.
- Das Trinkwasser in der Schweiz ist frei von jeglichen Verunreinigungen.
- Schadstoffe werden in unseren Gewässern so stark verdünnt, dass sie keinen negativen Einfluss mehr auf die Umwelt haben.

Korrektur der Misskonzepte

- Mikroverunreinigungen werden in den Kläranlagen nicht immer ausreichend eliminiert. Zusätzliche Reinigungsverfahren müssen in den ARAs eingeführt werden um den Eintrag von Mikroverunreinigungen einzuschränken. Im Abschnitt 6.1 "Reinigungsverfahren" wird auf diese Problematik eingegangen.
- Viele Produkte, die bei falscher Anwendung erhebliche Schäden in der Umwelt anrichten, sind in der Schweiz frei zugänglich. Ein Beispiel dafür sind Unkrautvertilger welche trotz Verbot auf Plätzen oder Wegen eingesetzt werden. Von dort werden sie mit dem Regen in Gewässer gespült. Der Abschnitt 6.5 "Massnahmen an der Quelle" thematisiert den Umgang mit umweltbelastenden Chemikalien.
- Pflege- und Kosmetikprodukte werden nicht auf alle möglichen Wirkungen getestet. Viele von ihnen enthalten hormonaktive Substanzen. Eine Beeinflussung des Hormonsystems ist demnach nicht ausgeschlossen (siehe Abschnitt 2.3). Das Arbeitsblatt 10.4 befasst sich mit kritischen Inhaltsstoffe von Pflegeprodukten.
- Auch im Trinkwasser kommen schädliche Bakterien und giftige Chemikalien vor. Jedoch in so einer tiefen Konzentration, dass es unbedenklich ist. Das Kapitel 2 "Wirkung von Chemikalien in der Umwelt" befasst sich mit der Beziehung zwischen Dosis und Wirkung, im Kapitel 3 "Verhalten von Chemikalien in der Umwelt" wird der mögliche Eintrag von Chemikalien ins Trinkwasser angeschnitten.

- Manche Stoffe haben auch in extrem tiefen Konzentrationen noch eine Wirkung auf die Umwelt. Warum das sein kann wird im Kapitel 2 "Wirkung von Chemikalien in der Umwelt" erläutert.

10.2. Lernziel

Leitidee

In der Schweiz sind über 30'000 Stoffe im täglichen Gebrauch, welche über das Abwasser oder direkt in die Gewässer gelangen und als Mikroverunreinigungen existieren. Das Risiko, das von ihnen ausgeht, ist schwierig abzuschätzen. Es werden neue Verfahren in den Abwasserreinigungsanlagen eingeführt um den Eintrag der Mikroverunreinigungen zu reduzieren. Dies ist ein enormer Aufwand. Die Problematik der Mikroverunreinigungen ist aktuell und eignet sich um den Einfluss des Menschen auf die Umwelt aufzuzeigen und zu diskutieren.

Dispositionsziele

- Die SuS werden sich bewusst, dass sie ihren Körper im Alltag verschiedenen Chemikalien aussetzen.
- Die SuS achten, beispielsweise bei der Anwendung von Kosmetika, auf die Inhaltsstoffe um ihren Körper vor schädlichen Substanzen zu schützen.
- Die SuS können das Risiko der Belastung durch Chemikalien abschätzen. Sie verstehen, dass die Zeit der Embryonalentwicklung und die Stillzeit sensible Phasen sind, in denen das Risiko durch eine Belastung mit Mikroverunreinigungen erhöht ist.
- Die SuS verstehen, wie die chemischen und physikalischen Eigenschaften einer Substanz, deren Schicksal im Körper und in der Umwelt bestimmen.
- Die SuS erkennen den hohen Aufwand, den die Reinigung des Abwassers erfordert. Sie sind sich bewusst, wie sie durch ihr persönliches Verhalten die Belastung des Abwassers beeinflussen.
- Die SuS gehen zukünftig sparsam mit Wasch- und Reinigungsmitteln um, und senken dabei ihren Wasser- und Energieverbrauch.
- SuS entsorgen Medikamente künftig fachgerecht und gehen verantwortungsvoll mit Herbiziden um.
- SuS wissen über die Verletzlichkeit von biologischen Systemen Bescheid.

Operationalisierte Lernziele

- Die SuS nennen auswendig den Konzentrationsbereich von Mikroverunreinigungen. Anhand eines eigenen Beispiels erklären sie, was dies bedeutet.
- Die SuS zählen drei verschiedene Anwendungen von Chemikalien aus ihrem Alltag auf, bei denen es zum Eintrag von Mikroverunreinigungen kommt.
- Die SuS erklären einen wichtigen Vorteil eines effektbasierten Tests gegenüber chemischer Analytik.
- Die SuS beschreiben mit Hilfe einer gegebenen Grafik, in Stichworten, wie ein Experiment durchgeführt wird, um die Giftigkeit einer Substanz zu bestimmen.
- Die SuS zeichnen in einer gegebenen Dosis-Wirkungs-Kurve, drei wichtige Punkte ein und erläutern ihre Bedeutung.
- Die SuS nennen zwei Eigenschaften, die bewirken, dass ein Stoff im Körper schon in tiefen Umweltkonzentrationen wirksam ist.
- Die SuS nennen die zwei chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften, welche die Bioakkumulation begünstigen und erklären den Grund dafür.
- Die SuS beschreiben, welche Auswirkungen hormonaktive Substanzen auf den Körper und das Verhalten eines Organismus haben können. Sie ziehen daraus Schlüsse wie hormonaktive Substanzen auf Populationen wirken können.
- Die SuS beschreiben wie Mikroverunreinigungen aus den Haushalten in der ARA, mit den heutigen Reinigungsverfahren, eliminiert werden.
- Die SuS nennen zwei Reinigungsverfahren, welche zu den üblichen Aufreinigungsschritten einer ARA hinzugefügt werden können, um Mikroverunreinigungen besser zu eliminieren. Sie erklären anhand einer gegebenen Skizze wie diese Verfahren ablaufen.

10.3. Prüfungsfragen

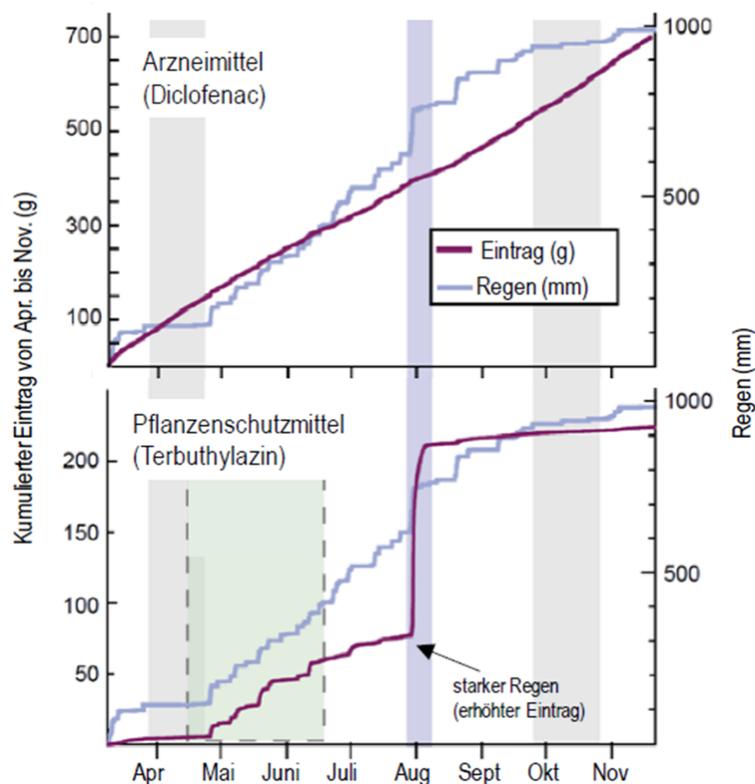
Bei den folgenden Prüfungsfragen ist jeweils der Komplexitätsgrad im Sinn von Bloom *u. a.* angegeben.

1. (K1-2) In welchem Bereich (Größenordnung) liegen die Konzentrationen von Mikroverunreinigungen? Bitte veranschauliche diese Konzentration mit einem Beispiel.
2. (K2-3) Weil du starke Kopfschmerzen hast, nimmst du ein Tablette Aspirin. Beschreibe, was mit dem Wirkstoff passiert, von der Aufnahme in den Körper, bis zum allfälligen Eintrag in ein Gewässer. (Gehe bei deiner Antwort stichwortartig

10. Didaktische Umsetzung

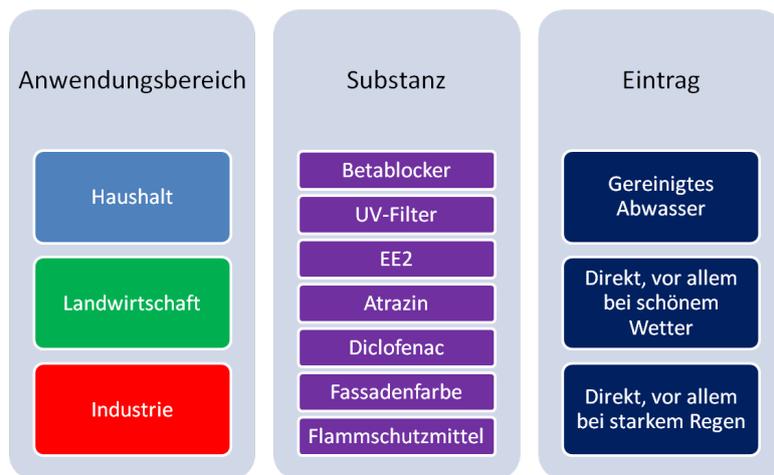
darauf ein, an welchen Stationen und über welchen Prozess die Menge des Wirkstoff verkleinert wird.)

- (K3-4) Beschreibe, was in der unten stehenden Grafik zu sehen ist. Erkläre warum die Kurven von Diclofenac und Terbutylazin unterschiedlich aussehen (Grafik nach Wittmer *u. a.* 2011).



- (K4-5) Im Abfluss einer Kläranlage kommt der Komplexbildner EDTA in einer Konzentration von $21 \mu\text{g/L}$ vor. Welche Informationen über die Chemikalie und über die Umwelt benötigst Du um eine Aussage darüber zu machen, ob von dem Eintrag eine Gefahr für die Umwelt ausgeht.
- (K5-6) Benzotriazol wird als Kühlschmiermitteln der Metallbearbeitung eingesetzt. Das Abwasser des Industriequartiers einer kleinen Gemeinde ist mit grossen Mengen von Benzotriazol belastet. Das Abwasser wird in einer kleinen ARA gereinigt. Benzotriazol ist relativ gut wasserlöslich und persistent. Macht es Sinn die ARA aufzurüsten um die Umweltbelastung durch Benzotriazol zu reduzieren?
- (K1-2) Verbinde die Kästchen! Ordne den Substanzen in der Mitte einen Anwendungsbereich zu. Auf welchem Eintragsweg gelangen die Substanzen in die Umwelt? Verbinde die Kästchen!

10. Didaktische Umsetzung



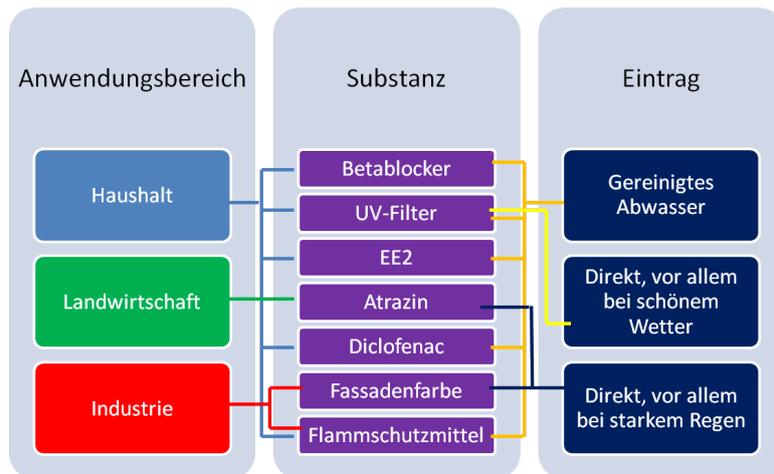
Lösung der Aufgaben:

1. Mikroverunreinigungen sind Stoffe die im Bereich von ng/L - µg/L in Gewässern vorkommen. Die Konzentration von 100 ng/L entspricht dem Wirkstoff einer Kopfehtablette aufgelöst im Wasser von zwei grossen Olympiaschwimmbädern (Grössenordnung mit einer Abweichung bis Faktor 10 in Ordnung).
2. Der Wirkstoff wird im Körper zu einem gewissen Grad metabolisiert. Es entstehen Abbau- und Umwandlungsprodukte. Ein Teil des Wirkstoffs wird über den Urin oder den Stuhl vom Körper ausgeschieden und gelangt mit dem Abwasser in die Kläranlage. In der Kläranlage wird der Wirkstoff bis zu einem gewissen Grad durch Mikroorganismen abgebaut. Möglicherweise bindet ein Teil des Wirkstoffs an den Klärschlamm und wird somit zurückgehalten und verbrannt. Bei manchen Kläranlagen gibt es noch ein Filtrationsschritt, wie die Sandfiltration, welche einen Teil des Wirkstoffs zurückhält. Der übrige Teil gelangt mit dem gereinigten Abwasser in das Gewässer.
Wichtige Stichworte: Abbau durch den Körper, biologischer Abbau in der Kläranlage, Rückhalt durch Adsorption/Anlagerung.
3. Dargestellt ist der aufsummierte Eintrag von Diclofenac und Terbutylazin in ein Gewässer. Während das Arzneimittel Diclofenac kontinuierlich mit dem kommunalen Abwasser in die Gewässer eingetragen wird, findet der grösste Eintrag des Pflanzenschutzmittels Terbutylazin während eines starken Regenereignisses statt. Die Chemikalie wird demnach aus dem Feld geschwemmt und gelangt direkt in das Gewässer.
4. Biologische Wirksamkeit: Ab welcher Konzentration gibt es Effekte bei chronischer Belastung? Verhalten in der Umwelt: Ist die Substanz persistent? Neigt sie zu Bioakkumulation? Verbreitet sie sich rasch in der Umwelt (Adsorption, Flüchtigkeit, Wasserlöslichkeit)? Umweltkonzentration: Wie gross ist die Verdünnung im Gewässer?

10. Didaktische Umsetzung

5. Ja es macht Sinn, weil Benzotriazol in der normalen ARA nur schlecht abgebaut wird. Als zusätzliche Reinigungsverfahren kommen die Ozonung und die Pulveraktivkohle-Behandlung in Frage. Welches Reinigungsverfahren besser geeignet ist, wäre noch abzuklären. Die hohen Kosten, die durch die zusätzlichen Reinigungsverfahren entstehen, sind möglicherweise unverhältnismässig hoch für eine kleine Kläranlage. Deshalb wäre der Anschluss an eine grössere Kläranlage zu prüfen.

6.



10.4. Arbeitsblätter

Die Arbeitsblätter sind im Appendix zu finden. Sie enthalten jeweils auf einer oder mehreren separaten Seiten einen Lösungsvorschlag, sowie eine Auflistung der verwendeten Quellen. Die Arbeitsblätter können somit unabhängig vom Lehrbuchkapitel im Unterricht eingesetzt werden.

Fallstudie Mikroverunreinigungen

Die Fallstudie kann zur Einleitung in das Thema verwendet werden. Die SuS sollen sich dabei selbständig einen Überblick der verschiedenen Aspekte des Themas verschaffen. Durch die Beantwortung der Fragen erarbeiten sich die SuS die Definition von Mikroverunreinigungen, gewinnen Informationen über die möglichen Wirkungen, den Eintrag und die Gegenmassnahmen. Das Lehrbuchkapitel kann dazu verwendet werden, das erarbeitete Wissen zu vertiefen. Die Fallstudie kann als Einzel- oder Gruppenarbeit durchgeführt werden. Wenn für das Thema nur wenig Zeit aufgewendet werden kann, bietet sich die Fallstudie an, um innerhalb von zwei bis vier Lektionen die wichtigsten Punkte zu behandeln. Die SuS bekommen dabei Informationen um die Diskussionen in den Medien zu verstehen. Bei der Behandlung in diesem Stil ist darauf zu achten, dass die Anknüpfungspunkte zu anderen biologischen Themen nicht verloren gehen. Das Thema soll in den grösseren Zusammenhang gesetzt werden.

Das Dokument **”Fallstudie Mikroverunreinigungen”** ist im Appendix auf Seite 66 zu finden.

Die folgenden Artikel aus dem Appendix sind als Unterlagen zur Bearbeitung der Fallstudie gedacht:

- eawag Infoblatt: Häufige Fragen zu Mikroverunreinigungen in Gewässern
- Umweltpraxis: Mikroverunreinigungen – die neue Herausforderung im Gewässerschutz
- Die Welt: Trinken Sie Ihren Kaffee auch mit Viagra?
- eawag Newsarchiv: Pestizidcocktail in Schweizer Flüssen
- eawag Newsarchiv: Flüsse sauber halten ist Vorsorge fürs Trinkwasser
- Tages Anzeiger: Teurer Klärungsbedarf
- NZZ: «Hormonaktive Stoffe sind heute überall»

Inhaltsstoffe von Pflegeprodukten

Das Arbeitsblatt **”Pflegeprodukte unter die Lupe genommen”** im Appendix auf Seite 68 ist eine Auseinandersetzung mit den Inhaltsstoffen von Pflegeprodukten unseres täglichen Bedarfs. Der Hauptauftrag des Arbeitsblattes (S. 1-2) lässt sich in einer halben Lektion erledigen. Zur Vorbereitung des Unterrichts, muss die Lehrperson Verpackungen

10. Didaktische Umsetzung

von Pflegeprodukten organisieren. Dieser Punkt kann den SuS überlassen werden. Indem die SuS eigene Pflegeprodukte mitbringen, haben sie noch einen persönlichen Bezug zu den Produkten, die sie in der Lektion untersuchen. Die SuS können für den zweiten Teil der Aufgabe (Seite 2) ein Smartphone-App oder eine Internetseite benutzen um Informationen über die Produkte zu erhalten. Zur Vorbereitung auf dieses Arbeitsblatt empfiehlt es sich das Kapitel 4 durchzulesen. Der Artikel "Wie riskant ist Triclosan?" der Apotheken Rundschau im Appendix liefert weitere Hintergrundinformationen. Das Arbeitsblatt enthält eine Zusatzaufgabe (Seite 3), in welcher die Wirkung einiger Inhaltsstoffe im Internet oder über das App¹ recherchiert werden soll. Diese Aufgabe kann zur Nachbereitung dienen. Sie klärt über die Wirkung der gefundenen Inhaltsstoffe auf und ist besonders zu empfehlen, wenn das Arbeitsblatt unvorbereitet bearbeitet wurde.

Lernaufgabe Bioakkumulation

Für die Lösung der Lernaufgabe "**Bioakkumulation**" müssen die SuS ihre Kenntnisse über die Nahrungskette aus der Ökologie anwenden. Dazu benötigen sie ebenfalls das Wissen über Stoffeigenschaften aus der Chemie. Bei dem Beispiel lassen sich die beiden Disziplinen miteinander verbinden. Die wichtigen Lerninhalte können mit den einfachen Skizzen schnell erfasst werden. Die Aufgaben sollen innerhalb einer zwanzigminütigen Bearbeitungszeit gelöst werden. Sie sind dazu da, das Grundkonzept zu veranschaulichen. Das Arbeitsblatt "Bioakkumulation" befindet sich im Appendix auf Seite 72, die Lösung dazu auf Seite 74.

Problem based learning: Hormonaktive Substanzen

Ein Vorschlag die Problematik von hormonaktiven Substanzen in der Umwelt in der Form des "problem based learning" zu behandeln, ist das Arbeitsblatt mit dem Titel: "**Beobachtungen in der Umwelt**" auf Seite 76 im Appendix. Die Auswirkungen von hormonaktiven Substanzen auf die Umwelt werden anhand von zwei Beispielen geschildert. Die SuS werden dazu aufgefordert die Ursachen zu finden. Dabei wird zuerst nach der physiologischen Ursache gefragt und damit auf die Wirkung von hormonaktiven Substanzen hingezielt. Die zweite Frage zielt auf den Eintrag von hormonaktiven Substanzen durch den Mensch ab. Zur Beantwortung der Fragen sollen die SuS in Gruppen arbeiten. Innerhalb der Gruppe sollen sich die SuS so organisieren, dass sie in unterschiedlichen Quellen nach den Informationen suchen, die zu Lösung des Problems beitragen. Das Internet bietet sich zur Informationsbeschaffung an. Dazu können auch Artikel ausgeteilt werden, die sich mit der Thematik beschäftigen und Teile der Theorie enthalten. Bei der Recherche können Fragen auftreten, denen die SuS nachgehen sollen. Dadurch entstehen möglicherweise fundiertere Antworten. Nach der Recherche sollen die SuS die gefundenen

¹Barcode Scanner App | CODECHECK.INFO <<http://www.codecheck.info/so-gehts/mobil>> (besucht am 17.07.2015), ToxFox-App – kostenlos Kosmetika testen - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) <http://www.bund.net/themen%5C_und%5C_projekte/chemie/toxfox%5C_der%5C_kosmetikcheck/toxfox%5C_app/> (besucht am 12.07.2015).

10. Didaktische Umsetzung

Informationen innerhalb ihrer Gruppe besprechen und zu Antworten auf die Fragen zusammenfügen. Die folgenden Dokumente aus dem Appendix liefern Informationen zum Problem:

- Ökotoxzentrum Infoblatt: Hormonaktive Stoffe in der Umwelt
- NZZ: Die schädliche Wirkung hormonaktiver Stoffe
- NZZ: Wie gefährlich sind hormonaktive Substanzen?
- NZZ: «Hormonaktive Stoffe sind heute überall»

Das Infoblatt und die Artikel vermitteln einen Teil der gefragten Informationen in gebündelter Form. Deshalb sollten diese Unterlagen eher nach der Auflösung der Aufgabe verteilt werden um das Gelernte festzuhalten. Sie eignen sich auch dazu, das Problem in einen Zusammenhang mit aktuellen Diskussionen zu bringen.

Lernaufgabe Risikoanalyse

Das Arbeitsblatt **”Berechnung der Konzentration von EE2 in der Limmat”** auf Seite 79 im Appendix befasst sich mit der Umweltkonzentration von EE2. Die SuS sollen dazu angeleitet werden die Konzentration von EE2 in der Limmat zu berechnen. Dabei kommt es darauf an, dass sie genau durchdenken, von welchen Faktoren dieser Wert abhängig ist. Das Ziel wäre, dass die SuS eine Formel zur Berechnung der Konzentration aufstellen. Die Werte der Variablen dieser Formel können im Internet recherchiert werden. Schwer zu beschaffene Informationen könne auch geschätzt werden. Ob die Zahlen genau stimmen ist zweitrangig. Wichtig ist, dass alle Faktoren berücksichtigt werden. Bei dieser Aufgabe erarbeiten sich die SuS selbständig ihre Einschätzung der tatsächlichen Belastungssituation. Zur Lösung benötigen sie einiges an mathematischem Verständnis sowie der korrekte Umgang mit Einheiten und Grössenordnungen. Diese Fähigkeiten bringen die SuS aus dem Chemie und dem Physikunterricht mit.

10.5. Anleitung Bachflohkrebsversuch

Eine Möglichkeit, um die Wasserqualität zu beurteilen, ist der *in vivo* Biotest mit Bachflohkrebsen. Die Frassrate von Bachflohkrebsen ist abhängig von der Wasserqualität. In sauberem Wasser haben die Krebschen "mehr Appetit" als in verunreinigtem Wasser. Vergleicht man die Frassraten von Bachflohkrebsen an verschiedenen Standorten miteinander, kann somit indirekt eine Aussage über die Wasserqualität gemacht werden.

Standort

Um den Biotest mit Bachflohkrebsen didaktisch durchzuführen, braucht es einen geeigneten Standort. Ein kleines Fließgewässer, mit einer ARA-Einleitung ist ideal. Die Krebschen können am besten im seichten, schnell fließenden Wasser gefangen werden. Zum Vergleich zweier Standorte, sollte im selben Gewässer unter und oberhalb der ARA-Einleitung getestet werden. Somit können Faktoren, wie Mineralstoffgehalt oder Wassertemperatur des Flusses vernachlässigt werden. Der Unterschied zwischen den Standorten kann auf den Abwassereintrag reduziert werden.



