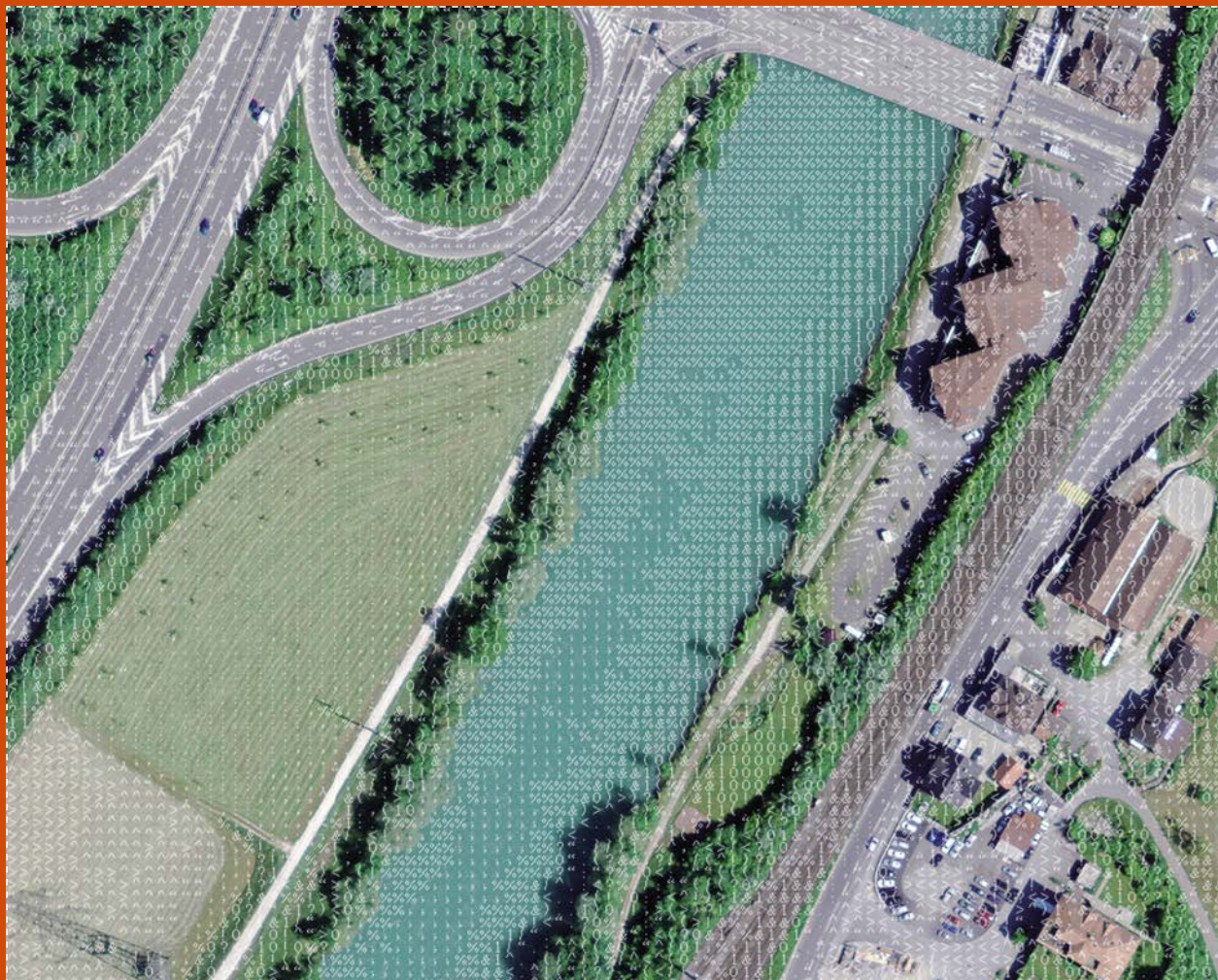


> Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen

Situationsanalyse



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen

Situationsanalyse

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Christian Braun, René Gälli (BMG Engineering AG); Christian Leu, Nicole Munz, Yael Schindler Wildhaber, Ivo Strahm (BAFU); Irene Wittmer (Eawag)

Fachliche Begleitung

Michael Schärer und Ueli Sieber (BAFU, Abteilung Wasser)
Bettina Hitzfeld (BAFU, Abteilung Boden und Biotechnologie)
Josef Tremp (BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien)
Juliane Hollender (Eawag)

Zitierung

Braun Ch., Gälli R., Leu Ch., Munz N., Schindler Wildhaber Y., Strahm I. Wittmer I. 2015: Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1514: 78 S.