Abbildung 10.1.: Kleiner Bach mit Büschen und Laubbäumen am Ufer.

Gruppen

Der Biotest kann in Zweiergruppen durchgeführt werden. Bei einer Klasse mit 20 Schülerinnen und Schülern, sind 5 Biotest oberhalb und 5 Biotests unterhalb des ARA-Abflusses möglich. Jede Zweiergruppe soll ihren Biotest doppelt ansetzen.

Zeitplanung

1. Lektion

- Einleitung, Theorie Biotest **10-20min**
- Basteln der Käfige **10-20min**
- Besprechung Standardisierung, Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen **10-20min**
- Erstellen der Schablonen um Blätter zuzuschneiden **5min**

2. Lektion

- Fangen der Bachflohkrebse **10-15min**
- Suchen von Laubblättern im Bach, zurechtschneiden **5-10min**
- Verteilen der Krebse und der Blätter auf Käfige, beides fotografisch festhalten **10-15min**
- Einschlagen der Eisenstangen, Käfige daran befestigen **5min**

3. Lektion

- Kontrolle der Käfige, Bachflohkrebse freilassen, Blätter sichern, zusammenräumen **10-15min**
- Diskussion der Quantifizierung der Frassrate, Vereinbarungen für Auswertung treffen **10min**
- Auswertung über Fotovergleich: Blätter vorher - nachher **10-15min**
- Zusammentragen der Ergebnisse, gemeinsame Interpretation **10min**

Die Zeit zwischen dem Ausbringen und dem Einholen der Käfige ist auf ein bis drei Tage festzulegen. Es wären auch Zeitspannen von ein bis zwei Wochen möglich. Die Hin- und Rückreise zum Versuchsstandort ist in die Zeitplanung nicht eingerechnet. Ideal für die Umsetzung des Versuches wären eine Doppellektion. An vielen Maturitätsschulen wäre dies im Rahmen des Biologie-Praktikums möglich, welches meist in einer Doppellektion abgehalten wird. In der Doppellektion sind die ersten beiden Lektionen durchzuführen. Die Theorie und Einleitung sollen dabei so kurz wie möglich gehalten werden um genug Zeit für den praktischen Teil zu haben. Der Versuch müsste dann in der darauf folgenden Lektion eingeholt und ausgewertet werden. Womöglich empfiehlt es sich, eine weitere Lektion für die Auswertung aufzuwenden, um genügend Zeit für Diskussionen und Erklärungen zu haben.

10. Didaktische Umsetzung

Material

Zur Vorbereitung im Klassenzimmer:

- 20 Joghurtbecher, mit Deckel (1 pro Schüler)
- Etwas Schnur oder Draht für jede Gruppe
- 40 Gummibänder (4 pro Gruppe)
- Scheren, Nadeln, Massstäbe, Filzstifte
- Plastikfolie (farbiges Sichtmäppchen)

Für den Feldversuch:

- 4 Küchensiebe (2 pro Standort)
- 2 Wassereimer (1 pro Standort)
- 10 Eisenstangen (1 pro Gruppe)
- 10 Scheren (1 pro Gruppe)
- 4 grosse Hämmer (2 pro Standort)
- 20 Plastikbeutel (2 pro Gruppe)
- helle Unterlagen um Blätter zu fotografieren (1 pro Gruppe)

Wenn möglich mehr Eimer und Siebe mitnehmen, um den Ablauf zu vereinfachen.



Abbildung 10.2.: Eimer, Hammer und Eisenstange für den Feldversuch.

Basteln der Käfige

In den Lebensmittelgeschäften werden verschiedene Milchprodukte in Plastikbechern mit einem Plastikdeckel angeboten. Solche Becher sind für den Versuch ideal.

In den Boden und in den Deckel des Bechers müssen einige kleine Löcher gebohrt werden, damit das Wasser durch den Becher strömen kann. Dazu kann ein spitzes Messer, eine Aale oder eine Kanüle verwendet werden. Es ist darauf zu achten, dass die Löcher im Durchmesser nicht grösser werden als 1-2 mm. Die Bachflohkrebse können durch zu grosse Löcher entweichen.

Am oberen Rand des Bechers werden zwei Löcher gebohrt, durch welche ein etwa 30 cm langes Stück Schnur oder Draht gezogen wird (vergleiche Abbildung 10.3). Schnur oder Draht werden im Bach an einer Eisenstange befestigt um den Becher in der Strömung zu halten.

Der Deckel muss mit zwei Gummibänder gesichert werden. Falls ein Becher ohne Deckel verwendet wird, kann ein Stück Stoff über den Becher gezogen und mit einem Gummiband befestigt werden.

Die beiden Becher sollen auseinander gehalten werden können. Darum die Becher mit einem Filzstift markieren (Becher 1/2, Namen der Schüler).



Abbildung 10.3.: Kleine Löcher in den Boden des Bechers bohren (links). Am oberen Rand zwei Löcher bohren und Draht oder Schnur hindurchziehen (Mitte). Den Deckel mit Gummibändern befestigen (Mitte) oder ein Stück Stoff über die Becheröffnung spannen (rechts).

Um auf dem Feld Blattstücke mit einer genau definierten Fläche zuschneiden zu können, sollte eine Schablone angefertigt werden. Die Schablone kann aus einer farbigen Plastikfolie, wie etwa von einem Sichtmäppchen, gemacht werden. Einfach ein Quadrat von 2x2 cm zuschneiden.

10. Didaktische Umsetzung

Fangen der Bachflohkrebse

Um die Bachflohkrebse zu fangen, sollte ein seichter, schnell fließender Bachabschnitt mit Steinen im Bachbett gewählt werden.

Am Ufer des Baches wird ein mit Wasser gefüllter Eimer bereitgestellt. Um die gefangenen Bachflohkrebse zwischenzulagern.

An dieser Stelle kommt das Küchensieb zum Einsatz. Das Küchensieb wird in die Strömung gehalten. Etwa 10-20 cm vor dem Küchensieb nimmt man Steine in die Hand und hebt sie ein wenig an (siehe Abbildung 10.5). Die Bachflohkrebse leben unter den Steinen im Bachbett. Werden Steine bewegt, lassen sich die Krebschen los. Dies ist eine Fluchtreaktion. Die Bachflohkrebse werden von der Strömung weggetragen und landen im Küchensieb (siehe Abbildung 10.4). Das Sieb im Eimer leeren, um weitere Bachflohkrebse zu fangen oder die Käfige vorzubereiten.



Abbildung 10.4.: Vor dem Küchensieb Steine aus dem Bachbett leicht anheben.



Abbildung 10.5.: Bachflohkrebse im Sieb.

Futter für die Bachflohkrebse

Als Futter für die Bachflohkrebse verwenden wir Laubblätter. Die Krebschen mögen Blätter, die schon von Pilzen zersetzt werden. Mit frischen Blättern können Bachflohkrebse nichts anfangen. Am besten eignen sich dünne, weiche Blätter, die schon weit zersetzt sind. Wenn es Laubbäume und Sträucher am Ufer gibt, können solche Blätter im Bach gefunden werden (siehe Abbildung 10.6). Die gefundenen Blätter werden mit der Schere und der Schablone auf eine genau bestimmte Fläche zugeschnitten.



Abbildung 10.6.: Als Futter für die Bachflohkrebse werden, bereits zersetzte Laubblätter im Gewässer gesucht.

Aufstellen der Käfige

Jede Gruppe stellt zwei Käfige an ihrem Standort auf. Zuerst wird an einem nicht zu seichten Ort im Bach die Eisenstange in den Untergrund gehämmert.

In die Käfige kommt eine definierte Anzahl von Blattstückchen (z.B. 5 Blattstücke). Es ist darauf zu achten, dass in beiden Käfigen die gleiche Qualität von Blättern gegeben wird. Wenn von einem Blatt beispielsweise zwei Stücke angefertigt werden, soll in jeden Käfig ein Stück davon kommen. Bevor die Stücke in den Käfig gegeben werden, müssen sie fotografiert werden. Dazu die Stücke, die in den Becher 1 oder 2 kommen, auf der hellen Unterlage auslegen. Am Rand des Fotos sollte der Becher mit der Beschriftung sichtbar sein. Für die Auswertung muss ersichtlich sein, wie die Blattstücke im Käfig 1 und im Käfig 2 vor dem Versuch ausgesehen haben.

Jeweils vier Bachflohkrebse werden nun in die Becher gegeben. Die Tiere sollen nie lange an der Luft sein. Wenn an den Bechern hantiert wird, muss der Boden immer

10. Didaktische Umsetzung

wieder ins Wasser getaucht werden, um das Austrocknen zu vermeiden. Sobald sich die Krebse im Becher befinden werden die Käfige verschlossen.

Die verschlossenen Käfige werden an der Eisenstange festgemacht (siehe Abbildung 10.7).



Abbildung 10.7.: Die Becher mit Draht oder Schnur an der Eisenstange befestigen.

Auswertung der Frassrate

Nach der Inkubationszeit im Bach, werden die Käfige wieder herausgenommen. Die ange-fressenen Blattstücke, werden fotografiert und in kleine Plastikbeutel verpackt (1 Beutel pro Käfig). Es muss protokolliert werden, ob alle Bachflohkrebse noch im Käfig sind (vergleiche Abbildung 10.8). Danach können die Tiere frei gelassen werden.

Um die Frassrate zu bestimmen, werden die Bilder von den Blattstückchen vor dem Versuch mit denjenigen nach dem Versuch verglichen (vergleiche Abbildung 10.9). Für jedes Blattstück wird bestimmt, wie viel Prozent die Tierchen weggefressen haben. Die Frassrate der einzelnen Stücke wird aufgerechnet um die Frassrate für den ganzen Becher zu bestimmen.

Die Frassrate der einzelnen Biotests an einem Standort sollte möglichst gleich gross sein. Ansonsten ist der Test keine gute Methode um die Wasserqualität zu beurteilen.

10. Didaktische Umsetzung

Es ist jedoch zu erwarten, dass sich die Testergebnisse stark voneinander unterscheiden. Dies ist ein Ansatzpunkt um mit den Schülerinnen und Schülern zu diskutieren, wie aussagekräftig das Experiment ist. Mit den 10 Messungen für einen Standort liesse sich der Mittelwert, die Varianz und die Standardabweichung für einen Standort berechnen. Die beiden Standorte sollen darauf miteinander verglichen werden. An dieser Stelle könnte auch ein T-Test durchgeführt werden, um den SuS den Umgang mit Daten aus Experimenten zu zeigen und den Begriff der Signifikanz einzuführen.

Da die Varianz der Testergebnisse erwartungshalber hoch ist, sollte besprochen werden, wie das Experiment zu optimieren ist. Verschiedene Faktoren variieren im Versuch und können das Resultat beeinflussen. Die Krebse unterscheiden sich in ihrer Grösse, ihrem Geschlecht und bestimmt auch in ihrer Nahrungsaufnahme bei gleichen Bedingungen. Möglichst ähnliche Versuchstiere zu verwenden, wäre erstrebenswert. Es wäre beispielsweise möglich ein Grössenspektrum, mit Mindest- und Maximallänge festzulegen. Die Blätter unterscheiden sich in ihrer Art und in ihrem Zersetzungsgrad. Das Futter liesse sich noch stark vereinheitlichen. Beispielsweise könnte man nur eine bestimmte Laubart verwenden. Der Zersetzungsgrad müsste auch definiert werden. Von einem stark zersetzten Blatt wird eine grössere Fläche gefressen als von einem weniger stark zersetzten Blatt. Vielleicht gibt es auch Unterschiede in den Käfigen, welche die Frassrate beeinflussen.

Wetterlage

Es ist wichtig die Wetterlage zu berücksichtigen. Der Versuch soll während einer guten Wetterlage durchgeführt werden. Das System mit den Bechern wird wahrscheinlich einem grösseren Regenereignis nicht standhalten. Zudem steigen bei Regen die Pegel und die Becher werden möglicherweise unzugänglich.

Vorschlag für eine Alternative zum Feldversuch

Ein Biotest mit Bachflohkrebsen würde sich allenfalls auch im Schulzimmer durchführen lassen. Die Bachflohkrebse könnten in zwei kleinen Aquarien gehalten werden. Zum Wasser des einen Aquariums wird eine definierte Substanz im Konzentrationsbereich der Mikroverunreinigungen gegeben. Das andere Aquarium enthält sauberes Wasser. Die Bachflohkrebse werden wie oben beschrieben gefüttert und die Frassrate wird bestimmt. Wenn der Biotest erfolgreich funktioniert, sollte die Frassrate im verunreinigten Aquarium kleiner sein.

Vorbereitung für den Versuch:

- 2 kleine Aquarien
- Belüftung für die Aquarien
- geeigneter Stoff (z.B. Medikament)

10. Didaktische Umsetzung

- Messbecher für Verdünnungsreihe
- Bachflohkrebse (aus einem Bach)
- sich zersetzende Laubblätter

10. Didaktische Umsetzung



Abbildung 10.8.: Auf der linken Seite sind die Bachflohkrebse vor dem Versuch zu sehen. Es sind jeweils vier Krebschen. Im Bild oben links ist ein Krebschen von den Blättern verdeckt. Auf der rechten Seite sind die Bachflohkrebse nach dem Versuch zu sehen. Alle bewegen sich normal und scheinen den Versuch gut überstanden zu haben. Im unteren Käfig konnten zwei Krebschen durch ein zu grosses Loch entweichen.

10. Didaktische Umsetzung



Abbildung 10.9.: Oben sind die Blätter vor dem Versuch abgebildet. Unten sind die Blätter nach einer Versuchsdauer von 48 Stunden zu sehen. Es ist ersichtlich, dass die Bachflohkrebse nicht alle Blattarten gefressen haben.

Literatur

1. Wittmer, I. u. a. Über 100 Pestizide in Fließgewässern. *Aqua & Gas* **94**, 32–43 (2014).
2. Gälli, R., Ort, C. & Schärer, M. Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung. *Umwelt-Wissen* **0917**, 103 S. (2009).
3. Jobling, S., Nolan, M., Tyler, C. R., Brighty, G. & Sumpter, J. P. Widespread sexual disruption in wild fish. *Environmental Science and Technology* **32**, 2498–2506 (1998).
4. Hayes, T. B. u. a. Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide atrazine at low ecologically relevant doses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **99**, 5476–80 (Apr. 2002).
5. Gefährdet die Umwelt die menschliche Fruchtbarkeit? (2012).
6. Fent, K. *Ökotoxikologie: Umweltchemie - Toxikologie - Ökologie* 4. Aufl., 392 (Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2013).
7. Schlumpf, M. & Lichtensteiger, W. *Hormonaktive Chemikalien* (Verlag Hans Huber, Bern, 2000).
8. Vedani, A., Spreafico, M., Peristera, O., Dobler, M. & Smiesko, M. VirtualToxLab – in silico Prediction of the Endocrine-Disrupting Potential of Drugs and Chemicals. *CHIMIA International Journal for Chemistry* **62**, 322–328 (2008).
9. Coady, K. K. u. a. Effects of atrazine on metamorphosis, growth, laryngeal and gonadal development, aromatase activity, and sex steroid concentrations in *Xenopus laevis*. *Ecotoxicology and environmental safety* **62**, 160–73 (Okt. 2005).
10. Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **107**, 4612–7 (März 2010).
11. Maerkel, K., Durrer, S., Henseler, M., Schlumpf, M. & Lichtensteiger, W. Sexually dimorphic gene regulation in brain as a target for endocrine disrupters: developmental exposure of rats to 4-methylbenzylidene camphor. *Toxicology and applied pharmacology* **218**, 152–165 (2007).
12. Schlumpf, M. u. a. Developmental toxicity of UV filters and environmental exposure: A review. *International Journal of Andrology* **31**, 144–150 (2008).
13. Fent, K., Weston, A. A. & Caminada, D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)* **76**, 122–59 (Feb. 2006).

Literatur

14. Martin-Diaz, L. *u. a.* Effects of environmental concentrations of the antiepileptic drug carbamazepine on biomarkers and cAMP-mediated cell signaling in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)* **94**, 177–85 (Sep. 2009).
15. Mnif, W. *u. a.* Effect of endocrine disruptor pesticides: a review. *International journal of environmental research and public health* **8**, 2265–303 (Juni 2011).
16. De Coster, S. & van Larebeke, N. Endocrine-disrupting chemicals: associated disorders and mechanisms of action. *Journal of environmental and public health* **2012**, 713696 (Jan. 2012).
17. Faniband, M., Lindh, C. H. & Jönsson, B. A. G. Human biological monitoring of suspected endocrine-disrupting compounds. *Asian journal of andrology* **16**, 5–16 (Jan. 2014).
18. Schlumpf, M. *u. a.* Endocrine Active UV Filters: Developmental Toxicity and Exposure Through Breast Milk. *CHIMIA International Journal for Chemistry* **62**, 345–351 (2008).
19. Balmer, M. E., Buser, H. R., Müller, M. D. & Poiger, T. Occurrence of some organic UV filters in wastewater, in surface waters, and in fish from Swiss lakes. *Environmental Science and Technology* **39**, 953–962 (2005).
20. Fent, K., Kunz, P. Y. & Gomez, E. UV Filters in the Aquatic Environment Induce Hormonal Effects and Affect Fertility and Reproduction in Fish. *CHIMIA International Journal for Chemistry* **62**, 368–375 (2008).
21. Kienle, C., Kase, R. & Werner, I. Evaluation of bioassays and wastewater quality. In vitro and in vivo bioassays for the performance review in the Project "Strategy MicroPoll". Summary, 71 (2011).
22. Loos, R. *u. a.* EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Water research* **47**, 6475–6487 (2013).
23. Abegglen, C. & Siegrist, H. *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser* Bern, 2012.
24. *Stopp den Giftzweig* <<http://www.giftzweig.ch/index.php?id=6>> (besucht am 12.07.2015).
28. Johnson, A. C. *u. a.* Do concentrations of ethinylestradiol, estradiol, and diclofenac in European rivers exceed proposed EU environmental quality standards? **47**, 12297–304 (Jan. 2013).
29. Jobling, S. *u. a.* Comparative responses of molluscs and fish to environmental estrogens and an estrogenic effluent. *Aquatic Toxicology* **65**, 205–220 (2003).
30. Bryan, G. W., Gibbs, P. E., Hummerstone, L. G. & Burt, G. R. The Decline of the Gastropod *Nucella Lapillus* Around South-West England: Evidence for the Effect of Tributyltin from Antifouling Paints. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **66**, 611–640 (1986).

Literatur

31. Odermatt, A. & Gummy, C. Disruption of Glucocorticoid and Mineralocorticoid Receptor-Mediated Responses by Environmental Chemicals. *CHIMIA International Journal for Chemistry* **62**, 335–339. ISSN: 00094293 (Mai 2008).
32. Kunz, P. Y. & Fent, K. Estrogenic activity of ternary UV filter mixtures in fish (*Pimephales promelas*) - an analysis with nonlinear isobolograms. *Toxicology and applied pharmacology* **234**, 77–88 (Jan. 2009).
33. Fent, K., Escher, C. & Caminada, D. Estrogenic activity of pharmaceuticals and pharmaceutical mixtures in a yeast reporter gene system. *Reproductive toxicology (Elmsford, N.Y.)* **22**, 175–85 (Aug. 2006).
34. *Lehrplan der Kantonsschule Zürcher Oberland: 5. Klasse* <<https://www.kzo.ch/index.php?id=116>> (besucht am 04.07.2015).
35. *Lehrplan Biologie Kantonsschule Zürich Nord* <<http://www.kzn.ch/cms/media/pdf/lehrplanbiologie.pdf>> (besucht am 04.07.2015).
36. *Kantonsschule Wettingen Lehrpläne 2012* <https://gesetzessammlungen.ag.ch/frontend/annex%5C_document%5C_dictionaries/11537> (besucht am 17.09.2015).
37. Scott, A. P. Do mollusks use vertebrate sex steroids as reproductive hormones? Part I: Critical appraisal of the evidence for the presence, biosynthesis and uptake of steroids. *Steroids* **77**, 1450–1468. ISSN: 0039-128X (2012).
38. Garcia-Balboa, C. *u. a.* Rapid adaptation of microalgae to bodies of water with extreme pollution from uranium mining: an explanation of how mesophilic organisms can rapidly colonise extremely toxic environments. *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)* **144-145**, 116–23 (Nov. 2013).
39. Bloom, B. S., of College, C. & Examiners, U. *Taxonomy of educational objectives* (David McKay New York, 1956).
40. Wittmer, I. K., Scheidegger, R., Bader, H.-P., Singer, H. & Stamm, C. Loss rates of urban biocides can exceed those of agricultural pesticides. *Science of the Total Environment* **409**, 920–932 (2011).
41. *Barcode Scanner App | CODECHECK.INFO* <<http://www.codecheck.info/so-gehts/mobil>> (besucht am 17.07.2015).
42. *ToxFox-App – kostenlos Kosmetika testen - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)* <http://www.bund.net/themen%5C_und%5C_projekte/chemie/toxfox%5C_der%5C_kosmetikcheck/toxfox%5C_app/> (besucht am 12.07.2015).

Appendix

Fallstudie Mikroverunreinigungen

Arbeitsauftrag

Bitte beantworte die folgenden Fragen. Die Informationen findest Du in den beigelegten Artikeln. Wenn Fragen auftauchen oder Du zusätzliche Informationen benötigst, recherchiere im Internet. (Geordnete und wissenschaftlich fundierte Angaben findest Du unter oekotoxzentrum.ch, bafu.admin.ch.) Wenn Du alle Fragen beantwortet hast, hole das Infoblatt zum Thema Mikroverunreinigungen¹, womit Du Deine Antworten kontrollieren kannst.

Fragen

1. Was genau sind Mikroverunreinigungen?
2. Welche Wirkungen können Mikroverunreinigungen auf Menschen und auf die Umwelt haben?
3. Woher kommen die Mikroverunreinigungen?
4. Wie kommt der Mensch mit Mikroverunreinigungen in Kontakt?
5. Was wird gegen Mikroverunreinigungen unternommen?

Artikel

eawag Infoblatt: Häufige Fragen zu Mikroverunreinigungen in Gewässern¹

Umweltpraxis: Mikroverunreinigungen – die neue Herausforderung im Gewässerschutz²

Die Welt: Trinken Sie Ihren Kaffee auch mit Viagra?³

eawag Newsarchiv: Pestizidcocktail in Schweizer Flüssen⁴

eawag Newsarchiv: Flüsse sauber halten ist Vorsorge fürs Trinkwasser⁵

Tages Anzeiger: Teurer Klärungsbedarf⁶

NZZ: «Hormonaktive Stoffe sind heute überall»⁷

Lösung

1. Organische Spurenstoffe, die in sehr tiefen Konzentrationen in Gewässern vorkommen (ng/L - µg/L).
2. Manche Mikroverunreinigungen wirken wie Hormone. Sie können das Hormonsystem stören und so die Entwicklung und die Fortpflanzung von Tieren und Menschen beeinflussen. Beispielsweise ist bekannt, dass männliche Fische durch Mikroverunreinigungen verweiblicht werden. Wenn Pestizide in Gewässer gelangen entfalten sie auch dort ihre Wirkung. Herbizide blockieren beispielsweise die Photosynthese in Algen.
3. Sie stammen aus Haushalten, aus der Industrie und aus der Landwirtschaft. Die Inhaltsstoffe von Produkten, die wir im Haushalt konsumieren (Körperpflege, Kosmetik, Arzneimittel, Reinigungsmittel, etc.), gelangen über das gereinigte Abwasser in die Umwelt. Einträge aus der Landwirtschaft ergeben sich, wenn bei starken Regenfällen Pestizide aus den Feldern ausgeschwemmt werden. Pestizide kommen auch in Anstrichen von Hausfassaden vor, wo sie ebenfalls ausgewaschen werden.
4. Mikroverunreinigungen können im Trinkwasser vorkommen. Mit hormonaktiven Substanzen kommen Menschen oft direkt in Kontakt (z.B. bei der Anwendung von Sonnencreme). Es ist auch möglich, dass sich Chemikalien in der Umwelt anreichern (Bioakkumulation), und sie von Menschen mit der Nahrung aufgenommen werden.
5. Es sind zusätzliche Reinigungsverfahren in den Kläranlagen geplant. In den kommenden Jahren sollen die grösseren Kläranlagen ihr Abwasser zusätzlich mit Ozonung oder Aktivkohlefiltration behandeln. Die Einträge durch die Landwirtschaft sollen durch den fachgemässen Umgang mit Pestiziden minimiert werden. Dies soll durch bessere Information und Ausbildung, sowie zusätzliche Vorschriften erreicht werden.