Gestaltung

Stefanie Studer, 5444 Künten

Titelbild

Reuss bei Gisikon, SWISSIMAGE © swisstopo (DV043734)

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-1514-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2015

> Inhalt

Abstracts	5	4	Ausgewählte Gewässeruntersuchungen	47
Vorwort	7	4.1	Verunreinigung grosser Fließgewässer am Beispiel des Rheins	49
Zusammenfassung	8	4.2	Verunreinigung mittlerer Fließgewässer	51
<hr/>		4.3	Verunreinigung kleiner Fließgewässer	53
1 Einleitung und Ausgangslage	13	4.3.1	Pestizide	54
1.1 Mikroverunreinigungen als neue Herausforderung	13	4.3.2	Schwermetalle	57
1.2 Rechtliche Aspekte	15	4.4	Fazit	58
1.2.1 Numerische Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung	15	<hr/>		
1.2.2 Ökotoxikologische Beurteilung von Gewässerbelastungen	15	5	Modellbasierte Abschätzung der Gewässerbelastung durch diffus eingetragene Mikroverunreinigungen	59
1.2.3 Prioritäre Substanzen aus der Wasserrahmenrichtlinie	16	5.1	Modellansatz und ausgewählte Stoffe	59
1.2.4 1.2.4. Vorschläge für neue numerische Anforderungen in der Gewässerschutzverordnung	16	5.2	Resultate	60
1.3 Ziel des Berichtes	16	5.2.1	Gültigkeit des Modells	60
<hr/>		5.2.2	Überschreitungen von Qualitätskriterien	62
2 Charakterisierung diffuser Einträge von Mikroverunreinigungen	18	5.3	Fazit der Modellabschätzungen	68
2.1 Überblick über die wichtigsten Quellen und Eintragspfade	18	<hr/>		
2.1.1 Landwirtschaft	19	6	Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf	69
2.1.2 Siedlung	24	6.1	Belastungslage der Schweizer Fließgewässer durch Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen	69
2.1.3 Verkehr	27	6.2	Neuausrichtung der Gewässerzustandsüberwachung	70
2.1.4 Belastete Standorte	30	6.3	Massnahmen zur Belastungsreduktion	71
2.1.5 Aktivitäten im und am Wasser	32	<hr/>		
2.1.6 Direkte Einträge aus der Atmosphäre	33	Literatur		72
2.2 Überblick über die wichtigsten Stoffe	34	Verzeichnisse		76
2.3 Schwankungen der Stoffkonzentrationen und deren Beurteilung	37	Glossar		78
2.4 Fazit	39			
<hr/>				
3 Einfluss der Landnutzung auf die Gewässerqualität	40			
3.1 Geographische Verteilung ausgewählter Quellen	40			
3.2 Vorkommen ausgewählter Quellen bezogen auf das Gewässernetz	42			
3.3 Fazit	46			

> Abstracts

Substances which occur in water bodies at very low concentrations are termed micropollutants. They continuously enter aquatic systems via wastewater treatment plants and diffuse input paths. It became evident that many Swiss rivers are affected by micropollutants derived from diffuse inputs. These inputs are often highly dynamic and, especially in small streams, cause ecotoxicologically derived quality criteria to be exceeded. The main sources of diffuse micropollutants are agriculture and to a lesser extent settlements; the most relevant substance groups are plant protection products, heavy metals and biocides.