Quellen

1. Schäfer A, Bryner A. *Infoblatt*. Dübendorf; 2012. http://www.eawag.ch/medien/publ/fb/doc/Factsheet-Eawag-Mikroverunreinigungen_d.pdf.
2. Balsiger C (AWEL). Mikroverunreinigungen – die neue Herausforderung im Gewässerschutz. *UMWELTPRAXIS*. 2010;(63):31-34. www.umweltschutz.zh.ch.
3. Zittlau J. Arznei-Rückstände : Forscher entdecken Spuren von Viagra im Abwasser - DIE WELT. 2015. <http://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article130977945/Trinken-Sie-Ihren-Kaffee-auch-mit-Viagra.html>. Accessed July 15, 2015.
4. Bryner A. Pestizidcocktail in Schweizer Flüssen. 2014. <http://www.eawag.ch/de/news-agenda/news-plattform/newsarchiv/archiv-detail/>. Accessed July 15, 2015.
5. Bryner A. Flüsse sauber halten ist Vorsorge fürs Trinkwasser. 2014. <http://www.eawag.ch/de/news-agenda/news-plattform/newsarchiv/archiv-detail/>. Accessed July 15, 2015.
6. Teurer Klärungsbedarf - News Wissen: Natur - tagesanzeiger.ch. 2014. <http://www.tagesanzeiger.ch/wissen/natur/Teurer-Klaerungsbedarf/story/11094253>. Accessed July 15, 2015.
7. Zwei Schweizer Experten fordern Einschränkungen in der Anwendung hormonaktiver Substanzen: «Hormonaktive Stoffe sind heute überall» - NZZ. 2010. <http://www.nzz.ch/hormonaktive-stoffe-sind-heute-ueberall-1.779281>. Accessed July 15, 2015.

Pflegeprodukte unter die Lupe genommen

Name des Produktes: _____

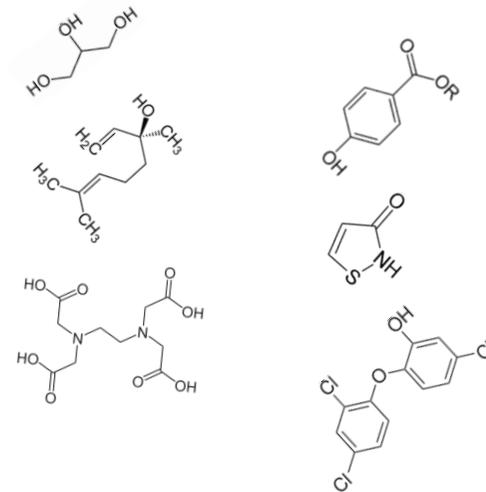
Anzahl verschiedener Inhaltsstoffe: _____

Aufzählung der ersten drei Inhaltsstoffe:

Bezeichnung	Ist dir die Chemikalie bekannt? (Ja / Nein)
1. _____	_____
2. _____	_____
3. _____	_____

Sind im Produkt Stoffe aus der folgenden Liste enthalten?

- Glycerin
- Paraben (Methylparaben, Propylparaben, Ethylparaben, Butylparaben)
- Linalool oder Limonene
- Isothiazolinone (Methylisothiazolinone, Methylchloroisothiazolinone, ect.)
- EDTA
- Triclosan



Sind die Inhaltsstoffe unbedenklich oder ist ein Gefahrenpotential für den Anwender vorhanden?

- Installiere das App "ToxFox" oder "Codecheck" auf einem Smartphone.
- Benutze die App: Scanne den Strichcode oder gib den Produktnamen ein.

Alternativ kannst du auch die Strichcodenummer online eingeben unter:

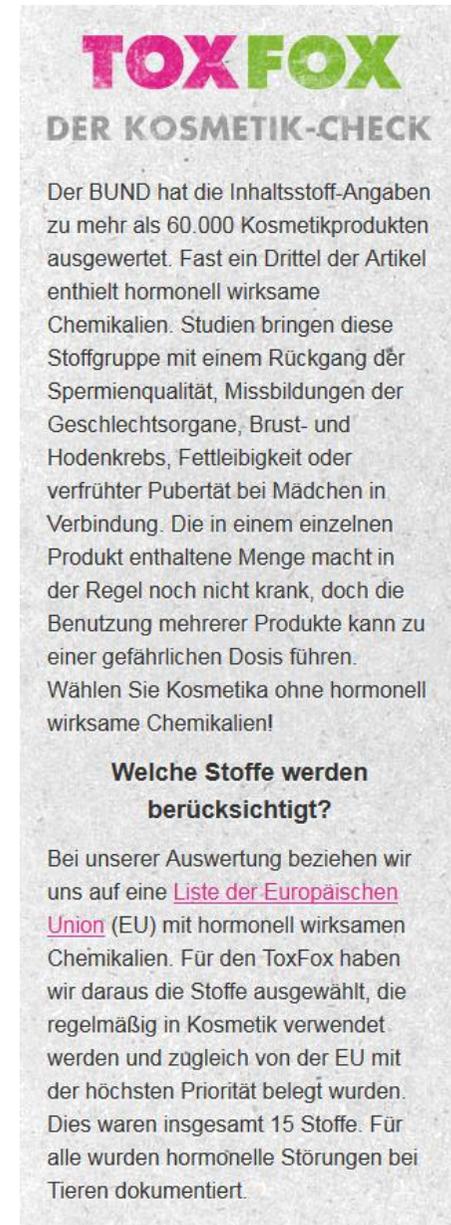
http://www.bund.net/themen_und_projekte/chemie/toxfox_der_kosmetikcheck/kosmetikcheck_online/

Auf der Seite <http://www.codecheck.info/> kannst du auch nach Produktnamen oder Inhaltsstoffen suchen.

Welche Informationen gibt dir das App?

Sind bedenkliche Inhaltsstoffe angegeben? _____

Welche? _____



TOXFOX
DER KOSMETIK-CHECK

Der BUND hat die Inhaltsstoff-Angaben zu mehr als 60.000 Kosmetikprodukten ausgewertet. Fast ein Drittel der Artikel enthielt hormonell wirksame Chemikalien. Studien bringen diese Stoffgruppe mit einem Rückgang der Spermienqualität, Missbildungen der Geschlechtsorgane, Brust- und Hodenkrebs, Fettleibigkeit oder verfrühter Pubertät bei Mädchen in Verbindung. Die in einem einzelnen Produkt enthaltene Menge macht in der Regel noch nicht krank, doch die Benutzung mehrerer Produkte kann zu einer gefährlichen Dosis führen. Wählen Sie Kosmetika ohne hormonell wirksame Chemikalien!

Welche Stoffe werden berücksichtigt?

Bei unserer Auswertung beziehen wir uns auf eine [Liste der Europäischen Union \(EU\)](#) mit hormonell wirksamen Chemikalien. Für den ToxFox haben wir daraus die Stoffe ausgewählt, die regelmäßig in Kosmetik verwendet werden und zugleich von der EU mit der höchsten Priorität belegt wurden. Dies waren insgesamt 15 Stoffe. Für alle wurden hormonelle Störungen bei Tieren dokumentiert.

Was ist das Problem? Quelle: Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)

Zusatzaufgabe: Recherchiere im Internet unter <http://www.codecheck.info/> welche Wirkungen die Stoffe haben können. Vervollständige die Tabelle.

Stoff	Einsatz / Funktion	Problem und Bewertung
Glycerin	Inhaltsstoff für Kosmetik und Lebensmittel Feuchthaltemittel, Verdickungsmittel, feuchtigkeitsbewahrend, hautglättend	empfehlenswert (Ökotest)
Paraben (Methylparaben, Propylparaben, Ethylparaben, Butylparaben)		Hormonelle Störungen wie Veränderungen der Geschlechtsorgane wurden bei Tieren dokumentiert. hormonell wirksam (BUND), eingeschränkt empfehlenswert (Ökotest)
Linalool		
Isothiazolinone (Methylchloro- isothiazolinone, Methylisothiazolinone)		
EDTA		
Triclosan		

Stoff	Einsatz / Funktion	Problem und Bewertung
Glycerin	Inhaltsstoff für Kosmetik und Lebensmittel Feuchthaltemittel, Verdickungsmittel, feuchtigkeitsbewahrend, hautglättend	empfehlenswert (Ökotest)
Paraben (Methylparaben, Propylparaben, Ethylparaben, Butylparaben)	Konservierungsmittel	Hormonelle Störungen wie Veränderungen der Geschlechtsorgane wurden bei Tieren dokumentiert. hormonell wirksam (BUND), eingeschränkt empfehlenswert (Ökotest)
Linalool	Duftstoff, Bestandteil vieler ätherischer Öle, kommt in verschiedenen Gewürzpflanzen vor	Linalool wirkt reizend auf Haut und Augen empfehlenswert (Ökotest)
Isothiazolinone (Methylchloro- isothiazolinone, Methylisothiazolinone)	Konservierungsmittel gegen Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) in wässrigen Dispersionen, Emulsionen und Lösungen	hohe aquatische Toxizität, eiweissverändernd, stark allergisierend nicht empfehlenswert (Ökotest)
EDTA	Konservierungsmittel, verstärkt die Wirkung von anderen Konservierungsmitteln	schwächt Zellmembranen, umweltrelevanter Stoff; wird in der Kläranlage nicht abgebaut und löst aus den Sedimenten von Flüssen und Seen giftige Schwermetalle weniger empfehlenswert (Ökotest)
Triclosan	Konservierungsmittel, Bestandteil von Desinfektionsmittel, besitzt antiseptische und remanent desodorierende Eigenschaften, zur Behandlung von Textilien eingesetzt	steht im Verdacht allergieauslösend und krebserregend zu sein, beim Einsatz in Textilien wird die natürliche Mikroflora der Haut angegriffen, kann im Abwasser zu Methyltriclosan abgebaut werden, Methyltriclosan neigt durch eine längere Halbwertszeit zu Anreicherung in der Umwelt nicht empfehlenswert (Ökotest)

Quellen: <http://www.codecheck.info/>
http://www.bund.net/themen_und_projekte/chemie/toxfox_der_kosmetikcheck/toxfox_mobil/was_ist_das_problem/
<http://de.wikipedia.org/>

Bioakkumulation

Wichtige Informationen:

Fettlösliche Stoffe reichern sich im Fettgewebe an und werden nur schwer vom Körper ausgeschieden. Wasserlösliche Stoffe neigen nicht zur Anreicherung im Körper und werden schnell wieder ausgeschieden.

Chemikalien werden im Körper angereichert, wenn sie nur schlecht vom Körper abgebaut (metabolisiert) werden.

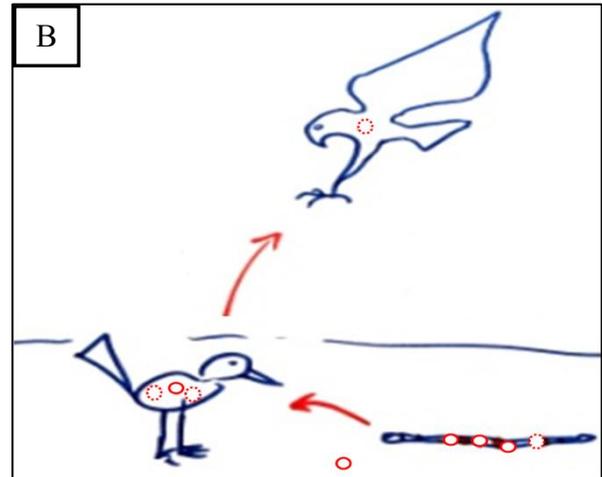
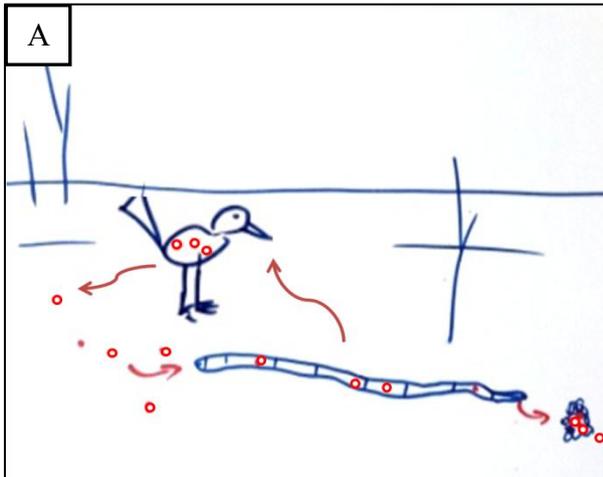
Die Eliminationsrate beschreibt, wie schnell ein Stoff aus dem Körper durch Abbau oder Ausscheidung den Körper verlässt. Ist die Aufnahme eines Stoffes höher als dessen Elimination, wird der Stoff im Körper angereichert. Die Anreicherung von chemischen Substanzen im Körper wird Bioakkumulation genannt.

1.) Verhalten von Chemikalien in der Umwelt

Auftrag: Studiere die Zeichnungen und lies die unten stehenden Formulierungen. Die Zeichnungen sollen das Verhalten von zwei Stoffen mit unterschiedlichen chemischen Eigenschaften illustrieren. Finde die Formulierungen die zu den Zeichnungen A oder B passen (nicht alle Formulierungen passen zu den Illustrationen).

ausgezogener Kreis: Chemikalie/Stoff

gepunkteter Kreis: Abbauprodukte



- fettlöslicher Stoff (lipophil)
- wasserlöslicher Stoff (hydrophil)
- Stoff wird im Körper schnell metabolisiert (abgebaut)
- lagert sich nicht im Fettgewebe ein, wird schnell wieder ausgeschieden
- Aufnahmegeschwindigkeit ist höher als Eliminationsgeschwindigkeit
- Eliminationsgeschwindigkeit ist höher als Aufnahmegeschwindigkeit
- Chemikalie wird entlang der Nahrungskette angereichert
- Konzentration des Stoffes in den Organismen nimmt entlang der Nahrungskette ab

2.) Rechenbeispiel zur Bioakkumulation

DDT wird in der Natur nur langsam abgebaut. DDT ist fettlöslich, es lagert sich in den Zellmembranen ein. In diesem Rechenbeispiel gehen wir davon aus, dass die Chemikalie DDT **nicht im Körper abgebaut** wird und **nicht ausgeschieden** wird. (Das ist eine grobe Vereinfachung, jeder Stoff wird zu einem gewissen Grad durch Abbau, Zerfall und Ausscheidung aus dem Körper eliminiert. Bei DDT ist die Eliminationsrate jedoch gering.)

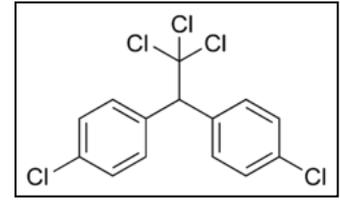


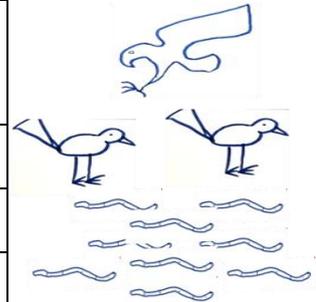
Abbildung: Strukturformel DDT

Ein Wurm hat ein Gewicht von 1g und nimmt in einer Woche mit seiner Nahrung 0.00016mg DDT auf. Die durchschnittliche DDT Konzentration eines Wurmes beträgt 0.42 mg/kg Körpergewicht (Entspricht 3 Wochen Nahrungsaufnahme: $3 \cdot 0.00016 \text{mg/g}$).

Auftrag: Bitte fülle die unten stehende Tabelle aus!

Tabelle: DDT Konzentrationen in der Nahrungskette

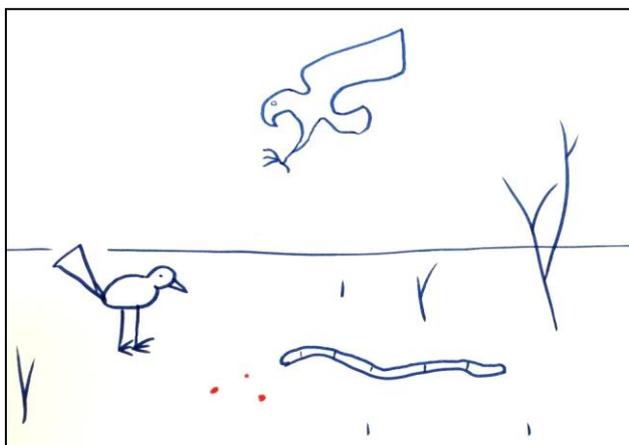
	Körpergewicht (g)	Nahrungsaufnahme	DDT Aufnahme (mg)	DDT Konzentration (mg/kg)
Regenwurm	1	?	0.00042	0.42
Amsel	100	1000 Würmer		
Sperber	200	20 Amseln		



Ab etwa 1955 brachen die Sperberbestände in Europa durch Vergiftung mit dem Pestizid DDT zusammen. DDT führt beim Sperber, wie auch bei anderen Greifvogelarten, zu einer massiven Beeinträchtigung der Reproduktion. Die Gelege zerbrechen, weil DDT eine Verdünnung der Eierschalen bewirkt.

3.) Bioakkumulation von DDT

Auftrag: Beschreibe mit Hilfe der Skizze, wie sich DDT in der Nahrungskette anreichert. (Veranschauliche und beschreibe wie hoch die Konzentrationen bei Konsumenten ersten, zweiten und dritten Grades sind.)



Bioakkumulation - Lösung zur Lernaufgabe

Wichtige Informationen:

Fettlösliche Stoffe reichern sich im Fettgewebe an und werden nur schwer vom Körper ausgeschieden. Wasserlösliche Stoffe neigen nicht zur Anreicherung im Körper und werden schnell wieder ausgeschieden.

Chemikalien werden im Körper angereichert wenn sie nur schlecht vom Körper abgebaut (metabolisiert) werden.

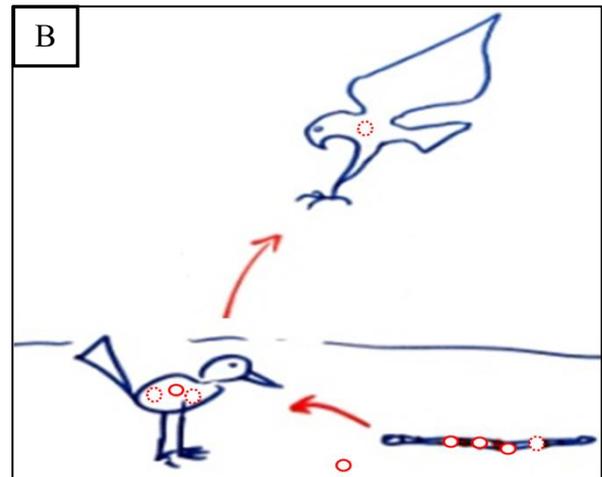
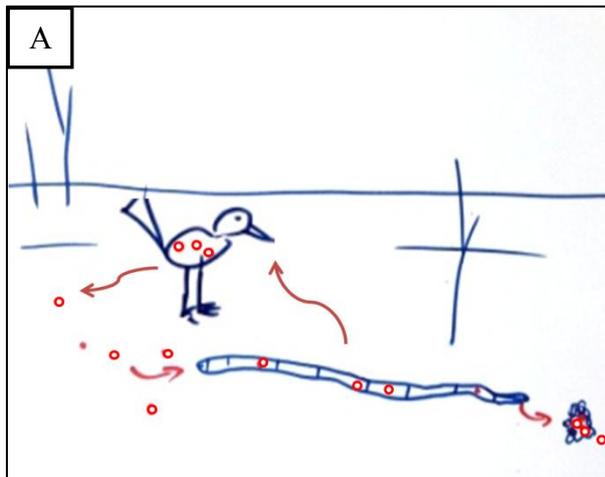
Die Eliminationsrate beschreibt, wie schnell ein Stoff aus dem Körper durch Abbau oder Ausscheidung den Körper verlässt. Ist die Aufnahme eines Stoffes höher als dessen Elimination, wird der Stoff im Körper angereichert. Die Anreicherung von chemischen Substanzen im Körper wird Bioakkumulation genannt.

1.) Verhalten von Chemikalien in der Umwelt

Auftrag: Studiere die Zeichnungen und lies die unten stehenden Formulierungen. Die Zeichnungen sollen das Verhalten von zwei Chemikalien mit unterschiedlichen chemischen Eigenschaften illustrieren. Finde die Formulierungen die zu den Zeichnungen A oder B passen (nicht alle Formulierungen passen zu den Illustrationen).

ausgezogener Kreis: Chemikalie/Stoff

gepunkteter Kreis: Abbauprodukte



- B fettlöslicher Stoff (lipophil)
- A wasserlöslicher Stoff (hydrophil)
- B Stoff wird im Körper schnell metabolisiert (abgebaut)
- A lagert sich nicht im Fettgewebe ein, wird schnell wieder ausgeschieden
- Aufnahmegeschwindigkeit ist höher als Eliminationsgeschwindigkeit
- B Eliminationsgeschwindigkeit ist höher als Aufnahmegeschwindigkeit
- Chemikalie wird entlang der Nahrungskette angereichert
- B Konzentration des Stoffes in den Organismen nimmt entlang der Nahrungskette ab

2.) Rechenbeispiel zur Bioakkumulation

DDT wird in der Natur nur langsam abgebaut. DDT ist fettlöslich, es lagert sich in den Zellmembranen ein. In diesem Rechenbeispiel gehen wir davon aus, dass die Chemikalie DDT **nicht im Körper abgebaut** wird und **nicht ausgeschieden** wird. (Das ist eine grobe Vereinfachung, jeder Stoff wird zu einem gewissen Grad durch Abbau, Zerfall und Ausscheidung aus dem Körper eliminiert. Bei DDT ist die Eliminationsrate jedoch gering.)

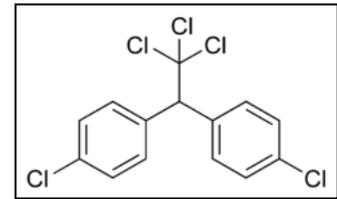


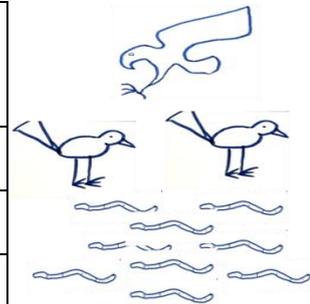
Abbildung: Strukturformel DDT

Ein Wurm hat ein Gewicht von 1g und nimmt in einer Woche mit seiner Nahrung 0.00016mg DDT auf. Die durchschnittliche DDT Konzentration eines Wurmes beträgt 0.42 mg/kg Körpergewicht (Entspricht 3 Wochen Nahrungsaufnahme: $3 \cdot 0.00016 \text{mg/g}$).

Auftrag: Bitte fülle die unten stehende Tabelle aus!

Tabelle: DDT Konzentrationen in der Nahrungskette

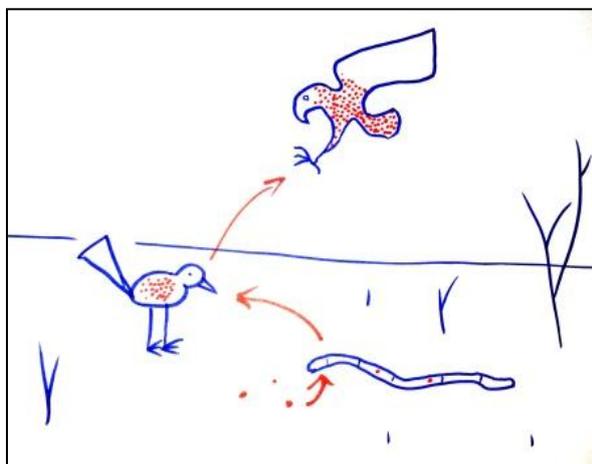
	Körpergewicht (g)	Nahrungsaufnahme	DDT Aufnahme (mg)	DDT Konzentration (mg/kg)
Regenwurm	1	?	0.00042	0.42
Amsel	100	1000 Würmer	0.42	4.2
Sperber	200	20 Amseln	8.4	42



Ab etwa 1955 brachen die Sperberbestände in Europa durch Vergiftung mit dem Pestizid DDT zusammen. DDT führt beim Sperber, wie auch bei anderen Greifvogelarten, zu einer massiven Beeinträchtigung der Reproduktion. Die Gelege zerbrechen, weil DDT eine Verdünnung der Eierschalen bewirkt.

3.) Bioakkumulation von DDT

Auftrag: Beschreibe mit Hilfe der Skizze, wie sich DDT in der Nahrungskette anreichert. (Veranschauliche und beschreibe wie hoch die Konzentrationen bei Konsumenten ersten, zweiten und dritten Grades sind.)



Die Primärkonsumenten akkumulieren Schadstoffe aus der Umwelt in ihrem Fettgewebe. Sekundärkonsumenten nehmen, wenn sie die Primärkonsumenten fressen, die angereicherten Stoffe auf. Im Körper der Sekundärkonsument reichert sich der Stoff weiter an. Die Konzentration des Stoffes steigt mit zunehmender Trophieebene, wobei wirksame Konzentrationen immer wahrscheinlicher werden. Tertiärkonsumenten haben also die höchste Belastung.

Beobachtungen in der Umwelt

Vorgehen

Die beiden unten stehenden Phänomene behandeln ein Umweltproblem. Bitte lies die Texte aufmerksam durch und beantworte anschliessend die untenstehenden Fragen. Recherchiere dazu im Internet oder suche nach Informationen in den bereitgestellten Artikeln.

Fragen

- Wie werden die beobachteten Veränderungen im Körper der Schnecken und der Fische ausgelöst? (Physiologische Ursache)
- Was hat der Mensch damit zu tun?

Vermännlichte Schneckenweibchen

Die Nordische Purpurschnecke *Nucella lapillus* ist im nördlichen Atlantik verbreitet. Sie ernährt sich von Seepocken und Muscheln. Zu ihrer Verteidigung und zur Betäubung ihrer Beute sondert die Schnecke ein milchiges Sekret ab. Unter Lichteinfluss färbt sich dieses Sekret purpurn und kann zum Färben von Textilien verwendet werden. Die Bestände der Nordischen Purpurschnecke sind seit den 1970er Jahren an vielen Orten stark zurückgegangen¹. Es wurde beobachtet, dass weibliche Schnecken männliche Geschlechtsorgane entwickeln. Dieses Phänomen wird Imposex genannt. Die betroffenen Weibchen sind steril. Imposex tritt vor allem in der Nähe von Häfen auf². Weil die Populationen durch dieses Phänomen stark zurückgingen, sind sie heute in der Nord- und Ostsee geschützt. Auch andere Meeresschneckenarten sind von der Vermännlichung betroffen. Weltweit zeigen über 100 Arten Anzeichen.



Abbildung 1: Nordische Purpurschnecke *Nucella lapillus*.

Verweiblichte Fischmännchen

In den 1980er Jahre wurden in England bei Rotaugen (*Rutilus rutilus*) Abnormalitäten in den Reproduktionsorganen beobachtet. Männliche Fische waren verweiblicht, sie hatten Eier in ihren Hoden gebildet. Solche Fische werden als Intersex bezeichnet. Untersuchungen haben gezeigt, dass im Flusslauf unterhalb von Kläranlagen die Intersex-Fische deutlich häufiger vorkommen als oberhalb³. Solche Beobachtungen wurden auch bei vielen anderen Fischarten gemacht⁴.

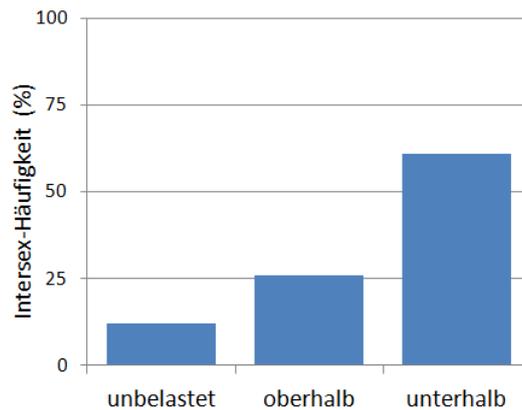


Abbildung 2: Prozentuales Vorkommen von Intersex Rotaugenmännchen relativ zum Kläranlagenabfluss. Unterhalb des Abflusses treten Intersexmännchen deutlich häufiger auf als oberhalb (nach Jobling 1998)⁴.



Abbildung 3: Das Rotauge, lebt in Fließgewässern und Seen Eurasiens und gilt als stark anpassungsfähige Fischart. Die bis zu 50cm langen Rotaugen erbeuten gerne Flohkrebse und sind ihrerseits wichtige Beutefische für Hechte und Zander.

Lösung

Während der Entwicklung, wird die Bildung der Geschlechtsorgane durch Geschlechtshormone gesteuert. Auch im Erwachsenenalter ist die Funktion der Geschlechtsorgane von Signalen abhängig. Diese Signale sind die Geschlechtshormone. Das Hormonsystem der Fische und der Schnecken ist höchstwahrscheinlich gestört.

Die Schnecken sind nur in Hafennähe vermännlicht. Vielleicht wird die Vermännlichung durch die Schifffahrt verursacht. Das Hormonsystem der Schnecken wird durch TBT, einem Stoff in der Farbe von Schiffen, gestört.

Die Fische, die am stärksten von der Verweiblichung betroffen sind, leben unterhalb der Kläranlage. Im Abfluss der Kläranlage muss es etwas geben das die Verweiblichung bewirkt. Es könnte sein, dass im Abwasser Substanzen enthalten sind, die auf das Hormonsystem der Fische wirken.

Quellen

1. Bryan GW, Gibbs PE, Hummerstone LG, Burt GR. The Decline of the Gastropod *Nucella Lapillus* Around South-West England: Evidence for the Effect of Tributyltin from Antifouling Paints. *J Mar Biol Assoc United Kingdom*. 1986;66(3):611-640. doi:10.1017/S0025315400042247.
2. Smith BS. Male characteristics on female mud snails caused by antifouling bottom paints. *J Appl Toxicol*. 1981;1(1):22-25. doi:10.1002/jat.2550010106.
3. Jobling S, Nolan M, Tyler CR, Brighty G, Sumpter JP. Widespread sexual disruption in wild fish. *Environ Sci Technol*. 1998;32(17):2498-2506. doi:10.1021/es9710870.
4. Jobling S, Sheahan D, Osborne J a, Matthiessen P, Sumpter JP. Inhibition of testicular growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to estrogenic alkylphenolic chemicals. 2009;15(2):194-202. doi:10.1002/etc.5620150218.

Abbildungen

1. *Nucella_lapillus*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/39/Nucella_lapillus.jpg/300px-Nucella_lapillus.jpg. Accessed July 14, 2015.
3. Siberian Roach (*Rutilus Rutilus Lacustris*) Royalty Free Stock Photos - Image: 19627608. <http://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photos-siberian-roach-rutilus-rutilus-lacustris-image19627608>. Accessed July 14, 2015.

Berechnung der Konzentration von EE2 in der Limmat

Hintergrundinformation:

Das synthetische Östrogen 17 α -Ethinylestradiol (EE2) wird zur hormonellen Empfängnisverhütung eingesetzt. Die Substanz ist extrem wirksam; schon bei Konzentrationen von 1 ng/L können Effekte bei empfindlichen Fischarten beobachtet werden. Die Predicted No Effect Concentration (PNEC) für Fische liegt bei 0.1 ng/L.

Arbeitsauftrag:

Wir möchten abschätzen, in welchem Bereich die Konzentration von EE2 in der Limmat liegt.

Überlegt, welche Informationen ihr für die Berechnung braucht. Recherchiert im Internet um an die Informationen zu gelangen. Berechnet mit den gefundenen Werten die EE2 Konzentration und gebt eine Einschätzung ab, ob dieser Wert eine Gefährdung der Umwelt bedeutet.

Gegebene Informationen:

Die Ausscheidung von EE2 beträgt 40% der eingenommenen Menge¹.

Die Elimination in der Kläranlage mit nur einer Klärstufe ist lediglich etwa 10%, mit biologischer Stufe und Nachklärbecken beträgt die Elimination im Mittel ca. 82%².

Lösung

Die Dosierung von EE2 zur Empfängnisverhütung beträgt 20-40 µg/d.

Rechnung mit einem Durchschnittswert von 35 µg/d^{1,3}.

Diese Dosis wird in einem Zyklus von vier Wochen immer drei Wochen genommen. Das ergibt eine durchschnittliche Dosis von **26µg/d** über die gesamte Einnahmezeit¹.

Die Ausscheidung von EE2 beträgt 40% der eingenommenen Menge. Dies entspricht **10.5µg/d**.

Der Anteil der Frauen, der die Pille zur Empfängnisverhütung einnimmt, variiert je nach Befragung. Für die Berechnung wird hier die Angabe von **21.7%** aus der Gesundheitsbefragung 2007 mit 15-44-jährigen Frauen des Bundesamtes für Statistik verwendet⁴.

In der ganzen Stadt Zürich leben 203689 Frauen (2014)⁵.

Davon sind 89900 zwischen 15 und 45 Jahre alt (44%)⁶.

Davon nehmen 21.7% die Pille, also **44200** Frauen.

Das bedeutet **10.5µg/d x 44200=464.1g/d** EE2 gelangt mit dem Zürcher Abwasser in die Kläranlage.

In der Kläranlage wird etwa 82% (380.6g/d) eliminiert. Es verlassen **83.54g/d** die Abwasserreinigungsanlage.

Der Wasserabfluss in der Limmat betrug am 13.Juli.2015 60m³/s⁷ er beträgt jedoch im Mittel um die 90m³/s⁸ und kann auch unter 40m³/s abfallen.

Da wir an der chronischen Exposition interessiert sind, rechnen wir mit 90m³/s, wir behalten aber im Hinterkopf, dieser Wert oftmals unterschritten wird und dann die EE2 Konzentration höher ist.

(Mit Q₃₄₇ wird der Abfluss eines Gewässers an einer bestimmten Stelle bezeichnet, welcher an 347 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten wird, gemittelt über 10 Jahre.

Der Q₃₄₇ Wert ist jedoch nicht so leicht zu bestimmen.)

90m³/s = 90000L/s = **7776.0x10⁶L/d**

Eintragsmasse/d : Abflussvolumen/d = Konzentration

83.54g/d : 7776.0x10⁶L/d = 1.0743x10⁻⁸g/L = **0.01ng/L**

Alternative Berechnung:

Im Klärwerk Werdhölzli wird das Abwasser von **434000** Personen gereinigt (2014)⁹.

Pro Kopf Verbrauch von EE2 beträgt in der Schweiz **2.0µg/cap/d**¹⁰.

Das bedeutet **2.0µg/cap/d x 434000=868g/d** EE2 gelangt in die Kläranlage Werdhölzli.

Damit ist der Eintrag bereits doppelt etwa so hoch wie mit den anderen Angaben.

Wir nehmen für den Wasserabfluss der Limmat mit **45m³/s** einen niedrigeren Wert welcher weniger oft unterschritten wird. Damit das EE2 nur noch halb so viel verdünnt.

Die EE2 Konzentration ist demnach ca. 4x höher als bei der ersten Berechnung und beträgt nun **0.04ng/L**.

Vergleich mit Messwerten:

Die maximale Konzentrationen von EE2 in Oberflächengewässern liegen bei 0.1ng/l (0.12ng/l Glatt bei Zellersmühle AR, 1.1.2005)¹¹. Solche hohen Konzentrationen werden in kleinen Gewässern erreicht, die in dicht besiedelten Regionen liegen. Führt das Gewässer beispielsweise während einer Trockenperiode nur wenig Wasser wird das Abwasser nur wenig verdünnt. Die PNEC kann dabei überschritten werden.

Quellen

1. Johnson AC, Williams RJ. A Model To Estimate Influent and Effluent Concentrations of Estradiol, Estrone, and Ethinylestradiol at Sewage Treatment Works. *Environ Sci Technol.* 2004;38(13):3649-3658.
2. Fent K. *Ökotoxikologie: Umweltchemie - Toxikologie - Ökologie.* Vol 4th ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2013.
3. Ethinylestradiol – Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ethinylestradiol>. Accessed July 13, 2015.
4. Abtreibung und Verhütung. <http://www.svss-uspda.ch/de/facts/verhuetung.htm>. Accessed July 13, 2015.
5. Geschlecht - Stadt Zürich. <https://www.stadt-zuerich.ch/prd/de/index/statistik/themen/bevoelkerung/alter-geschlecht/geschlecht.html#daten>. Accessed July 13, 2015.
6. bfs.admin.ch - PX-Web. https://www.pxweb.bfs.admin.ch/Default.aspx?px_language=de. Accessed July 13, 2015.
7. Station. <http://www.hydrodaten.admin.ch/de/2099.html>. Accessed July 13, 2015.
8. 2099Q_LimmZuer.jpg (761×465). http://www.hydrodaten.admin.ch/lhg/az/plots/surface/1year_compared/2099Q_LimmZuer.jpg. Accessed July 13, 2015.
9. Klärwerk Werdhölzli - Stadt Zürich. https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/ueber_uns/organisation/klaerwerk_werdhoelzli.html. Accessed July 13, 2015.
10. Johnson AC, Dumont E, Williams RJ, Oldenkamp R, Cisowska I, Sumpter JP. Do concentrations of ethinylestradiol, estradiol, and diclofenac in European rivers exceed proposed EU environmental quality standards? *Environ Sci Technol.* 2013;47(21):12297-12304.
11. Gälli R, Ort C, Schärer M. Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung. 2009:105.



Infoblatt

Häufige Fragen zu Mikroverunreinigungen in Gewässern

Mikroverunreinigungen und ihre Umwandlungsprodukte werden in Schweizer Gewässern zunehmend nachgewiesen. Teilweise ist das auf eine immer leistungsfähigere Analytik zurückzuführen, aber auch auf eine stetige Zunahme der Anwendungen von künstlichen Stoffen. Zum Bewusstsein der Problematik in der Öffentlichkeit haben namentlich die Forschungsergebnisse zu hormonaktiven Substanzen beigetragen, etwa die Verweiblichung von männlichen Fischen durch Östrogene im Wasser. Als Wasserschloss Europas hat die Schweiz eine besondere Verantwortung gegenüber ihren Nachbarn. Sie gehört daher zu den führenden Ländern bei der Untersuchung von Mikroverunreinigungen im Wasser.

Was sind Mikroverunreinigungen und woher kommen sie?

Mikroverunreinigungen sind organische Spurenstoffe oder auch Metalle, die in sehr tiefen Konzentrationen (Milliardstel- bis Millionstel-Gramm pro Liter) in den Gewässern nachgewiesen werden. Zum Vergleich: Ein Milliardstel-Gramm (Nanogramm) pro Liter entspricht etwa der Konzentration des Wirkstoffs einer Kopfschmerztablette in einem Schwimmbecken mit 25 Metern Länge oder von 1 kg Wirkstoff im Bielersee. Bei diesen Stoffen handelt es sich um Pflanzenschutzmittel, Medikamente, Biozide, Inhaltsstoffe aus Körperpflegeprodukten, Imprägnierungen, Reinigungsmitteln, Farben etc., die aus verschiedensten Quellen wie Landwirtschaft, Haushalt, Bau und Verkehr in die Gewässer gelangen. Durch die zunehmende Chemisierung und eine ständig älter werdende Bevölkerung wird der Verbrauch solcher Stoffe in Zukunft weiter ansteigen. Dass sich auch kleine Konzentrationen aufsummieren, zeigt das Beispiel des Antiepileptikums Carbamazepin: Im Rhein bei Basel wird es in einer Konzentration von rund 15 ng/L gemessen. Pro Tag ist das mehr als ein Kilogramm des hochpotenten Stoffs, das flussabwärts transportiert wird.

Wie werden Mikroverunreinigungen gemessen?

Die Entwicklung immer leistungsfähiger chemischer Analysemethoden z.B. Flüssigchromatographie gekoppelt mit Massenspektrometrie (LC-MS) machte den Nachweis der Mikroverunreinigungen erst möglich. Die Eawag hat dazu entscheidende Beiträge geleistet. Als Ergänzung zur chemischen Analytik werden Proben aus Gewässern und dem Abwasser oft mit ökotoxikologischen Tests untersucht: Hier kommen z.B. Fische, Kleinkrebse oder Algen zum Einsatz. Ausserdem gibt es Tests, um die spezifische Wirkung bestimmter Substanzgruppen nachzuweisen, wie östrogene Aktivität, neurotoxische Wirkung oder die Hemmung der Fotosynthese. Die Biotests ermöglichen eine Aussage über die Wirkung der komplexen Schadstoffgemische auf die Gewässergesundheit. Das Oekotoxzentrum und die Eawag arbeiten daran, die Zahl der Fischversuche durch die Entwicklung alternativer Methoden mit Zelllinien oder Computermodellen zu verringern. Die Tests werden auch deshalb laufend weiter entwickelt, weil die meisten Standardtests auf die akute Toxizität von Stoffen ausgerichtet sind (hohe Konzentrationen und kurze Einwirkzeiten). Sie sind nicht geeignet, um langfristige Belastungen durch Mikroverunreinigungen oder unterschwellige Wirkungen zu beurteilen.

Wie und wann wirken Mikroverunreinigungen?

Ob ein Stoff in die Gewässer gelangt, wird durch seine physikalisch-chemischen Eigenschaften bestimmt. Stoffe, die gut wasserlöslich und schwer oder gar nicht abbaubar sind, passieren die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) nahezu ungehindert und können in der Regel in den Gewässern nachgewiesen werden. Besonders langlebige Substanzen wie Röntgenkontrastmittel werden auch im Grundwasser nachgewiesen. Hohe Konzentrationen treten insbesondere in kleinen Fließgewässern auf, wenn grosse oder mehrere ARA ihren Ablauf einleiten. Meist entfalten die Stoffe im Gewässer unerwünscht dieselben Wirkungen, die an ihrem ursprünglichen Einsatzort erwünscht waren – allerdings auf andere Organismen: gegen Unkraut eingesetzte Pestizide unterbinden die Fotosynthese von Algen, neurotoxische Insektizide schädigen das Nervensystem von Wassertieren und hormonaktive Substanzen aus Antibabypillen oder Kunststoffen beeinträchtigen die Fortpflanzung von Fischen. Daneben sind aber auch subtilere Schädigungen möglich, z.B. des Verhaltens oder des Immunsystems der Organismen. Die Situation wird dadurch kompliziert, dass ähnliche Stoffe sich in ihrer Wirkung summieren und Umwandlungsprodukte unerwartete Effekte auslösen können. Ausserdem beeinflussen Stressfaktoren (UV-Strahlung, Temperaturanstieg) die Schädigung.

Basierend auf Vorkommen, Einsatzart, Eigenschaften und Wirkung hat die Eawag (in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt, kantonalen Gewässer-

Zahlen und Fakten

- In der Schweiz sind über 30'000 Stoffe in Industrie, Gewerbe und Haushalt im täglichen Gebrauch.
- In der Landwirtschaft werden rund 1300 Tonnen Pflanzenschutzmittel jährlich eingesetzt.
- Im Siedlungsgebiet sind es geschätzt 2000 Tonnen Biozide pro Jahr.
- In Privathaushalten der Schweiz werden mehr als 500 Tonnen Arzneimittel pro Jahr konsumiert, wovon ungefähr 170 Tonnen durch Ausscheidungen ins Abwasser gelangen.
- Die Zulassung der Pestizidwirkstoffe ist in der Biozid- und in der Pflanzenschutzmittelverordnung geregelt; die Zulassung von Arzneimitteln erfolgt durch das Schweizerische Heilmittelinstitut Swissmedic.
- Die Gewässerschutzverordnung kennt bisher einzig einen Einzelstoff-Grenzwert für organische Pestizide (Biozide und Pflanzenschutzmittel) von 100 ng/L, sowie wirkungsbasierte Werte für Schwermetalle. Bis jetzt gibt es keine wirkungsbasierten Grenzwerte für andere Substanzen. Auch hormonähnliche Substanzen werden nicht berücksichtigt.

schutzfachstellen und der Industrie) eine Palette von Schweizrelevanten Mikroverunreinigungen ausgewählt, die zukünftig in Überwachungsprogramme der Kantone mit aufgenommen werden können. Zusammen mit dem Oekotoxzentrum wurde darauf aufbauend ein Konzept erarbeitet, um das von Mikroverunreinigungen ausgehende Risiko zu bewerten. Bei den Trinkwasserressourcen für die Bevölkerung besteht zurzeit keine Gefährdung, trotzdem sollten aus Gründen des vorsorglichen Verbraucherschutzes Massnahmen getroffen werden.

Wie können Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser entfernt werden?

Die heute verbreiteten mechanisch-biologischen Abwasserreinigungsanlagen sind vor allem darauf ausgelegt, Feststoffe, gelöste organische Stoffe, sowie die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff aus dem Abwasser zu entfernen. Dennoch eliminieren auch sie bereits eine ganze Palette von Spurenstoffen, indem die Stoffe biologisch abgebaut oder am Klärschlamm angelagert werden. Gewisse Stoffe, darunter Substanzen mit hormonähnlicher Wirkung, werden aber auch im geklärten Abwasser noch in Konzentrationen nachgewiesen, die Effekte auf die Gewässer und Gewässerorganismen haben. Die Eawag hat daher im Labor und in grossen Versuchen Verfahren untersucht, die unerwünschte Spurenstoffe aus dem Abwasser entfernen können. Teilweise konnte dabei auf frühere Erkenntnisse aus der Trinkwasseraufbereitung zurückgegriffen werden. Es schied aber auch Methoden aus, zum Beispiel weil sie nicht genügend effizient sind (UV-Bestrahlung), zuviel Energie benötigen oder eine grosse Menge Abfallprodukte produzieren (Nanofiltration). Als geeignet herausgestellt hat sich die Behandlung des bereits gereinigten Abwassers mit Ozon oder mit Pulveraktivkohle. Ozon hat stark oxidierende Wirkung, d.h. viele chemische Verbindungen werden vom Ozon angegriffen und in Substanzen umgewandelt, die biologisch abbaubar sind und/oder nach einem nachgeschalteten Sandfilter keine ökotoxikologischen Wirkungen mehr zeigen. Im Fall der Pulveraktivkohle werden die Moleküle an die Oberfläche der Kohle gebunden und mit dem getrockneten Klärschlamm entsorgt (verbrannt).

Ist die Technik zum Ausbau der Kläranlagen schon ausgereift?

Grosstechnische und länger dauernde Versuche der Eawag, teils im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, auf den ARA Regensdorf und Opfikon haben gezeigt, dass sich sowohl die Ozonung als auch die Zugabe von Aktivkohle mit verhältnismässig geringem Aufwand in bestehende Anlagen integrieren lassen. Auch die Pilotversuche auf der ARA Vidy in Lausanne haben viel versprechende Resultate gebracht. Beide Verfahren können – mit der entsprechenden Instruktion – vom heutigen Personal in den ARA betrieben werden. Je nach Verhältnissen vor Ort (Platz, Abwasserzusammensetzung etc.) ist das eine oder andere Verfahren besser geeignet. Andere Verfahren, die eine ähnliche Breitbandwirkung bezüglich der eliminierten Stoffe zeigen und deren Kosten und Energieverbrauch in einem vertretbaren Rahmen liegen, sind derzeit nicht in Sicht. In Detailfragen, wie Materialwahl und Steuerung, gehen Forschung und Optimierung der Verfahrenstechnik natürlich laufend weiter.

Wäre es nicht besser zu verhindern, dass die Schadstoffe überhaupt in die Umwelt gelangen?

Die Entfernung von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser ist eine wichtige Massnahme, um zu verhindern, dass diese Stoffe in die Gewässer gelangen. Manche Stoffe, die über die Abwasserreinigung in die Gewässer gelangen, können nämlich nicht durch Verbrauchseinschränkungen oder andere Massnahmen reduziert werden. Mehrere Eawag-Forschungsprojekte haben aber aufgezeigt, dass es parallel dazu auch nötig ist, den Eintrag von Spurenstoffen schon an der Quelle zu vermeiden. So können Anwenderrichtlinien, eine standortgerechte Landwirtschaft und eine gute Ausbildung der Landwirte viel dazu beitragen, dass weniger Pestizide von den Feldern in die Gewässer gelangen. Oder die Anpassung der Rezepturen von Zusatzstoffen in Baumaterialien kann deren Auswaschung mit Regenwasser reduzieren. Im Beispiel von Wurzelschutzmitteln in Bitumenbahnen hat die Zusammenarbeit der Eawag mit den Herstellern zu einer Reduktion der Auswaschung von Bioziden um über 90% geführt. Lassen sich Einträge von toxischen Stoffen in die Umwelt nicht vermeiden, darf auch ein Verbot gewisser hochwirksamer Substanzen kein Tabu sein.

Links

- www.eawag.ch > Forschung > Chemikalien und Effekte
- www.oekotoxzentrum.ch > Projekte
- Informationen des Bundesamtes für Umwelt (Bafu) zu Mikroverunreinigungen und zum Projekt Strategie MicroPoll: <http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/index.html?lang=de>
- Dossier Mikroverunreinigungen des Zürcher kantonalen Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel): <http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasserwirtschaft/gewaesserqualitaet/mikroverunreinigungen.html>
- Forschungsprogramm des Schweizerischen Nationalfonds zu hormonaktiven Substanzen (NFP50) <http://www.nrp50.ch>

Ansprechpersonen

Eawag: Andri Bryner, Kommunikation, 058 765 5104, andri.bryner@eawag.ch

Oekotoxzentrum Eawag-EPFL: Dr. Anke Schäfer, Kommunikation, 058 765 5436, anke.schaefer@oekotoxzentrum.ch

Hormonaktive Stoffe in der Umwelt

Infoblatt

Hormonaktive Stoffe werden in der Umwelt in zunehmendem Mass nachgewiesen. Sie stören den Hormonhaushalt von Organismen, indem sie natürlich vorkommende Hormone nachahmen oder deren Wirkung blockieren. So können sie die Entwicklung, Fortpflanzung und Gesundheit von Mensch und Tier beeinträchtigen.

Welche Substanzen wirken hormonaktiv?

Sowohl natürliche als auch synthetisch hergestellte Stoffe können auf das Hormonsystem eines Organismus wirken. Es handelt sich um folgende Klassen von Substanzen:

- Natürliche Hormone, die im Körper von Menschen oder Tieren produziert werden (z.B. Östrogene, Steroidhormone)
- Natürliche Hormone, die von Pflanzen produziert werden und auf Tier und Mensch wie Östrogene wirken (Phytoöstrogene)
- Synthetische Stoffe, die als Medikamente mit dem Zweck einer Hormonwirkung produziert werden (z.B. Inhaltsstoffe von Antibabypillen)
- Synthetische Substanzen aus Alltagsprodukten, Industrie oder Landwirtschaft, deren Hormonwirkung nicht beabsichtigt ist. Dazu gehören z.B. Inhaltsstoffe von Kunststoffen (Bisphenol A, Phthalate) und Sonnenschutzmitteln (UV-Filter), Flammschutzmittel (bromierte Diphenyle und Diphenylether), Detergenzien (Alkyphenole), Pestizide (einige Herbizide, Insektizide) und Altlasten wie DDT oder PCBs. Vor allem das Vorkommen dieser synthetischen Substanzen in der Umwelt hat in den letzten Jahren stark zugenommen.

Wie gelangen hormonaktive Stoffe in die Umwelt?

Viele im Siedlungsgebiet eingesetzte hormonaktive Stoffe gelangen über kommunale Abwasserreinigungsanlagen in Gewässer, da **sie** dort nicht oder nur teilweise zurückgehalten werden. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Arzneimittel und Inhaltsstoffe aus Kosmetika. Im Aussenbereich auftretende Stoffe können über Regenkanäle direkt in Gewässer gelangen – hier spricht man auch von diffusen Quellen. Dies betrifft zum Beispiel Östrogene aus der Nutztierhaltung, Pestizide und Sickerwasser aus Altlasten und Deponien.

Wie werden hormonaktive Stoffe gemessen?

Die modernen chemischen Nachweismethoden wie die Flüssigchromatographie gekoppelt mit Massenspektrometrie (LC-MS) ermöglichen erst den Nachweis hormonaktiver Stoffe in der Umwelt. Allerdings sind diese Stoffe teilweise in sehr niedrigen Konzentrationen biologisch wirksam, in denen der chemische Nachweis von Einzelstoffen an seine Grenzen gerät. Manche Östrogene entfalten schon in Konzentrationen unter 1 Nanogramm pro Liter ihre Wirkung. Ausserdem ist die Aussagekraft der chemischen Analytik limitiert, da sich die Wirkung von Stoffen mit gleichem Wirkmechanismus addiert. So kann die Kombination verschiedener Östrogene, die jedes für sich in unwirksamen Konzentrationen vorliegen, eine biologische Wirkung hervorrufen. Als Ergänzung zur chemischen Analytik bieten sich ökotoxikologische Testsysteme an, um die Wirkung hormonaktiver Stoffe sensitiv zu bestimmen. Mit *in vitro* Tests kann die Summenwirkung von Stoffen mit gleichem Wirkmechanismus mit Hilfe von genetisch veränderten Hefezellen oder Zellkulturen bestimmt werden. Auf der anderen Seite kommen *in vivo* Tests zum Einsatz, die die Wirkung auf gesamte Organismen wie z.B. Schnecken, Kleinkrebse oder Fische untersuchen. Auch können Biomarker wie z.B. der Vorläufer des Eidotterproteins Vitellogenin direkt in der Leber oder dem Gonadengewebe von Fischen analysiert werden. Vitellogenin wird normalerweise nur bei Weibchen in erhöhtem Mass gebildet. Wenn dieses Protein von Männchen oder Jungtieren produziert wird, deutet dies auf den Einfluss östrogenen Substanzen hin.

Wie wirken hormonaktive Stoffe?

Im Körper von Tier und Mensch sind verschiedene Wirkmechanismen möglich. Hormonähnliche Stoffe binden beispielsweise an die körpereigenen Hormonrezeptoren und aktivieren sie in gleicher Weise wie körpereigene Hormone. Diesen Wirkmechanismus macht man sich bei einigen *in vitro* Biotests wie zum Beispiel dem Hefezell-Östrogentest (YES) oder dem ER-Calux zunutze. Andere hormonaktive Stoffe blockieren die Hormonrezeptoren, so dass die körpereigenen Hormone ihre Wirkung nicht mehr entfalten können. Manche Stoffe beeinflussen auch die Verfügbarkeit von körpereigenen Hormonen oder haben eine indirekte Wirkung auf das Hormonsystem.

Wie beeinflussen hormonaktive Stoffe Organismen und Populationen?

Hormonaktive Stoffe können den Stoffwechsel und die Entwicklung von Tier und Mensch entscheidend beeinflussen. Am besten bekannt sind Wirkungen auf die Sexualentwicklung und Fortpflanzung von Tieren – wie zum Beispiel eine Veränderung im Geschlechterverhältnis oder im Sexualverhalten, eine Verringerung der Fruchtbarkeit oder eine Verdünnung der Eischalen bei Vögeln. Diese Mechanismen führten zu Populationseinbrüchen von Vögeln (verursacht durch DDT), Fischottern (verursacht durch PCBs), Schnecken (verursacht durch Tributylzinn) und Alligatoren (verursacht durch Pflanzenschutzmittel). Viel Beachtung fand das Vorkommen von Intersex-Fischen in Grossbritanniens Fließgewässern unterhalb von Kläranlagen, die mit dem behandelten Wasser hormonaktive Stoffe in die Flüsse einleiten. Die Abwässer von pharmazeutischen

Fabriken erhöhten das Vorkommen von Intersex-Fischen in einem französischen Fluss. In einem See in Kanada brach nach der Langzeitgabe des synthetischen Östrogens Ethinylestradiol eine lokale Fischpopulation zusammen. In der Schweiz konnte noch nicht nachgewiesen werden, dass hormonaktive Stoffe in der Umwelt die Fortpflanzung von Wildtierpopulationen stören. Allerdings fand das Projekt Fischnetz, dass das Vorkommen von hormonaktiven Stoffen vermutlich einer der Faktoren ist, der zum allgemeinen Fischrückgang beitrug. Im Rahmen des Forschungsprogramms des Schweizerischen Nationalfonds zu hormonaktiven Substanzen (NFP50) wurde in einigen Schweizer Gewässern bei Fischmännchen unterhalb von Kläranlagen erhöhte Vitellogeninwerte nachgewiesen. Östrogen wirksame Substanzen können nicht nur auf die Entwicklung und die Fortpflanzung wirken, sondern wahrscheinlich auch zur Schwächung des Immunsystems von Fischen führen.

Welche Biotests eignen sich zum Nachweis von östrogenen Substanzen?

Im Projekt Micropoll des Bundesamts für Umwelt verglich das Oekotoxzentrum verschiedene Biotests zum Nachweis von hormonaktiven Substanzen in Kläranlagen. Besonders gut geeignet für die einfache Bestimmung zahlreicher Proben waren *in vitro* Testsysteme, die hormonaktive Substanzen mit Hilfe von genetisch veränderten Hefezellen oder menschlichen Zellkulturen nachweisen. Vielversprechend waren auch *in vivo* Tests mit frühen Lebensstadien von Fischen (mehr Informationen zu den einzelnen Testsystemen finden Sie im Projektbericht unter http://www.oekotoxzentrum.ch/dokumentation/berichte/doc/Bericht_Micropoll.pdf).

Wie kann verhindert werden, dass hormonaktive Stoffe in die Umwelt gelangen?

Durch eine Aufrüstung der Kläranlagen mit einer Ozonung gefolgt von Sandfiltration oder eine Behandlung mit Pulveraktivkohle kann der Eintrag von hormonaktiven Stoffen in Gewässer stark verringert werden. Eine derartige Aufrüstung der grossen Schweizer Kläranlagen soll bald auch politisch umgesetzt werden. Eine weitere Massnahme ist der Verzicht auf bestimmte Stoffe an der Quelle oder eine Anpassung von Rezepturen. DDTs, PCBs, Tributylzinn und bestimmte Flammenschutzmittel wurden schon gesetzlich verboten. Das Schweizer Chemikaliengesetz berücksichtigt Hormonaktivität allerdings nicht als einen eigenständigen Endpunkt bei der Regulierung, die Stoffe wurden aufgrund anderer toxischer Eigenschaften verboten. Die REACH-Verordnung der EU sieht spezielle Einschränkungen für hormonaktive Stoffe vor: Neu sind diese zulassungspflichtig und können erst nach einer Risikobewertung in Umlauf gebracht werden. Aber auch jeder einzelne kann beispielsweise durch die fachgerechte Entsorgung von Medikamenten und Chemikalien oder den fachgerechten und nachhaltigen Einsatz von Bioziden zur Reduktion hormonaktiver Stoffe in der Umwelt beitragen.

Links

Mehr Informationen zur Effektbewertung innerhalb des Projekts MicroPoll
www.oekotoxzentrum.ch/projekte/micropolleffektbewertung

Stoffe, die unseren Hormonhaushalt verändern (2009). Faktenblatt von Eawag und Empa
www.eawag.ch/medien/publ/fb/doc/fs_eth_bereich_eawag_empa_hormonaktive_substanzen.pdf
Hormonaktive Chemikalien

Forschungsprogramm des Schweizerischen Nationalfonds zu hormonaktiven Substanzen (NFP50)
www.nrp50.ch

The impacts of endocrine disrupters on wildlife, people and their environments – The Weybridge+15 (1996–2011) report (2012). Umfassender neuer Bericht der Europäischen Umweltagentur über die Wirkung hormonaktiver Substanzen
<http://www.eea.europa.eu/publications/the-impacts-of-endocrine-disrupters>

State of the Art Assessment of Endocrine Disruptors (2011). Neuer Bericht der Europäischen Kommission über die Beurteilung hormonaktiver Substanzen.
http://ec.europa.eu/environment/endocrine/documents/4_SOTA%20EDC%20Final%20Report%20V3%206%20Feb%2012.pdf

Ansprechpersonen

Cornelia Kienle, Telefon +41 58 765 5563, cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch
Petra Kunz, Telefon +41 58 765 5395, petra.kunz@oekotoxzentrum.ch
Etienne Vermeirssen, Telefon +41 58 765 5295, etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch

as; Mai 2012

Oekotoxzentrum | Eawag | Überlandstrasse 133 | Postfach 611 | CH-8600 Dübendorf
T +41 (0)58 765 55 62 | F +41 (0)58 765 58 63 | info@oekotoxzentrum.ch | www.oekotoxzentrum.ch

Centre Ecotox | EPFL-ENAC-IIE-GE | Station 2 | CH-1015 Lausanne
T +41 (0)21 693 62 58 | F +41 (0)21 693 80 35 | info@centreecotox.ch | www.centreecotox.ch

Mikroverunreinigungen – die neue Herausforderung im Gewässerschutz

Mit den heutigen hochempfindlichen Analysemethoden ist in unseren Gewässern eine Vielzahl von chemischen Stoffen in sehr tiefen Konzentrationen nachweisbar. Auch wenn die gemessenen Konzentrationen keine Gefahr für die Bevölkerung darstellen, müssen aus vorsorglichen Gründen weitere Massnahmen zum Schutz der Trinkwasserressourcen und der Ökosysteme getroffen werden, die durch diese Stoffe geschädigt werden können. Dabei stehen regulatorische Massnahmen an der Quelle und technische Massnahmen bei den kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) im Vordergrund.

In der Schweiz werden jährlich Zehntausende künstlich hergestellte Stoffe verwendet, von denen ein Teil in unsere Gewässer gelangt. Es sind Stoffe wie Pflanzenschutzmittel, Biozidprodukte

aus Baumaterialien, Inhaltsstoffe aus Arzneimitteln und Publikumsprodukten sowie andere Chemikalien, die in der Landwirtschaft, in Industrie und Gewerbe, im Gesundheitswesen, aber auch im Haushalt und Garten eingesetzt werden.

So vielfältig diese Stoffe und deren Anwendungen sind, so unterschiedlich sind auch ihre Eintrittspfade in die Gewässer. So kann ein Teil dieser Stoffe – beispielsweise auf dem Feld oder im Garten eingesetzte Spritzmittel oder in Fassaden eingebrachte Biozide – mit dem abfließenden Regenwasser direkt ins Gewässer gelangen. Andere Mikroverunreinigungen aus Arzneimitteln, Körperpflegeprodukten oder Reinigungsmitteln gelangen über das Abwasser und die Abwasserreinigungsanlagen (ARA), wo sie nicht oder nur ungenügend entfernt werden, in Flüsse, Bäche und Seen.

Christian Balsiger
Leiter Gewässerschutzlabor
Abteilung Gewässerschutz
AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft
8090 Zürich
Telefon 043 259 91 40
christian.balsiger@bd.zh.ch
www.labor.zh.ch

Wasser



Viele Lebewesen im Wasser reagieren empfindlich auf Mikroverunreinigungen. Im Bild: Edelkrebs, der in verschiedenen Zürcher Gewässern vorkommt.

Quelle: Patrik Steinmann, AWEL

Was sind Mikroverunreinigungen?

Organische Mikroverunreinigungen sind organische Spurenstoffe, die in sehr tiefen Konzentrationen (Milliardstel- bis Millionstel-Gramm pro Liter) in den Gewässern nachgewiesen werden. Bei diesen Stoffen kann es sich um Inhaltsstoffe von Pflanzenschutzmitteln, Biozidprodukten, Arzneimitteln, Kosmetik- und Reinigungsmitteln und andere Umweltchemikalien handeln. Diese können durch ihre Anwendung direkt oder indirekt über die Siedlungsentwässerung in die Gewässer gelangen. Einige Mikroverunreinigungen können sich bereits in sehr tiefer Konzentration nachteilig auf die Gewässer und ihre Lebewesen auswirken.

Weitere Informationen zu Mikroverunreinigungen auf www.awel.zh.ch/mikro.

Beispiele von Arzneimitteln und hormonaktiven Stoffen in Fließgewässern

Wirkstoff	Wirkstoffgruppe	Konzentration Oberflächengewässer (ng/l) (90-Perzentil)	
		Kanton Zürich (1)	Schweiz (2)
Arzneimittel			
Carbamazepin	Antiepileptika	79	43
Ibuprofen	Analgetika	*	52
Diclofenac	Analgetika	104	150
Sulfamethoxazol	Antibiotika	48	59
Clarithromycin	Antibiotika	27	73
Erythromycin	Antibiotika	20	44
Atenolol	Betablocker	145	275
Propranolol	Betablocker	15	*
Sotalol	Betablocker	134	189
Amidotrizoesäure	Kontrastmittel	180	*
Iopromid	Kontrastmittel	182	65
Stoffe mit Wirkung auf den Hormonhaushalt			
17-beta-Estradiol	Steroidhormon	< 1	3
Estron	Steroidhormon	< 1	3
Nonylphenol	Xenöstrogen	14	*
Bisphenol A	Xenöstrogen	9	*

* nicht gemessen oder nicht vergleichbar; 1 ng/l: 1 Milliardstel Gramm pro Liter; 90-Perzentil: 90% aller Messwerte liegen unter, 10% über diesem Wert

1) Daten WWZ und AWEL, AWEL Bericht Juni 2007

2) Christian W. Götz, Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser, gwa 7/2010

Gewässer im Kanton Zürich werden überwacht

Das Gewässerschutzlabor des AWEL untersucht seit vielen Jahren die Gewässer im Kanton Zürich auf ausgewählte Mikroverunreinigungen. Um Problemstoffe frühzeitig zu erkennen und unser Trinkwasser vor Verunreinigungen zu schützen, analysieren Fachleute neben den Oberflächengewässern auch das Grundwasser. Mit neuen, hochempfindlichen Untersuchungsmethoden können bereits kleinste Spuren von Mikroverunreinigungen nachgewiesen werden.

Belastung der Gewässer mit Pestiziden

Die Belastung von Flüssen und Bächen sowie des Grundwassers mit Pestiziden aus Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten wird im Kanton Zürich seit

1999 systematisch untersucht (siehe ZUP, September 2004). Die Ergebnisse zeigen, dass einzelne Wirkstoffe und Abbauprodukte oft seit Jahren in erhöhten Konzentrationen in Flüsse und Bäche gelangen und die aquatische Lebensgemeinschaft empfindlich stören können. Beispiele dafür sind Herbizide aus der Landwirtschaft oder Spritzmittel gegen Insekten, die auch im Haushalt und Garten eingesetzt werden. Ebenso dazu zählen aus Fassaden und anderen Baumaterialien ausgewaschene Wirkstoffe. Damit diese Einträge reduziert werden können, sind vor allem Massnahmen an der Quelle, also bei der Zulassung und Anwendung der Produkte, notwendig.

Belastung mit Arzneimitteln und hormonaktiven Stoffen

Das AWEL untersuchte erstmals in den Jahren 2004 bis 2006 in enger Zusam-

menarbeit mit der Wasserversorgung Zürich WWZ ausgewählte Flüsse und Bäche sowie ARA im Kanton Zürich auf Arzneimittelrückstände und hormonaktive Stoffe. Wie diese und auch weitere Messkampagnen anderer Kantone und Forschungsanstalten aufzeigen, gelangt eine ganze Palette von Medikamentenrückständen aus Haushalten, Praxen, Pflegezentren und Spitälern über die ARA in die Gewässer.

Wirkung von Mikroverunreinigungen in Gewässern

Obwohl diese chemischen Verbindungen meist nur in geringen Konzentrationen in den Gewässern nachweisbar sind, können unerwünschte Effekte bei Lebewesen auftreten. Einige dieser Stoffe greifen direkt in deren Hormonhaushalt ein und können zum Beispiel zu einer Verweiblichung der männlichen Fische führen. Andere Wirkungen sind noch schwer nachweisbar, Indizes deuten aber auf chronische Effekte bei Wasserlebewesen hin. Bei einzelnen Pestiziden wurden schon derart hohe Konzentrationen gemessen, dass diese zu akuten Schäden bei den Lebewesen, insbesondere bei Krebsen und Insektenlarven, in den Gewässern führen können.

Die Beeinträchtigung der Wasserqualität durch Mikroverunreinigungen betrifft insbesondere die dicht besiedelten Regionen der Schweiz wie den Kanton Zürich. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Belastung der Gewässer wegen der Bevölkerungszunahme, wegen des steigenden Medikamentenkonsums sowie wegen der vermehrten Verwendung von chemischen Produkten im täglichen Gebrauch weiter ansteigen wird.

Wie zahlreiche Qualitätsmessungen beim Grund- und Trinkwasser zeigen, kann eine Gefährdung durch den Konsum von Leitungswasser gegenwärtig ausgeschlossen werden. Auch wenn die aktuellen Konzentrationen der Mikroverunreinigungen keine Gefahr für die Bevölkerung darstellen, sind sich

die Fachleute einig, dass aus vorsorglichen Gründen zum Schutze der Trinkwasserressourcen und Ökosysteme Massnahmen getroffen werden müssen.

Verstärkung der Umweltbeobachtung und Massnahmen

Für die Beurteilung der Messungen wird zurzeit in der Schweiz ein einheitliches Konzept erarbeitet, in das auch die neuen Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen der Mikroverunreinigungen aus der Forschung einfließen (siehe Kasten Seite 34). Das AWEL beteiligt sich an diesem Projekt und verstärkt die Zusammenarbeit mit dem Bund, den Kantonen und der Forschung. Um neue Problemstoffe frühzeitig zu erkennen, baut das Gewässerschutzlabor des AWEL zusätzlich die Analytik mit hochempfindlichen Analysengeräten weiter aus und verstärkt die Umweltbeobachtung von Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Um die Belastung der Gewässer mit Mikroverunreinigungen zu verringern, müssen bereits heute umfangreiche Massnahmen geplant und umgesetzt werden. Diese Massnahmen umfassen Vollzugsbereiche der Chemikalien- und Gewässerschutzgesetzgebung. Die wichtigsten davon sind in der Tabelle Seite 32 zusammen mit Beispielen aufgeführt.

Massnahmen an der Quelle

Bei vielen Produkten kann das Problem direkt angegangen werden, wenn bereits bei der Planung des Lebenszyklus eines neuen Produkts, also vom Produktdesign über die Anwendung bis zur Entsorgung oder dem Recycling, die Problematik der Entstehung von Mikroverunreinigungen berücksichtigt wird.

Zu den Massnahmen an der Quelle gehören neben dem Produktdesign auch restriktive Zulassungsverfahren und Verbote für besonders umweltgefährliche oder nicht abbaubare Stoffe. In besonders sensiblen Bereichen wie

Schutzzonen für Gewässer müssen die Einschränkungen und Verbote konsequent eingehalten werden. Weiter ist der umweltgerechte Umgang mit Chemikalien zu fördern. Diese Massnahmen, die in der Schweiz im Chemikalienrecht geregelt sind, müssen aus Sicht des Gewässerschutzes in Zukunft noch konsequenter umgesetzt werden.

Beispiel Pflanzenschutzmittel

Bereits heute sind der Umgang mit sowie die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz in verschiedenen Gesetzen und Verordnungen geregelt, insbesondere in der Pflanzenschutzmittelverordnung und in der Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung. Die darin beschriebenen Verwendungsverbote in besonders sensiblen Bereichen wie in Grundwasserschutzzonen, Naturschutz- und Riedgebieten, an oberirdischen Gewässern inklusive Schutzstreifen und auf Dächern, Terrassen, Lagerplätzen sowie im Bereich von Strassen und Geleisen müssen aber dem Anwender auch bekannt sein und strikte eingehalten werden.

Dies gilt auch für die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln im privaten Be-



Analyse im Gewässerschutzlabor: Mit modernster High-Tech-Analytik den Mikroverunreinigungen auf der Spur.

Quelle: AWEL

reich. Es muss sichergestellt werden, dass keine Spritzmittel aufgrund von Unwissen oder unsachgemässer Verwendung in die Gewässer gelangen. Oft ist sich der private Anwender, der die Spritzmittel frei in Selbstbedienungsläden einkaufen kann, nicht bewusst, dass bereits ein kleiner Becher voll Spritzmittel ausreichen kann, um den gesamten Fisch- oder Krebsbestand in einem Bach zu vernichten.

Dezentrale Massnahmen in Betrieben und Spitälern

Dezentrale Massnahmen, zum Beispiel eine Abwasservorbehandlung am Anfallort, bieten sich dort an, wo Mikroverunreinigungen in grossem Massstab anfallen. Dies können beispielsweise Landwirtschafts- und Industriebetriebe oder Spitälern sein, wo Chemikalien und Wirkstoffe in höherer Konzentration ausgebracht oder in die Kanalisation abgeleitet werden.

Zentrale Massnahmen in Abwasserreinigungsanlagen

Die heutigen kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sind primär

Massnahmen zur Reduktion der Mikroverunreinigungen

Massnahmen an der Quelle	Wirkung
<ul style="list-style-type: none"> • Massnahmen im Rahmen des Chemikaliengesetzes wie Überwachung und Förderung des umweltgerechten Umgangs, restriktive Zulassungsverfahren, Verbote für besonders umweltgefährliche Stoffe und für Anwendungen in sensiblen Bereichen. • weitergehende Massnahmen wie nachhaltige Produkte, Cleaner Produktion, Produkte-Labels, Verzicht auf problematische Anwendungen oder Lenkungsabgaben. 	Der Eintrag von Mikroverunreinigungen, insbesondere aus Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten, kann durch griffige Massnahmen an der Quelle reduziert werden (siehe Massnahmen an der Quelle auf Seite 33).
Dezentrale Massnahmen	Wirkung
<ul style="list-style-type: none"> • Massnahmen bei Emittenten in dezentralen Systemen 	Stoffe oder Stoffgruppen von relevanten Emittenten können durch Abwasservorbehandlung am Anfallort reduziert werden.
Zentrale Massnahmen	Wirkung
<ul style="list-style-type: none"> • Massnahmen auf ARA durch zusätzliche Behandlung des Abwassers mit Ozon oder/und Aktivkohle 	Viele Mikroverunreinigungen, die über das Abwasser eingetragen werden, können in der ARA eliminiert werden (siehe Massnahmen auf ARA, Seite 33).

auf die Elimination abbaubarer Abwasserinhaltsstoffe und Nährstoffe ausgerichtet. Dadurch konnte im Verlauf der vergangenen Jahrzehnte die Wasserqualität unserer Flüsse und Seen entscheidend verbessert werden. Organische Mikroverunreinigungen wie Medikamentenreste, Duftstoffe, Konservierungs- oder Reinigungsmittel und viele andere Chemikalien aus dem täglichen Gebrauch werden jedoch nicht oder nur teilweise entfernt.

Pilotversuche auf ARA, bei denen eine weitergehende Behandlung mit Ozon oder Aktivkohle getestet wird, sollen aufzeigen, dass mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe der Eintrag von Mikroverunreinigungen massgeblich reduziert werden kann. Dabei werden die Effizienz der Verfahren, deren technische Voraussetzungen und Anforderungen an den Betrieb sowie die Kosten genauer abgeklärt. So wurde auf der ARA Wüeri in Regensdorf ZH mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt BAFU und des AWEL während eines 16-monatigen Pilotversuchs die Eignung der Ozonisierung im Praxis-Massstab, also für den gesamten Abwasserabfluss, getestet. Gasförmiges Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel, das in der Trink- und Abwasserbereitung schon länger zur Desinfektion und zur Entfernung von Ge-

ruchs- und Geschmacksstoffen zum Einsatz kommt.

Pilotversuch Ozonisierung wirkt

Während des Pilotversuchs wurden über 50 verschiedene Mikroverunreinigungen analysiert, die in konventionellen ARA nicht oder nur ungenügend eliminiert werden. Die Ozonisierung führte zu einer deutlichen Abnahme der im Ablauf messbaren Stoffe. So wurden beispielsweise die untersuchten Antibiotika und Östrogene vollständig eliminiert. Die im gereinigten Abwasser beobachtete Wirkung der hormonaktiven Stoffe wurde nach Ozonisierung nicht mehr festgestellt. Der Pilotversuch zeigt auch, dass sich die Ozonisierung unter bestimmten Voraussetzungen mit relativ geringen Anpassungen in eine moderne kommunale ARA integrieren lässt. Die Anlage konnte nach dem Einfahren problemlos durch das ARA-Personal betrieben werden, und der Betrieb verlief praktisch störungsfrei. Der zusätzliche Energieverbrauch hielt sich mit rund 15 Prozent im Rahmen der Erwartungen. Die geschätzten Mehrkosten für den Betrieb einer Ozonisierung auf der ARA Regensdorf liegen aufgrund günstiger Randbedingungen bei 10 Prozent der

heutigen Jahreskosten.

Ein Entwurf zur Änderung der Gewässerschutzverordnung sieht vor, dass rund 100 ARA in der Schweiz mit solchen Systemen zur Elimination von Mikroverunreinigungen nachgerüstet werden. Um eine möglichst grosse Wirkung zu erzielen, sollen grosse und mittelgrosse ARA, die an Gewässern mit Bedeutung für die Trinkwassergewinnung oder einem schlechten Verdünnungsverhältnis liegen, ausgebaut werden. Mit dieser Massnahme könnte der Eintrag von Mikroverunreinigungen aus den ARA in die Gewässer um etwa die Hälfte reduziert werden. Diese Stossrichtung wird auch vom Kanton Zürich grundsätzlich unterstützt. Für die Finanzierung der zusätzlichen Massnahmen, welche für die Schweiz auf mehr als eine Milliarde Franken geschätzt werden, fehlt jedoch noch ein mehrheitsfähiges Modell. Auch werden vom Bund und Kantonen zusätzliche Versuche zur Technologieerprobung sowie eine Koordination der Planung und Umsetzung der Massnahmen gefordert.

Im Kanton Zürich ist das AWEL für den Vollzug dieser Massnahmen zuständig. Bereits heute werden dazu die Grundlagen und Strategien für eine mögliche Umsetzung in ausgewählten ARA im Kanton Zürich erarbeitet. In einer der nächsten ZUP-Ausgaben wird die Sektion Abwasserreinigungsanlagen des AWEL über das weitere Vorgehen berichten.

Projekt MicroPoll

Das Bundesamt für Umwelt BAFU hat im Jahr 2006 das Projekt «MicroPoll» gestartet. Ziel des Projektes ist es, für die Schweiz Entscheidungsgrundlagen zusammenzustellen und eine Strategie zu entwickeln, wie die Einträge von Mikroverunreinigungen in die Gewässer reduziert werden können. Die Ergebnisse des Projektes, welches auch Pilotversuche zur weitergehenden Reinigung in der ARA umfasst, werden vom BAFU regelmässig publiziert. Informationen zu Mikroverunreinigungen und zum Projekt MicroPoll auf Bundesebene unter: www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/index.html.

Pestizidcocktail in Schweizer Flüssen

Dübendorf, 05.03.2014 - Schweizer Fliessgewässer enthalten einen ganzen Cocktail an Pestiziden. Von rund 300 zugelassenen und erfassbaren Wirkstoffen wurden in einem aufwendigen Screening über 100 in Wasserproben gefunden. Jede Probe enthielt im Schnitt 40 unterschiedliche Stoffe. In 78% der Proben lag die aufaddierte Pestizidkonzentration über 1µg/L. Für 31 Substanzen wurde der Grenzwert der Gewässerschutzverordnung verletzt. Eine Beeinträchtigung von Organismen in den Gewässern – namentlich durch Pflanzenschutzmittel – kann nicht ausgeschlossen werden.

So umfassend wurde noch nie nach Pestiziden in Schweizer Gewässern gesucht: Im Auftrag des Bundes hat die Eawag zusammen mit fünf Kantonen in fünf mittelgrossen Flüssen allen löslichen synthetischen Pflanzenschutzmitteln und Bioziden nachgespürt. Heute hat die Zeitschrift AQUA & GAS die Resultate in ihrer Nr. 3/2014 publiziert. Medienschaffende können den vollständigen Artikel als pdf beziehen unter www.eawag.ch/100pestizide.

Vor allem Pflanzenschutzmittel

Hauptziel der Studie an den Flüssen Salmsacher Aach (SG), Furtbach (ZH), Surb (AG), Limpach (SO) und Mentue (VD) war es, herauszufinden, wie viele verschiedene Pestizide in diesen Gewässern vorkommen. Von rund 300 zugelassenen und analytisch nachweisbaren Wirkstoffen wurden 104 in den Flüssen gefunden, 82 davon waren reine Pflanzenschutzmittel. Aufgrund der neuen, umfassenden Daten zeigt sich, dass ein Grossteil der Pestizidbelastung heute den Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft zuzuschreiben ist.

Hohe Summen-Konzentration

Die Summe aller Pestizidkonzentrationen war in 78% der Proben grösser als 1µg/L. Was dies für die Wasserqualität und die Auswirkung auf Organismen im Gewässer bedeutet, kann nicht generell beurteilt werden. Die beteiligten Forscherinnen und Forscher zogen aber Vergleiche mit dem pauschalen Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung (maximal 0,1µg/L pro Einzelstoff) und dem toxikologisch abgestützten Qualitätskriterium für eine chronische Belastung (CQK): 40 Substanzen haben sich als problematisch herausgestellt: 21 Pestizide überschritten den Wert aus der Verordnung, 9 Stoffe das CQK und 10 beide Kriterien. Alle untersuchten – für das Mittelland durchaus typischen – Flüsse waren demnach in der Messperiode von März bis Juli erheblich durch verschiedenste Pestizide belastet. Auswirkungen auf Organismen müssen befürchtet werden. Problematisch sind dabei vor allem zwei Aspekte:

- Durchschnittlich wurden 40 Stoffen pro Probe nachgewiesen. Selbst wenn die Konzentration jedes einzelnen dieser Stoffe das ökotoxikologische Qualitätskriterium nicht überschreitet, ist eine Beeinträchtigung von Organismen im Wasser durch diese Pestizidmischungen zu befürchten.
- Die nachgewiesenen Konzentrationen pro Stoff lagen mehrfach über 0,1µg/L und vereinzelt sogar über 1µg/L. Das ist hoch, wenn berücksichtigt wird, dass es sich um Mischproben aus zwei Wochen handelte. Die kurzfristigen Spitzenkonzentrationen, so folgern die am Projekt Beteiligten, müssen teils vielfach höher liegen, für einzelne Substanzen wohl über der Grenze, über welcher sie akut toxisch wirken.

Differenzierte Beurteilung und Vorsorge nötig

Prof. Juliane Hollender, Leiterin der Eawag-Abteilung für Umweltchemie und eine der Autorinnen der Studie, war überrascht von den neuen Daten: «Ganz so sauber, wie immer wieder betont, scheinen die Schweizer Gewässer doch nicht zu sein», sagt sie. Doch die Studie mit einer nahezu kompletten Detektion aller Pestizide trage viel dazu bei, den relevantesten Wirkstoffen auf die Spur zu kommen. Diese könnten nun gezielter überwacht oder ihr Einsatz unter Umständen eingeschränkt werden. Zudem werde immer deutlicher, so Hollender, dass neben Tests mit einzelnen Stoffen auch eine Beurteilung der Mischungstoxizität nötig sei.

Archiv Detail



Flüsse sauber halten ist Vorsorge fürs Trinkwasser

09.09.2014, Themen: Trinkwasser

Sauberes und reichlich vorhandenes Trinkwasser ist eine der wertvollsten Ressourcen der Schweiz. 80% davon stammt aus Grundwasser, und dieses Grundwasser wiederum wird zu einem Drittel aus versickerndem Flusswasser gespeist. Als Filter gegen Schadstoffe oder Krankheitserreger wirkt der Boden. Doch diese Barriere ist nicht unüberwindbar. Umso wichtiger ist es, dass auch das Wasser in den Flüssen möglichst sauber bleibt und dass die Wechselwirkungen zwischen Fluss- und Grundwasser genau beobachtet werden.

Fast 300 Fachleute aus Wissenschaft, Wasserwirtschaft, Verwaltung und Politik lassen sich heute Dienstag, 9. September, an der Eawag über neue Forschungsergebnisse zum Thema «Wasserversorgung und Uferfiltration – ein System unter Druck?» informieren. Anlass dazu ist

der jährliche Eawag-Infotag, dieses Jahr in Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW).

Schweizer Gewässerschutz ist Spitze

«Die Schweiz besitzt alle Voraussetzungen, um ihre Wasserressourcen nachhaltig zu bewirtschaften», sagte Eawag Direktorin Janet Hering in ihrem Referat und nannte besonders technische Kompetenzen, Finanzen sowie stabile politische Strukturen. Mit den beschlossenen Massnahmen zur Flussrevitalisierung und zur Elimination von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen übernehme das Land im Gewässerschutz weltweit eine Führungsrolle. Sie sei stolz, dass die Eawag in diesem Prozess ihre Expertise einbringen könne. Hering warnte aber auch: Das saubere Wasser habe die Schweiz an vielen Orten der Filterwirkung des Bodens zu verdanken. «Doch diese Barriere ist nicht unüberwindbar, der natürliche Schutz nicht selbstverständlich und eine einmal erfolgte Verunreinigung eines Grundwasserträgers kaum wiedergutzumachen.»

Einfluss des Menschen überall messbar

80% des Schweizer Hahnenwassers stammt aus Grundwasser. Und dieses Grundwasser wiederum wird zu einem Drittel aus versickerndem Flusswasser gespeist. Die Bedeutung der Uferfiltration für die Trinkwassergewinnung nimmt zu. Daher ist es wichtig zu wissen, wie sich die Wasserqualität in den Flüssen verändert. Neue Untersuchungen der Eawag zeigen, dass sich der Einfluss des Menschen an jedem Gewässer verfolgen lässt. Unterhalb von Kläranlagen wurden zwischen 100 und 160 verschiedene organische Mikroverunreinigungen nachgewiesen – das meiste sind Medikamente und Lebensmittel-Zusatzstoffe (siehe Grafik). Werden die Konzentrationen all dieser Stoffe zusammengerechnet, ergeben sich Summen von 70 bis 80 Mikrogramm pro Liter. Selbst kleine Konzentrationen entsprechen beträchtlichen Stoffmengen. So trägt der Rhein bei Basel über ein ganzes Jahr betrachtet mehr als 42 Tonnen des Süsstoffs Acesulfam oder rund 13 Tonnen des Antidiabetikums Metformin in Richtung Nordsee.

Landnutzung wichtiger als Klimawandel

Eine generelle Erwärmung betrifft auch das Wasser. So haben Untersuchungen im Hitzesommer 2003 gezeigt, dass das wärmere Grundwasser lokal zu einer vollständigen Zehrung des gelösten Sauerstoffs geführt hat. In einzelnen Pumpwerken kam es daher zu unerwünschten Ausfällungen von gelöstem Eisen und Mangan. Würden sich solche Perioden häufen, müssten die Wasserversorger einen deutlichen Mehraufwand in Kauf nehmen, weil sie das geförderte Grundwasser dann nicht mehr ohne Aufbereitung ins Netz einspeisen könnten. Mehr Niederschläge im Winter, wie von den Klimamodellen vorhergesagt, können zudem die Nitratauswaschung und die Erosion auf Ackerflächen erhöhen, wenn keine Gegenmassnahmen getroffen werden. Die Experten sind sich jedoch einig, dass die direkten Eingriffe im Einzugsgebiet einer Fassung, namentlich die Art der Landnutzung oder der Bebauung, die klimabedingten Effekte überlagern.

Unerwünscht, aber humantoxikologisch nicht bedenklich

Wird flussnahes Grundwasser gefördert, stellt sich die Frage, ob und in welchem Mass die im Fluss vorhandenen Schadstoffe auf der Bodenpassage zurückgehalten oder abgebaut werden. In einem Projekt an der Thur haben Eawag-Forschende gegen 100 Stoffe sowohl im Fluss- als auch

im Grundwasser nachgewiesen. Die Konzentrationen waren aber im Grundwasser generell geringer. Diverse Medikamente werden auf der Passage vom Fluss ins Grundwasser ganz eliminiert, und zwar oft schon auf den ersten Metern. Der relativ rasche Abbau verlangsamt sich jedoch im Winter oder kommt ganz zum Erliegen, wenn die Wassertemperaturen sehr tief liegen. Die niedrigen Konzentrationen im Bereich von Nanogramm pro Liter (Milliardstel Gramm), in denen einzelne schwer abbaubare Stoffe, z.B. Röntgenkontrastmittel, bis zu den Trinkwasserfassungen gelangen, sind aus heutiger Sicht für den Menschen nicht gesundheitsgefährdend. «Grundsätzlich sind aber langlebige künstliche Substanzen weder in den Gewässern geschweige denn im Trinkwasser erwünscht», sagte Umweltchemikerin Juliane Hollender. Sie betonte aber, dass die bisher gemessenen Werte deutlich unter den üblichen und gesetzlich tolerierten Schadstoffkonzentrationen in der Nahrung lägen.

Vorsorgen ist besser als Heilen

Laut Urs von Gunten, dem Leiter des Trinkwasserkompetenzzentrums an der Eawag, profitiert das System «Fluss-Grundwasser-Trinkwasser» in der Schweiz von einer vorsorgenden Gewässerschutzstrategie. Diese hat eine möglichst geringe Verschmutzung der Wasserressourcen zum Ziel und wartet mit Massnahmen nicht zu, bis eine Bedrohung für die Menschen nachgewiesen ist. Genaues Beobachten und Verstehen der Prozesse – etwa bei der Revitalisierung von Flüssen – gehöre dazu, forderte von Gunten. Im Fall von belasteten Situationen schloss er eine vermehrte Aufbereitung des geförderten Wassers oder eine Verlegung von Fassungen nicht aus. «Nicht immer gibt es Win-win-Situationen», ergänzte Janet Hering. Daher unterstütze die Eawag die Entscheidungsträger mit wissenschaftlich fundierten Grundlagen – fachlich-inhaltlich und im Blick auf einen transparenten Entscheidungsprozess.

Bilder / Download

Honorarfreie Verwendung nur im Zusammenhang mit einer Berichterstattung zum Infotag, keine Archivierung. Quellenangabe: Eawag.

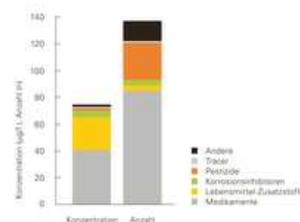


Hoch- und Niederwasser oder Aufweitungen von korrigierten Gerinnen beeinflussen die In- und Exfiltrationsprozesse zwischen Fluss- und Grundwasser. Im Bildpaar die Thur.



Installation eines Grundwasserbeobachtungsrohrs (Piezometer) an einem revitalisierten Abschnitt der Thur mit dem Rammgerät Geoprobe.

Bei Starkregen während der Anwendungsperiode können auch Pflanzenschutzmittel in Gewässer abgeschwemmt werden.



Durchschnittliche Konzentration (links) und Anzahl Substanzen (rechts) verschiedener Gruppen von Mikroverunreinigungen im Auslauf von acht Schweizer Kläranlagen (unveröffentlichte Daten aus einer Abwasser-Screening-Studie der Eawag mit finanzieller Unterstützung des Bundesamts für Umwelt).

Weitere Dateien

Medienmitteilung [pdf, 121 KB]
Tagungsband Infotag 2014 [pdf, 3.3 MB]

Weitere Links

Präsentationen vom Infotag

Erstellt von Andri Bryner

Kontakt



Andri Bryner
Tel. +41 58 765 5104
E-Mail senden

Weitere News

09.07.2015
Harvey M. Rosen Memorial Award für Lisa Salhi und Urs von Gunten

30.06.2015
Catherine Wagner erhält den Theodosius-Dobzhansky-Preis

25.06.2015
Blinde Passagiere auf Bootstransporten

Die schädliche Wirkung hormonaktiver Stoffe

Bis heute ist wenig darüber bekannt, wie viele Arzneimittelwirkstoffe ins Abwasser gelangen und welche davon für Fische oder andere Lebewesen wirklich schädlich sind. Etwas besser untersucht sind davon nur die Hormone wie das aus der Antibabypille stammende Östrogen

18.7.2012

slz. · Bis heute ist wenig darüber bekannt, wie viele Arzneimittelwirkstoffe ins Abwasser gelangen und welche davon für Fische oder andere Lebewesen wirklich schädlich sind. Etwas besser untersucht sind davon nur die Hormone wie das aus der Antibabypille stammende Östrogen oder Substanzen, die aufgrund ihrer chemischen Struktur eine ähnliche Wirkung wie Hormone besitzen. Den im Abwasser vorhandenen Mix aus solchen hormonaktiven Stoffen machen Experten für die Verweiblichung männlicher Fische verantwortlich. Intersex-Fische, in deren Hodengewebe unterschiedlich reife Eizellen zu finden sind, wurden erstmals in den 1980er Jahren in Grossbritannien entdeckt.

Bis auf sehr wenige Ausnahmen habe man solche Fische in der Schweiz nie gesehen, sagt Etienne Vermeirssen vom Ökotoxzentrum. Trotzdem habe man auch in Schweizer Gewässern sowohl wirksame Konzentrationen von hormonaktiven Substanzen gefunden als auch verdächtige Veränderungen bei Fische beobachtet. Äusserlich sieht man den Fischen zwar fast nie etwas an. Doch hat man bei Forellenmännchen, die in Gewässern unterhalb einer Kläranlage einer dichtbesiedelten Region lebten, das Protein Vitellogenin entdeckt. Dieses ist ein Vorläufer des Eidotterproteins und kommt naturgemäss nur bei geschlechtsreifen Weibchen vor. Wurde das Klärwasser in Pilotversuchen zusätzlich mit Ozon behandelt, produzierten junge Männchen, die dem Abwasser ausgesetzt wurden, nur noch sehr wenig Vitellogenin.

Dass der seit Jahren auch hierzulande beobachtete Rückgang diverser Fischpopulationen teilweise auf eine verminderte Fruchtbarkeit zurückzuführen sei, die von hormonaktiven Substanzen ausgelöst werde,

könne man derzeit nicht ausschliessen, sagt Vermeirssen. Da das Trinkwasser keine nennenswerten Mengen hormonaktiver Stoffe enthält, hält man eine ähnliche Auswirkung auf den Menschen für unwahrscheinlich. Auch der Verzehr von Fischen wird als unbedenklich gesehen.

Gemäss einer im Jahr 2008 veröffentlichten Untersuchung aus Grossbritannien schädigen hormonaktive Substanzen aber nicht nur Fische. Auch Singvögel, welche sich von Würmern aus kläranlagennahen Uferzonen ernähren, sind betroffen. Bei den männlichen Vögeln veränderte sich derjenige Teil des Gehirns, der das Singverhalten steuert. Die Vögel sangen daraufhin mehr und abwechslungsreicher, was auf die Weibchen attraktiver wirken könnte. Zugleich wurde das Immunsystem der Tiere aber gedrosselt. Wenn Weibchen diejenigen Männchen bevorzugten, die weniger gesund seien, könnte dies insgesamt negative Auswirkungen auf die gesamte Population haben, warnten die Forscher.

Copyright © Neue Zürcher Zeitung AG. Alle Rechte vorbehalten. Eine Weiterverarbeitung, Wiederveröffentlichung oder dauerhafte Speicherung zu gewerblichen oder anderen Zwecken ohne vorherige ausdrückliche Erlaubnis von Neue Zürcher Zeitung ist nicht gestattet.

Zwei Schweizer Experten fordern Einschränkungen in der Anwendung hormonaktiver Substanzen

«Hormonaktive Stoffe sind heute überall»

Nach fünf Jahren ist kürzlich das Nationale Forschungsprogramm «Hormonaktive Stoffe: Bedeutung für Menschen, Tiere und Ökosysteme» ausgelaufen; Ende Juni wurden die wichtigsten Resultate vorgestellt. Das Projekt mit ins Rollen gebracht hatten die Humantoxikologen Margret Schlumpf und Walter Lichtensteiger von der Universität Zürich. Sie halten die Allgegenwart solcher Stoffe für sehr problematisch.

von **Interview: kus., vbe.** | 22.3.2010, 11:10 Uhr

Frau Schlumpf, Herr Lichtensteiger, was sind eigentlich hormonaktive Substanzen?

Margret Schlumpf: Das sind nicht körpereigene Stoffe, die die gleiche oder eine sehr ähnliche Wirkung haben wie körpereigene Hormone und dadurch den Hormonhaushalt von Menschen und Tieren stören können. Die meisten dieser Stoffe sind östrogenaktiv, wirken also wie das weibliche Geschlechtshormon Östrogen.

Walter Lichtensteiger: Das Problem bei diesen Substanzen ist, dass sie schon in geringsten Mengen enorm wirksam sind.

Welche Stoffgruppen sind denn hormonaktiv? Und auf welchen Wegen sind wir ihnen ausgesetzt?

Lichtensteiger: Die ersten bekannten hormonaktiven Stoffe waren die alten Organochlorpestizide, etwa das DDT, aber auch die polychlorierten Biphenyle (PCB) und die Dioxine. Ebenfalls wichtig sind die polybromierten Diphenyläther. Sie werden als Flammschutzmittel zum Beispiel in den Plastic-Gehäusen von Fernsehern und Computern eingesetzt. Wenn sich das Plastic erwärmt, verdunsten diese Stoffe – und wir inhalieren sie. Dann gibt es noch die Plastic-Monomere wie Bisphenol A und die Weichmacher, etwa die Phthalate. Weissblechdosen beispielsweise sind innen mit Plastic ausgekleidet, und wenn man die erhitzt, tritt Bisphenol A in den Inhalt über. In den USA und in Europa hat man das auch bei Babyflaschen aus Polycarbonat beobachtet.

Schlumpf: Dazu kommen noch die synthetischen Moschusverbindungen, die als Parfumstoffe in Kosmetika dienen, und die Parabene als Konservierungsmittel. Dann sind da noch die chemischen UV-Filter, deren hormonaktive Wirkung wir entdeckt haben. UV-Filter sind nicht nur in Sonnencremes und anderen Kosmetika enthalten, sondern beispielsweise auch in jedem Plastic. Und dort müssen sie nicht deklariert werden. Kurz: Hormonaktive Stoffe sind heute überall.

Wie hat man ursprünglich bemerkt, dass manche Stoffe eine unerwünschte hormonelle Aktivität entfalten?

Lichtensteiger: Ende der 1980er Jahre gab es mehrere Hinweise in diese Richtung. Zum Beispiel haben amerikanische Krebsforscher in Zellkulturen plötzlich ein Wachstum von Brustkrebszellen beobachtet, ohne dass sie diese vorher durch Hormone stimuliert hatten. Nach monatelangen Abklärungen stellte sich dann heraus, dass eine Substanz im Plastic der Kulturschalen, in denen das Team die Zellen neuerdings züchtete, eine Östrogen-ähnliche Wirkung hatte. Das war Nonylphenol. Etwa gleichzeitig wurde die östrogene Wirkung der Plastic-Komponente Bisphenol A, das während der 1930er Jahre als Östrogen synthetisiert worden war, wiederentdeckt.

Schlumpf: Eine andere Gruppe hat im Apopka-See in Florida bei männlichen Alligatoren stark veränderte Geschlechtsteile beobachtet. Es hat sich dann herausgestellt, dass einige Jahre zuvor aus einer Fabrik an diesem See die Pestizide DDT und Dicofol ausgelaufen waren – DDT wirkt östrogen, sein Abbauprodukt pp-DDE anti-androgen. Und in Dänemark war Klinikern aufgefallen, dass bei Knaben vermehrt Hodenhochstände und Missbildungen der Harnröhre auftraten und dies mit einer Abnahme der Spermienzahl im Erwachsenenalter einherging. Im europäischen Vergleich hatten die dänischen Männer im Durchschnitt die wenigsten Spermien. Inzwischen hat das Nationale Forschungsprogramm «Hormonaktive Stoffe: Bedeutung für Menschen, Tiere und Ökosysteme», das NFP 50, allerdings gezeigt, dass die Spermien von Rekruten der Schweizer Armee bezüglich Zahl und Mobilität offenbar vergleichbar schlecht dastehen.

Lichtensteiger: Damals in Dänemark bemerkten die Forscher zudem eine Zunahme von Hodenkrebsfällen, die man auf pränatale

Entwicklungsstörungen zurückführt. Erst der Kontakt mit den amerikanischen Krebsforschern brachte die Dänen dann auf die Idee, dass die Ursache hierfür ein Fremdstoff sein könnte.

Wie gesichert ist es, dass hormonaktive Substanzen hier eine Rolle spielen?

Lichtensteiger: Worauf genau die Abnahme der Spermienzahlen beruht, kann man immer noch nicht sagen. Einige Untersuchungen haben allerdings die Missbildungen an der Harnröhre mit Pestiziden in Verbindung bringen können.

Schlumpf: Zudem hat man in Laborstudien an Ratten gesehen, dass hormonaktive Stoffe all diese sowie weitere Effekte auf das Fortpflanzungssystem haben können. Bei Männern spielen aber sicher auch noch andere Umweltfaktoren eine Rolle, beispielsweise Stress.

Wie klar ist der immer wieder erwähnte Zusammenhang mit Brustkrebs?

Schlumpf: Dazu gibt es gesicherte Daten aus der Grundlagenforschung, aber auch aus der Epidemiologie. So sind zum Beispiel Frauen, die vor der Pubertät höheren Konzentrationen an DDT ausgesetzt waren, häufiger an Brustkrebs erkrankt als Frauen mit vergleichbaren Lebensumständen, aber ohne diese Belastung. Und eine spanische Studie hat gezeigt, dass die gesamte östrogene Aktivität im Fettgewebe von Frauen mit Brustkrebs wesentlich höher war als bei solchen ohne Brustkrebs – viele hormonaktive Stoffe, etwa PCB und Dioxine, reichern sich im Fettgewebe an. Frauen, die stillen, haben eine geringere Brustkrebsrate. Sie geben diese Substanzen beim Stillen an die Kinder weiter und reduzieren damit ihre eigene Belastung. Brustkrebs ist eine multifaktorielle Erkrankung, aber es gibt doch viele Hinweise darauf, dass die Belastung mit hormonaktiven Substanzen einer dieser Faktoren ist.

Kann unser Körper die Wirkung solcher Substanzen nicht kompensieren?

Lichtensteiger: Der erwachsene Körper kann das bis zu einem gewissen Grad. So wurde in einer dänischen Studie bei erwachsenen Probanden, die während einiger Tage östrogene UV-Filter auf die Haut aufgetragen hatten,

keine Änderung der Konzentration von Sexualhormonen im Blut gefunden. Aber der Fötus lebt in einem Milieu, in dem die Hormonspiegel sehr viel tiefer sind als in der Mutter, zudem sind seine Regulationsmechanismen noch nicht eingespielt. Die Embryonalentwicklung ist deshalb eine empfindliche Phase.

Schlumpf: Das Gleiche gilt für die ersten Monate nach der Geburt. Das Ergebnis unseres Projekts im NFP 50 ist deshalb bedenklich: Wir haben gefunden, dass Frauen, die viele Produkte mit chemischen UV-Filtern benutzt haben, diese Filter in entsprechenden Mengen in der Muttermilch hatten; der Zusammenhang war statistisch signifikant. Bei mehr als der Hälfte der Frauen war die Quelle dabei nicht etwa ein Sonnenschutzmittel, sondern andere Kosmetika.

Lichtensteiger: Dabei waren die maximalen Konzentrationen eines östrogenen UV-Filters in der Frauenmilch nur rund zehnmal tiefer als die Konzentration in der Milch von Rattenmüttern, deren Jungtiere Entwicklungsstörungen an Fortpflanzungsorganen und Gehirn aufwiesen. Der Sicherheitsabstand sollte mindestens einen Faktor hundert betragen.

Was bedeutet das für das Stillen?

Schlumpf: Eine Studie aus Deutschland hat gezeigt, dass Kinder, die gestillt wurden, im vorpubertären Alter eine um bis zu 30 Prozent höhere Belastung mit hormonaktiven Substanzen hatten als nicht gestillte Kinder. Wie die Zeit vor und nach der Geburt gilt auch die Pubertät als kritische Entwicklungsphase. Wir sind aber nicht der Meinung, dass die Frauen nicht stillen sollen. Vielmehr muss man sich bemühen, die Fremdstoffbelastung in der Brustmilch zu verringern. Bei vielen hormonaktiven Umweltchemikalien, wie zum Beispiel PCB oder Flammschutzmitteln, kann man wenig zur Reduktion ihrer Belastung beitragen. Aber ein Verzicht auf Kosmetika mit synthetischen Chemikalien mit hormonaktiver Wirkung während der Schwangerschaft und Stillzeit könnte diese Belastung reduzieren. Anderen Kosmetikinhaltsstoffen ist man auch über die Luft ausgesetzt, vor allem den synthetischen Parfumstoffen.

Lichtensteiger: Immerhin haben wir in allen untersuchten Milchproben hormonaktive Parfumstoffe gefunden.

Gibt es Kosmetika, die frei von hormonaktiven Substanzen sind?

Schlumpf: Es gibt Naturkosmetikhersteller, die sich verpflichtet haben, keinerlei synthetische Chemikalien in ihren Produkten zu verwenden. Sie benutzen beispielsweise keine chemischen, sondern mineralische UV-Filter, die nicht hormonaktiv sind.

Aber es gibt ja auch hormonell wirksame Pflanzenstoffe, die sogenannten Phytoöstrogene?

Lichtensteiger: Die Phytoöstrogene in Kosmetika dürften gegenüber dem, was an Phytoöstrogenen mit der Nahrung aufgenommen wird, eine relativ geringe Belastung ausmachen. Ausserdem ist unser Körper an sie angepasst – sie werden sehr rasch abgebaut.

Gibt es chemische UV-Filter, die sich in Ihren Tests als harmlos erwiesen haben?

Schlumpf: Wir haben etwa einen Drittel der rund 30 für Kosmetika erlaubten chemischen UV-Filter getestet. In der Zellkultur waren 9 von 10 positiv; im akuten Tiermodell zeigten 6 von 9 UV-Filtern einen östrogenen Effekt. Wirkungen auf die frühe Entwicklung des Organismus konnten wir nur bei 2 von ihnen, 4-MBC und 3-BC, untersuchen. Bei diesen Substanzen beobachteten wir Entwicklungsstörungen bei Ratten, man sollte sie unserer Meinung nach eigentlich nicht mehr einsetzen. Zum Teil verzichtet die Industrie inzwischen auf diese Filter .

Lichtensteiger: Ein Problem sind aber schon die Tests selbst. Es gibt eine lange Auseinandersetzung in der regulatorischen Toxikologie darüber, was eigentlich untersucht werden soll.

Was ist hier das Problem?

Lichtensteiger: Die Testverfahren in der regulatorischen Toxikologie waren früher nicht auf diese Art von Wirkung ausgerichtet. Seit zehn Jahren werden im Rahmen der OECD neue Prüfverfahren entwickelt. Die Methoden zur Identifikation hormoneller Wirkungen sind inzwischen relativ gut entwickelt. Es werden vorwiegend In-vitro-Tests an Zellkulturen, dann auch kurzzeitige, hochdosierte In-vivo-Tests, also Versuche mit lebenden Tieren, verwendet.

Wie wird das Risiko langfristiger Auswirkungen hormonaktiver Substanzen untersucht?

Lichtensteiger: Hierzu macht man mit Ratten den sogenannten Zwei-Generationen-Test. Dabei werden Entwicklungsparameter angeschaut, etwa der Gewichtsanstieg der Tiere, Marker für die frühe Entwicklung oder der Beginn der Pubertät. Beim erwachsenen Tier werden dann verschiedene Organe gewogen und histologisch untersucht. Das alles wird bei der ersten und zum Teil noch der zweiten Jungtier-Generation gemacht, wobei die Eltern beziehungsweise Grosseltern und die Jungtiere ständig mit der Testsubstanz behandelt werden. Mit diesem konventionellen Zwei-Generationen-Test hat man die endokrine Aktivität hormonaktiver Substanzen zum Teil aber nicht nachweisen können. Zurzeit wird daher an einer Verbesserung des Generationentests gearbeitet.

Für diese Versuche müssen viele Ratten sterben. Sind Zellkulturen hier auch eine Alternative?

Schlumpf: Nein, solche In-vitro-Tests sind ausschliesslich zur Identifikation hormonähnlicher Wirkungen sinnvoll, können aber nicht für die Risikobeurteilung verwendet werden. Zudem kommt es darauf an, welche Zellen man verwendet. Beispielsweise kamen Kollegen, die einen solchen Test mit gentechnisch veränderten Hefezellen, die den menschlichen Östrogen-Rezeptor auf ihrer Oberfläche tragen, durchführten, teilweise zu anderen Ergebnissen als wir mit menschlichen Zellen.

Lichtensteiger: Fast interessanter sind eigentlich In-silico-Tests, also virtuelle Tests im Computer. Mit Hilfe entsprechender Programme kann man nämlich inzwischen sehen, ob bestimmte Stoffe überhaupt an den Östrogen-Rezeptor andocken können. Wie ein Stoff dann wirkt, ob als Agonist oder Antagonist, kann man allerdings nicht sagen. Aber man muss auf solche Hilfsmittel zurückgreifen, denn die rund 100 000 weltweit genutzten chemischen Substanzen kann man nicht alle in Generationentests untersuchen. Langzeitstudien an Versuchstieren wird man nur gezielt bei einer kleineren Zahl von Chemikalien durchführen, die auf Grundlage aller verfügbaren Daten ausgewählt werden.

Wie reagiert die Politik auf Ihre Ergebnisse?

Lichtensteiger: Das Bundesamt für Gesundheit steht auf dem Standpunkt,

dass gewisse Anhaltspunkte für eine hormonelle Aktivität da sind und diese genauer abgeklärt werden müssen. Aber in der Wissenschaft kann man natürlich immer genauer abklären, die Frage ist, ob man nicht einmal eine Massnahme treffen sollte. Die EU hat zum Beispiel kürzlich aufgrund des «precautionary principle», des Vorsorgeprinzips, gewisse hormonaktive Flammschutzmittel verboten, ohne dass eine abschliessende Risikobeurteilung durchgeführt worden war.

Worauf wartet man in Bezug auf UV-Filter? Reichen die Ergebnisse der Tierversuche hier nicht?

Lichtensteiger: Eigentlich müssten sie reichen. Denn die toxikologische Risikobewertung beruht traditionell auf Tierversuchen – man wartet nicht, bis sich Effekte beim Menschen nachweisen lassen. Nur bei den hormonaktiven Substanzen verlangt man jetzt plötzlich den Beweis dafür, dass sie auch dem Menschen schaden.

Schlumpf: Ein anderes Problem ist, dass es heute bei der ganzen Regulierung durch die Behörden nur um Einzelsubstanzen geht. Ich glaube aber, wir müssen in Zukunft die Wirkung von Stoffgemischen genauer zu beurteilen lernen. Mischt man nämlich mehrere Stoffe mit ähnlichem Wirkungsmechanismus in Konzentrationen, die einzeln keine Wirkung haben, so beobachtet man plötzlich eine starke Wirkung.

Lichtensteiger: Man darf bei solchen Substanzen eben nicht die Effekte addieren, sondern man muss die Konzentrationen addieren. Zurzeit wird dies bei der Beurteilung des Risikos von Chemikalien noch nicht berücksichtigt. In einem neuen Forschungsprogramm der EU soll nun aber die Wirkung von Stoffgemischen untersucht werden.

Was war Ihrer Meinung nach das wichtigste Ergebnis des NFP 50?

Lichtensteiger: Das NFP 50 war das erste Nationale Forschungsprogramm in der Toxikologie. Das hat die toxikologische Forschung, die vorher in der Schweiz kaum noch existierte, wieder in Gang gebracht.

Schlumpf: Und es hat die Politiker und die Bevölkerung auf das Problem der hormonaktiven Substanzen aufmerksam gemacht.

Copyright © Neue Zürcher Zeitung AG. Alle Rechte vorbehalten. Eine Weiterverarbeitung, Wiederveröffentlichung oder dauerhafte Speicherung zu gewerblichen oder anderen Zwecken ohne vorherige ausdrückliche Erlaubnis von Neue Zürcher Zeitung ist nicht gestattet.

Verdächtiges Potpourri

Wie gefährlich sind hormonaktive Substanzen?

Hormonell wirksame Chemikalien in vielen Alltagsprodukten bereiten einer Gruppe von Wissenschaftlern Sorgen. In einer Petition an die EU fordern sie einen empfindlicheren Radar für diese Stoffe.

von **Christian J. Meier** | 24.4.2014, 13:00 Uhr

Carl-Gustav Bornehag hat in Schweden das Blut von rund 2500 werdenden Müttern untersucht. Das Ergebnis beunruhigt den Forscher von der Universität Karlstad: Alle Frauen trugen, wenn auch nur in sehr geringen Mengen, künstlich hergestellte Chemikalien in sich, die wie Hormone wirken. Mit 129 weiteren Wissenschaftlern, darunter fünf Schweizern, hat er daher an die Europäische Union [appelliert](#), diese Stoffe in Zukunft noch genauer unter die Lupe zu nehmen.

Eine Vorsichtsmassnahme

Die Forscher setzen dabei auf das Vorsorgeprinzip: Es gibt zwar trotz langjähriger Forschung keine Beweise, dass hormonell wirksame Chemikalien, sogenannte endokrine Disruptoren, dem Menschen schaden. Aber Zellkultur-, Tierversuche und auch epidemiologische Studien mit Daten aus der Bevölkerung nähren den Verdacht, manche dieser Stoffe könnten auf den Fötus einwirken und – neben einer Vielzahl anderer Faktoren – Krankheiten im Erwachsenenleben mitbegründen.

Gründe, diese Forschungsergebnisse noch nicht als Gefahr für den Menschen zu werten, gibt es. Bernd Fischer von der Universität Halle etwa, einer der Unterzeichner der Petition, verweist auf die Unterschiede der Körperfunktionen zwischen Mensch und Versuchstier. So hat er zwar beobachtet, dass sich endokrine Disruptoren in der Gebärmutter Schleimhaut seiner Versuchstiere festsetzen. «Anders als die Tiere scheiden Frauen diese Schleimhaut aber jeden Monat aus», sagt er. Er warnt daher davor, Tierstudien falsch zu interpretieren. Auch die epidemiologischen Studien tun sich schwer, mehr als nur Hinweise auf eine mögliche schädliche Wirkung der hormonaktiven Substanzen zu finden.

Dies könnte zum Teil daran liegen, dass Ursache und Auswirkungen hier oft Jahre auseinanderliegen.

Ein Verbot der hormonell wirksamen Chemikalien fordern aber selbst die Warner aus der Wissenschaft nicht. Stattdessen verlangen sie von der EU, einen empfindlicheren Radar für diese Stoffe aufzubauen, also mehr Vorsicht walten zu lassen. Die derzeitige Regulierung ignoriere etwa die Möglichkeit, dass endokrine Disruptoren schon in sehr niedrigen Dosen wirkten, kritisieren sie. Zudem fordern sie eine Erweiterung der vorgeschriebenen Sicherheitstests, so dass diese auch mögliche Effekte dieser Substanzen erfassen, sowie Forschung mit dem Ziel, unbekannte endokrine Disruptoren zu identifizieren und Umweltdaten zu sammeln.

Einfluss aufs Hormonsystem?

Die Befürchtungen der Wissenschaftler fassen darauf, dass diese Stoffe Hormonen ähneln und den Hormonhaushalt beeinflussen können. Dies etwa, indem sie körpereigene Hormone imitieren, blockieren oder die Herstellung oder den Abbau körpereigener Hormone behindern. Weil diese Wachstum, Entwicklung und Verhalten des Menschen beeinflussen, könnten sich Störungen durch Fremdstoffe schädlich auswirken, fürchten Forscher. Um die Geburt reagiere der Körper besonders empfindlich auf endokrine Disruptoren, geben sie zu bedenken, weil er dann noch nicht über ausgleichende Regelmechanismen verfüge.

Aus Sicht der Forscher haben sich inzwischen genügend Indizien angehäuft, um vorsorgende Massnahmen zu rechtfertigen. Dass die Stoffe in den menschlichen Körper gelangen, haben mehrere Studien bestätigt. Bornehag etwa fahndete nach Phtalaten, oft eingesetzt als Weichmacher für Kunststoffprodukte wie PVC-Böden, nach Phenolen, die wichtig sind für die Plastic-Herstellung, und nach sogenannten PFC, die Wasser, Schmutz und Fett abweisen und daher häufig für Textilien oder Kochgeschirr eingesetzt werden. «Wir haben nach 20 Abbauprodukten dieser Stoffe gesucht, und alle Frauen trugen alle 20 in sich», sagt der Forscher.

Eine französische [Studie](#) fand jüngst bei allen 21 untersuchten Frauen chloriniertes Bisphenol-A, dem noch grössere hormonelle Wirksamkeit zugesprochen wird als Bisphenol-A. Margaret Schlumpf und Walter Lichtensteiger von der Universität Zürich, die seit Jahren vor

hormonaktiven Substanzen besonders in UV-Filtern warnen, fanden diese im Blut von Schwangeren. Sorgen macht vielen Forschern zudem der «Cocktail-Effekt»: Eine Mischung verschiedener endokriner Disruptoren wirkte im Tierversuch schädlich, obwohl die untersuchenden Forscher die einzelnen Substanzen in jeweils unschädlicher Dosis verabreicht hatten.

Falls sich endokrine Disruptoren auf die menschliche Gesundheit auswirken, müssten sie dies schon in sehr geringen Mengen tun. Bornehag und seine Kollegen fanden im Mittel nur wenige Milliardstelogramm jedes Stoffes in einem Liter Körperflüssigkeit – und ein Dogma von Toxikologen lautet: Die Dosis macht das Gift. Demnach besitzt jeder toxische Stoff eine Art Grenzwert, unterhalb dessen er harmlos ist.

Doch das beruhigt viele Forscher nicht. Denn etliche endokrine Disruptoren zeigten in Tier- oder Zellversuchen ihre Wirkung schon bei Dosen, die kleiner waren als die im menschlichen Körper gemessenen. Dieser «Niedrigdosiseffekt trete «bemerkenswert häufig auf», lautete denn auch das Fazit eines amerikanischen Forscherteams, das die Fachliteratur zu fünf verbreiteten endokrinen Disruptoren, darunter [Bisphenol-A](#) und Dioxin, [untersuchte](#). Eine mögliche Erklärung für diesen Effekt gibt Lichtensteiger: «Die Hormonrezeptoren sind durch die Anwesenheit von Hormonen im Körper schon aktiviert. Deshalb ist es denkbar, dass eine kleine zusätzliche hormonelle Aktivität durch Chemikalien nicht erst einen Schwellenwert überwinden muss, sondern bereits zu einer Verstärkung der Wirkung beiträgt.»

Eine Wissenslücke schliessen

Andere Stellen zeigen sich weniger besorgt als die Forscher. Die Hinweise auf Gesundheitsschäden durch endokrine Disruptoren begründeten lediglich eine Vermutung, «die trotz intensiver weltweiter Forschung bisher nicht bestätigt werden» konnte, erklärt etwa das Schweizerische Bundesamt für Gesundheit. Auch der Verband der deutschen Chemischen Industrie (VCI) verweist auf 20 Jahre intensiver Forschung an hormonell wirksamen Stoffen, die «keine breit akzeptierten fachlichen Hinweise auf neue oder bisher unterschätzte Gefahren gefunden hätten». Künstliche Chemikalien stellten nur einen kleinen Teil der hormonell wirksamen Substanzen und Aktivitäten dar, zu denen auch über die Nahrung aufgenommene Stoffe oder sportliche Betätigung gehörten, so der VCI. Lichtensteiger gibt hierzu jedoch

zu bedenken, dass in der Nahrung enthaltene Hormone vom Körper schneller abgebaut würden als gewisse synthetische Stoffe. So dauere es mehrere Jahre, bis etwa die für die Kunststoffherstellung verwendete Perfluorooctansäure zur Hälfte aus dem Körper ausgeschieden werde.

Noch ist also unbekannt, ob das chemische Potpourri im Körper schadet oder nicht. Diese Wissenslücke zu schliessen, dazu wollen die Wissenschaftler um Bornehag mit dem Anliegen ihrer Petition bei der Europäischen Union beitragen.

Folgen Sie uns auf Twitter:

Copyright © Neue Zürcher Zeitung AG. Alle Rechte vorbehalten. Eine Weiterverarbeitung, Wiederveröffentlichung oder dauerhafte Speicherung zu gewerblichen oder anderen Zwecken ohne vorherige ausdrückliche Erlaubnis von Neue Zürcher Zeitung ist nicht gestattet.

Teurer Klärungsbedarf

Weil zu viele hormonaktive Stoffe in Schweizer Abwässer gelangen, müssen Kläranlagen für viel Geld eine zusätzliche Reinigungsstufe einbauen.



100 von 700 Schweizer Kläranlagen werden in den nächsten 20 Jahren umgerüstet: ARA Opfikon-Glattbrugg. Bild: Urs Keller/Ex-Press

Die Technik der Abwasserkläranlagen in der Schweiz versagt vielfach bei Mikroverunreinigungen. Immer mehr solcher chemischer Stoffe gelangen in die Abwässer. Sie stammen aus Pflanzenschutzmitteln, Körperpflegeprodukten, Medikamenten, Waschmitteln oder aus spezialisierten Industriebetrieben und der Landwirtschaft. Sie sind oft nur in geringen Spuren nachweisbar. Hormonaktive Substanzen können zum Beispiel den Hormonhaushalt der Fische durcheinanderbringen und zu einer Verweiblichung bei männlichen Tieren führen.

Am Montag hat das Parlament beschlossen, das Gewässerschutzgesetz zu verschärfen und den Technikstandard der Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zu verbessern. 100 von rund 700 Kläranlagen sollen im Laufe der nächsten 20 Jahre eine zusätzliche Reinigungsstufe erhalten. Grundlage bilden Testergebnisse aus Pilotversuchen in Lausanne und Regensdorf. Zwei Verfahren kommen infrage: die Ozonung oder der Einsatz von Pulveraktivkohle.

Cornelia Kienle, Mitarbeiterin am Schweizerischen Zentrum für angewandte Ökotoxikologie des Wasserforschungsinstituts Eawag in Dübendorf und der ETH Lausanne, hat zusammen mit Kollegen die Methoden geprüft. Sie testete dabei die Wirkung von hormonaktiven Substanzen und andere Mikroverunreinigungen auf den Nachwuchs, die Entwicklung, das Gewicht und die Sterblichkeit von Regenbogenforellen. Die Testfische wurden in den ersten zwei Lebensmonaten Abwässern nach der konventionellen Reinigung und nach der Behandlung mit Ozon oder Pulveraktivkohle ausgesetzt. Das Ergebnis: Die Folgen der Spurenstoffe für die Fische waren in Abwässern ohne zusätzliche Reinigung deutlich nachweisbar. Aktivkohle oder Ozon hingegen zeigten Wirkung: Die östrogenaktiven Substanzen gingen 95 bis 100 Prozent zurück. Deutliche Erfolge waren auch bei rund 60 chemischen Stoffen zu verzeichnen, von denen jeder für Dutzende anderer verwandter Stoffe steht.

Pionieranlage in Dübendorf

Die Ozonung ist ein chemisches Reinigungsverfahren. Ozon ist ein reaktives Gas und

Von Martin Arnold 05.03.2014

Stichworte

Forschung
Umwelt



So wird Schmutzwasser sauber. Zum Vergrössern auf Grafik klicken. (Bild: TA-Grafik)

Artikel zum Thema

Kläranlagen lassen Giftstoffe durch, Nachrüstung ist nötig

Viele Chemikalien fließen heute trotz Abwasserreinigung ungehindert in Flüsse und Seen. Ozongas und Aktivkohlefilter schaffen Abhilfe. Wer die Aufrüstung bezahlen soll, ist jedoch umstritten. [Mehr...](#)
14.03.2011

Taucher im Klärschlamm

Gregor Ulrich putzt Faultürme in Kläranlagen. Dabei taucht er in surreale Landschaften ein. [Mehr...](#)
Von Mirjam Fuchs 02.12.2012

Resistente Keime im Genfersee

Selbst Kläranlagen können Bakterien, die gegen Antibiotika resistent sind, nicht ausschalten. Dies haben Wissenschaftler bei einer Probenahme in Lausanne herausgefunden. [Mehr...](#)
Von Barbara Reye 24.03.2012

Die Redaktion auf Twitter

Stets informiert und aktuell. Folgen Sie uns auf dem Kurznachrichtendienst.

besteht aus drei Sauerstoffatomen. Im Kontakt mit Wasser bildet es sogenannte Hydroxylradikale. Sie brechen komplexe Verbindungen auf, sodass diese biologisch abbaubar werden. Neben den Schadstoffen werden auch Mikroorganismen zerstört, sodass Ozon auch als Desinfektionsmittel eingesetzt wird. Anschliessend wird das Wasser mit Sandfilter nachbehandelt. Da diese Nachbehandlung fast so teuer wie die Ozonung ist, werden noch verschiedene Verfahren getestet. Bei der Aktivkohle spielt die sehr poröse Oberfläche die entscheidende Rolle. Die Mikroverunreinigungen lagern sich an diesen Oberflächen an und werden so aus dem Wasser abgetrennt.

Ende März wird die erste grosstechnische Ozonungsanlage in der ARA Neugut in Dübendorf eingeweiht. Die Reinigungsanlage sammelt die Abwässer einer Agglomeration von 100'000 Einwohnern. «Sie eignet sich für die Umrüstung besonders gut, weil die bestehenden Gebäude genutzt werden können», sagt Max Schachtler, Geschäftsführer im Neugut. Doch die **Forschung** ist damit noch nicht abgeschlossen. Nun gilt es, die ideale Mischung zwischen Ozon und Wasser herauszufinden, um Kosten zu sparen.

Die erste ARA in der Schweiz, die Pulveraktivkohle als neue Reinigungsstufe einsetzt, wird in rund einem Jahr im ausserrhodischen Herisau den Betrieb aufnehmen. «Wir bauten bereits von Anfang an zwei biologische Klärstufen ein wegen der Abwässer aus der Textilindustrie», erklärt Hanspeter Butz, Leiter Gewässerschutz der Gemeinde Herisau. Das gereinigte Wasser fliesst in die Glatt. Im Gebiet des Unterlaufs der Glatt und der nachfolgenden Thur wird aus dem Grundwasser Trinkwasser bezogen. Es sei deshalb ein logischer Schritt gewesen, die Wasserreinigung zu verbessern, sagt Butz. In Herisau mit seiner spezifischen Verschmutzung hat sich das Verfahren mit Pulveraktivkohle der Ozonung als überlegen erwiesen.

1,2 Milliarden in 20 Jahren

Der Bund schreibt kein bestimmtes Verfahren vor. Welche Methode sich besser eignet, muss individuell geprüft werden. «Wir wollen bei den angestrebten 100 nachgerüsteten Kläranlagen die Mikroverunreinigung um mindestens 80 Prozent senken», erklärt Michael Schärer, stellvertretender Sektionschef im Bundesamt für **Umwelt** und Verantwortlicher für Mikroverunreinigungen. Die ausgewählten 100 Kläranlagen, die nun saniert werden sollen, würden meist in dicht besiedeltem Gebiet mit einer Mischnutzung durch Industrie, Landwirtschaft und Wohnüberbauungen liegen. Sie leiten ihre Abwässer in kleine und mittelgrosse Flüsse, die teilweise in trockenen Zeiten höchstens so viel Wasser mitführen, wie aus der ARA zusätzlich zufließt – was zu einer schlechten Verdünnung in den Gewässern führt.

Die Kosten für die Nachrüstung der 100 ARA belaufen sich, verteilt auf 20 Jahre, auf rund 1,2 Milliarden Franken. Zudem wird auch der Unterhalt etwas teurer. Die Bezahlmodelle sind unterschiedlich. In Herisau beteiligen sich die erwähnte Textilfirma, der Kanton, ein Abwasserfonds sowie die Konsumentinnen und Konsumenten über den Wasserpreis.

(Tages-Anzeiger)

(Erstellt: 05.03.2014, 19:05 Uhr)

07.08.14 | **Arznei-Rückstände**

Trinken Sie Ihren Kaffee auch mit Viagra?

Forscher haben beachtliche Spuren des Viagra-Wirkstoffs Sildenafil im Abwasser festgestellt. Arzneimittelreste im Wasserkreislauf machen nicht nur scheue Barsche frech, sie gefährden auch Menschen. *Von Jörg Zittlau*

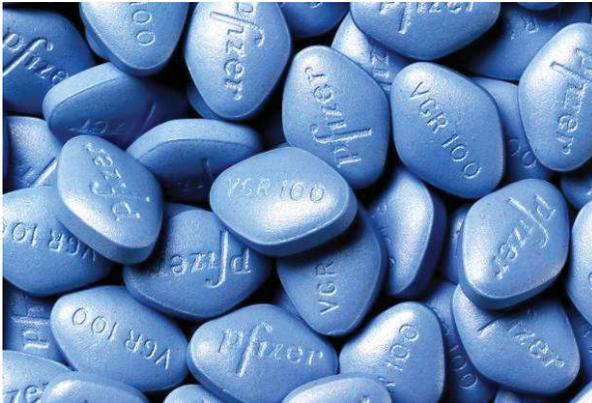


Foto: Pfizer/pa/gms

Das Pfizer-Präparat Viagra wird gegen Potenzprobleme verschrieben. Doch auch, wer nicht danach verlangt hat, bekommt etwas von dem Wirkstoff ab – durch Rückstände im Wasser

Ein frisches Glas Wasser aus der Leitung, gerade an heißen Sommertagen kann das ein wunderbares Erlebnis sein. Man fühlt sich wieder frisch, gut gekühlt – und als Mann möglicherweise sogar angenehm erregt.

Denn holländische Forscher haben jetzt beachtliche Spuren des Wirkstoffs Sildenafil (Link: <http://www.welt.de/1165844>) – besser bekannt unter dem Markennamen Viagra – im Abwasser entdeckt. Und das ist nur eines von vielen Medikamenten, die morgens über die Tasse Kaffee in unseren Körper gelangen können.

Ein Forscherteam unter Bastiaan Venhuis vom Nationalen Institut für öffentliche Gesundheit und Umwelt analysierte die Viagra-Rückstände in den Abwässern von Amsterdam, Eindhoven und Utrecht und verglich die erhaltenen Messwerte mit der Anzahl der Rezepte, die in den ausgewählten Städten für das Potenzmittel ausgestellt worden waren.

Dabei stellte sich heraus, dass die Arzneirückstände im Wasser um 60 Prozent höher waren, als sie es eigentlich gemäß der Verschreibungen hätten sein dürfen. "In den Niederlanden ist also offenbar viel Sildenafil aus dem Schwarzmarkt im Umlauf", resümiert Venhuis. Und dessen Reste gelangen am Ende genauso wie seine ordnungsgemäß gehandelten Pendanten in den Wasserkreislauf.

Scheue Barsche werden frech und gefräßig

Die Forscher haben nicht untersucht, was diese Arzneirückstände für konkrete Folgen in der Natur haben. Ob also dadurch beispielsweise Frösche und Fische oder eben auch Menschen ihr Sexualverhalten verändert haben.

Aber man sollte dieses Risiko nicht zu gering einschätzen. Denn Anfang 2013 sorgte eine auf dem Jahreskongress der amerikanischen Wissenschaftlervereinigung vorgestellte Studie für Aufsehen, wonach die Reste eines beliebten Beruhigungsmittels im Wasser selbst einen

ansonsten schüchternen Barsch zum abenteuerlustigen Draufgänger machen können.

Das schwedische Forscherteam unter Tomas Brodin von der Universität Umeå untersuchte die Oxazepam-Konzentrationen in einer Kläranlage und einem angrenzenden Fluss in Uppsala sowie im Muskelgewebe dort gefangener Barsche. Die Messungen per Flüssigkeitschromatografie und Massenspektrometrie ergaben, dass sich die angstlösende Substanz in den Tieren relativ zum Wasser, in dem sie schwammen, um das Sechsfache angereichert hatte. Und das bleibt, wie die Forscher in Experimenten nachweisen konnten, nicht ohne Wirkung auf das Verhalten des Fisches.

So wird er einerseits aktiver und neugieriger, andererseits aber auch asozialer und gefräßiger. "Normalerweise sind Barsche scheu und jagen in Schwärmen, das gehört zu ihrer Überlebensstrategie", erklärt Brodin.

"Doch unter dem Einfluss von Oxazepam werden sie deutlich mutiger und einzelgängerischer." Es sei beunruhigend, dass die Konzentrationen eines Arzneimittels, wie sie in der Umwelt auftreten, einen solchen Effekt haben können.

Hunderte Tonnen im deutschen Wasserkreislauf

Und was in Schweden für Beunruhigung sorgt, gilt für das pillenaffine Deutschland erst recht. Denn hier bekommen allein die gesetzlich Versicherten pro Kopf und Jahr neun Arzneimittelpackungen mit 520 definierten Tagesdosen verordnet.

In jedem siebten Haushalt werden viele Medikamente gar nicht erst geschluckt, sondern über die Klospülung entsorgt; und diejenigen, die eingenommen werden, kann der Körper nicht komplett absorbieren und er scheidet sie bis zu einem Anteil von zwei Dritteln wieder aus.

Das summiert sich zu mehreren hundert Tonnen, und die gelangen nahezu unbeeinträchtigt in den Wasserkreislauf. Denn wenn der Mensch eine Substanz nicht komplett aufnehmen kann, kann dies eine auf biologischen Abbau fokussierte Kläranlage auch nicht.

Heruntergespülte Antibiotika macht Bakterien resistent

Es ist daher kein Wunder, dass man schon mehr als hundert Arzneistoffe in deutschen Gewässern finden konnte – vom Antibiotikum über den Schmerzhemmer bis zum Röntgenkontrastmittel. Wie sich das alles auf die Natur auswirkt, ist bisher nur wenig untersucht. Aber man weiß mittlerweile, dass Antibiotika im Gewässer das Wachstum von Algen hemmen und die Hormonreste der Antibabypille ganze Fischpopulationen aussterben lassen können.

Das Schmerzmittel Diclofenac kann bei Fischen zu Kiemen- und Nierenschäden führen. Am Berliner Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei war man überrascht, als bei Fröschen unter dem Einfluss eines Gestagens, eines weiblichen Geschlechtshormons, ausgerechnet die Schilddrüse verkümmerte – man hatte eher mit einem Effekt auf die Fortpflanzung gerechnet. Aber ein Medikament kann im Wasser eines Flusses ganz anders wirken als im Körper eines Menschen, der zudem wieder ganz anders reagiert als der einer Amphibie.

Immerhin muss der Zweibeiner nicht unbedingt befürchten, dass er durch die Hormonreste in seinem Kaffee aussterben wird, denn bis in seine Tasse hat das Wasser einen so langen Weg hinter sich gebracht, dass Arzneimittelreste nur noch im Nanogrammniveau vorliegen. Dennoch hat die Aufnahme von medikamentiertem Wasser auch auf ihn Auswirkungen.

Denn die Arzneispuren werden im Trinkwasser hundertfach miteinander kombiniert, und die Folgen dieser Mischung sind kaum abzuschätzen. Außerdem wirken die Mittel oft indirekt, über die Hintertür auf den Menschen. Wenn etwa Antibiotika in die Natur eingetragen werden, begünstigen sie die Resistenzentwicklung von Bakterien, was der Patient spätestens dann zu spüren bekommt, wenn sein Infekt nicht mehr auf antibiotische Therapien reagiert.

Entsorgungssystem für Altmedikamente

Gründe genug also, nicht nur aus ökologischen Motiven, sondern auch aus Selbstschutz die Arzneimittelrückstände im Wasser unter Kontrolle zu bringen. Einige Klärwerke experimentieren bereits mit Aktivkohle und Ozon, doch die darin gesetzten Hoffnungen haben sich bisher nicht erfüllt. Dresdener Physiker und Ingenieure tüfteln daher daran, Wasser mit hochaktivem UV-Licht zu bestrahlen, um die Strukturen der Schadstoffe zu

zerstören.

Die EU-Richtlinien berücksichtigten die Umweltproblematik von Arzneimitteln zwar, entsprechende Verträglichkeitsprüfungen müssen jedoch nur neu zugelassene Präparate durchlaufen. Klassiker wie das Schmerzmittel Diclofenac und das Antiepileptikum Carbamazepin hingegen sind davon ausgenommen, obwohl gerade sie immer wieder im Wasserkreislauf nachgewiesen wurden. Das zur Therapie von Wahnvorstellungen eingesetzte Carbamazepin floss vor einigen Jahren sogar aus den Wasserhähnen des Berliner Reichstages.

Wichtig wäre daher, dass wenigstens die unbenutzten Medikamente nicht einfach im Klo heruntergespült werden. Hierzu bräuchte man, wie Jürgen Resch von der Deutschen Umwelthilfe anmahnt, ein "einheitliches und verbindliches Sammelsystem für Altmedikamente".

Es existiert zwar schon seit zehn Jahren eine entsprechende Richtlinie der EU, doch die wurde in Deutschland noch nicht umgesetzt. Es empfangen daher nur wenige der mehr als 20.000 Apotheken hierzulande ihren Kunden mit offenen Armen, wenn er seine Medikamente bei ihnen entsorgen will.

© WeltN24 GmbH 2015. Alle Rechte vorbehalten



Wie riskant ist Triclosan?

Vielen Alltagsprodukten wie Zahnpasta oder Duschgel ist die Substanz Triclosan zugesetzt. Ist dieser Stoff problematisch?

Es kann in Zahnpasta, Seifen und Shampoos stecken, in Waschmitteln und Haushaltsreinigern. Es verhindert, dass Schuhe und T-Shirts miefen. Und aus Kliniken ist das Desinfektionsmittel nicht mehr wegzudenken. Die Chemikalie Triclosan ist so allgegenwärtig, dass Messlabore sie in Blut, Urin und der Muttermilch von Menschen fanden.

Genauso allgegenwärtig sind die Zweifel an ihrer Unbedenklichkeit. Denn sie vergiftet in Tierversuchen die Blutzellen und bringt den Hormonhaushalt durcheinander. Sie hindert Spermien daran, Eizellen gezielt anzuschwimmen und deren Hülle zu durchdringen. Und sie steht im Verdacht, das Immunsystem zu schwächen, Allergien zu fördern und Krebs zu verursachen.

Triclosan-Verbot in vielen Kosmetika

Die EU reagiert jetzt auf die wachsende Kritik mit ersten Verboten – mehr als 40 Jahre nachdem die damalige Schweizer Firma Geigy das Produkt auf den Markt gebracht hat. So darf Triclosan in vielen Kosmetika nicht mehr als Konservierungsmittel verwendet werden. In Produkten, die abgewaschen, ausgespuckt oder nicht großflächig aufgetragen werden, hält die EU-Kommission den Einsatz hingegen für unbedenklich. Sie beruft sich dabei auf die Bewertung eines Expertengremiums, das alles unter die Lupe genommen hatte, was in der EU unter die Kosmetikverordnung fällt.

Für andere Produkte, in denen Triclosan eingesetzt wird, gilt die sogenannte Biozidverordnung. Biozide sind Wirkstoffe, die Bakterien und andere Mikroorganismen im Wachstum hemmen oder abtöten. Auch hier werden bald die ersten Verbote fällig. Biozide müssen in der EU seit 1998 grundsätzlich zugelassen werden. Solche, die schon vorher auf dem Markt waren, werden nach und nach von Experten bewertet. Auch die Prüfung von Triclosan läuft noch. Theoretisch ist also auch ein vollständiges Verbot möglich.

Ärzte fordern Totalverbot

Genau dies wünscht sich Martin Forter für die Schweiz und die EU. Als einzige Ausnahme lässt er den medizinischen Bereich gelten: „Darüber hinaus ist Triclosan völlig überflüssig.“ Forter ist Geschäftsführer der „Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz“ (AeFU) in der Schweiz.

Bei einer Einkaufstour stellten er und seine Mitstreiter erschreckt fest, in wie vielen Alltagsprodukten die Substanz enthalten ist. Die AeFU hat mehr als 3000 Unterschriften gesammelt und mit diesen beim Schweizer Bundesrat eine Petition eingereicht. Unabhängig davon will Forter weiter politischen Druck machen: „Wir bleiben auf jeden Fall an dem Thema dran.“

Unklare Studienergebnisse

Einige neue Studien verstärken seine Besorgnis und die anderer Kritiker. So ergaben Untersuchungen der Universität von Kalifornien in Davis, dass Triclosan bei Mäusen die Herzleistung um ein Viertel senkt; auch die Muskeln der Nager schwächelten deutlich. Mögliche Erklärung: Triclosan hemmt bestimmte Proteine, die bei der Übertragung von Nervenimpulsen auf Herz- und Skelettmuskeln wichtig sind.

Es gibt aber auch Kritik an der Studie: Die Forscher spritzten den Mäusen die Chemikalie in den Herzbeutel und unter die Bauchdecke. Dadurch gelangte sie schneller und in höheren Mengen ins Blut als etwa durch verschluckte Zahnpasta. Deshalb bezweifelt Dr. Annegret Blume, Geschäftsführerin der Kommission für Kosmetische Mittel beim Bundesinstitut für Risikobewertung, die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf den Menschen. „Gleichwohl“, sagt Blume, „muss man die Sache im Auge behalten.“

Gesundheitliche Belastung?

In einer anderen Studie setzten Forscher der Universität San Diego dem Futter ihrer Versuchsmäuse geringe Mengen an Triclosan zu. Dies führte zu Vernarbungen der Leber, einer sogenannten Fibrose. Bei weiteren Versuchsreihen reagierten die Tiere stärker auf ein krebserregendes Mittel als jene Mäuse, die kein Triclosan erhalten hatten; bei ihnen kam es häufiger zu Tumoren. Besonders bedenklich: Diese Effekte traten bei Mengen auf, die den für Menschen geltenden „Unbedenklichkeitswert“ der EU unterschreiten.

Einen Einfluss auf den Grenzwert hat die Studie dennoch nicht – aus paradoxen Gründen: Dazu müsste die unterste Grenze bekannt sein, ab der bei Tieren keine Effekte auf die Leber mehr auftreten. Nach dieser Dosis hatten die Forscher aber nicht gesucht. So bleibt das ungute Gefühl eines Gesundheitsrisikos, das erkannt wurde, aber aus methodischen Gründen keine praktischen Folgen hat.

Mögliche Bakterienresistenz

Annegret Blume ist indes überzeugt, dass Triclosan keine akute Gefährdung darstellt. Trotzdem trägt sie die Linie des Bundesinstituts für Risikobewertung mit: Triclosan sollte nur im medizinischen Bereich eingesetzt werden, denn seine Verwendung in Alltagsprodukten kann zur Ausbildung von Resistenzen bei Bakterien führen. Dann wäre es in Arztpraxen und Krankenhäusern kein sicheres Desinfektionsmittel mehr.

Zudem können diese Resistenzen auf bestimmte Antibiotika übertragen werden. Bisher wurden solche Vorgänge allerdings nur im Labor beobachtet. „Der Nachweis, dass dies auch in Alltagssituationen passiert, ist extrem schwierig zu führen“, erklärt Blume. Aus Vorsorgegründen sollte Triclosan deshalb nur, „beschränkt auf das unbedingt notwendige Maß“, im medizinischen Bereich eingesetzt werden.

Anreicherung in der Umwelt

Sorgen bereitet anderen Experten die Anreicherung von Triclosan in der Umwelt. Zwar wird der größte Teil in modernen Kläranlagen abgebaut, doch erhebliche Mengen der Substanz und ihres Abbauprodukts Methyltriclosan finden sich im Klärschlamm und in Abflüssen wieder. Auf diese Weise landet der Stoff beispielsweise in der Muskulatur von Fischen und damit in der Nahrungskette. Die EU führt ihn jedoch nicht auf ihrer „Liste prioritärer Schadstoffe“, weshalb sein Vorkommen in der Umwelt nicht behördlich überwacht wird.

Ob die EU-Kommission den Einsatz von Triclosan noch stärker reguliert, ist offen. Möglicherweise spielt das aber keine entscheidende Rolle mehr. Martin Forter hat die Hersteller jener Produkte angeschrieben, bei denen er auf seiner Einkaufstour fündig geworden war. Ebenso wie zwei große Konzerne, die unzählige Waren mit der Substanz herstellen, kündigten die meisten Firmen an, künftig freiwillig auf Triclosan in Kosmetika und Alltagsprodukten zu verzichten.

Dr. Reinhard Door / Apotheken Umschau / Apotheken Umschau, 24.04.2015