Stoffe, die in Gewässern in sehr tiefen Konzentrationen vorkommen, werden Mikroverunreinigungen genannt. Sie werden kontinuierlich über Abwasserreinigungsanlagen sowie über diffuse Eintragspfade eingetragen. Es zeigte sich, dass viele Schweizer Fliessgewässer durch Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen belastet sind. Diese Einträge sind oft hoch dynamisch und führen vor allem in kleinen Fliessgewässern häufig zu Überschreitungen der ökotoxikologisch hergeleiteten Qualitätskriterien. Die wichtigsten Quellen für diffus eingetragene Mikroverunreinigungen sind die Landwirtschaft und in einem geringeren Ausmass die Siedlung; die relevantesten Stoffgruppen sind die Pflanzenschutzmittel, Schwermetalle und Biozide.

Les substances polluantes présentes dans les eaux en très faibles concentrations sont appelées micropolluants. Elles peuvent soit provenir de déversements continus issus des stations d'épuration des eaux usées, soit emprunter des voies d'apport diffus. Le présent rapport a révélé que plusieurs cours d'eau suisses charrient des micropolluants provenant d'apports diffus. Les apports de ces substances sont souvent très dynamiques et provoquent régulièrement des dépassements des critères de qualité écotoxicologique, en particulier dans les petits cours d'eau. L'agriculture et, dans une moindre mesure, les zones urbanisées constituent les principales sources d'apports diffus de micropolluants, les principaux groupes de substances étant les produits phytosanitaires, les métaux lourds et les biocides.

Le sostanze presenti nelle acque in concentrazioni molto basse sono dette microinquinanti. I microinquinanti vengono immessi nell'ambiente attraverso gli impianti di depurazione delle acque di scarico e da vie di contaminazione diffuse. Dal rapporto si evince che molti corsi d'acqua svizzeri sono contaminati da microinquinanti provenienti da immissioni diffuse. Queste immissioni sono spesso altamente dinamiche e, soprattutto in corsi d'acqua di piccole dimensioni, fanno sì che spesso i criteri ecotossicologici non siano soddisfatti. Le fonti principali di immissioni diffuse di microinquinanti sono l'agricoltura e, in misura minore, gli insediamenti. I gruppi di sostanze più rilevanti sono i prodotti fitosanitari, i metalli pesanti e i biocidi.

Keywords:
micropollutants,
diffuse inputs,
ecotoxicological assessment

Stichwörter:
Mikroverunreinigungen,
diffuse Einträge,
ökotoxikologische Beurteilung

Mots-clés:
micropolluants,
apports diffus,
évaluation écotoxicologique

Parole chiave:
microinquinanti,
immissioni diffuse,
valutazione ecotossicologica

> Vorwort

Der Umweltbericht 2015 des Bundesrates zeigt, dass die Wasserqualität in der Schweiz generell gut ist. Der vor 50 Jahren begonnene Bau von Abwasserreinigungsanlagen (ARA) konnte die Verschmutzung von Flüssen und Seen durch Phosphor und Stickstoff stark senken. Die Gewässer werden jedoch immer mehr durch sogenannte Mikroverunreinigungen wie Chemikalien, Medikamente und Pflanzenschutzmittel belastet, die bereits in sehr geringen Konzentrationen die Lebewesen in den Gewässern schädigen und das Trinkwasser verunreinigen können. Eine zusätzliche Reinigungsstufe in den ARA soll daher zukünftig auch ein breites Spektrum von Mikroverunreinigungen eliminieren. Das Parlament hat einem gezielten Ausbau von rund 100 ARA zugestimmt. Durch den Ausbau der rund 100 ARA sollten ca. 50 Prozent der Gesamtfracht der Mikroverunreinigungen aus dem Wasser eliminiert werden, wodurch sich die Wasserqualität zahlreicher belasteter Fließgewässer deutlich verbessert.

In kleineren Bächen sind diffuse Einträge für die Belastung mit Mikroverunreinigungen verantwortlich. Zu den diffusen Quellen wird beispielsweise die Landwirtschaft, der Verkehr oder die Atmosphäre gezählt. Im Gegensatz zu ARA, lassen sich diese Quellen schwieriger lokalisieren und die Einträge variieren stark. So ist beispielsweise eine Belastung durch Mikroverunreinigungen aus dem Verkehr nur während Regenereignissen und dem dadurch eingetragenen Strassenabwasser vorhanden. Im Auftrag des BAFUs wurde daher kürzlich ein Beurteilungskonzept publiziert, um die Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen schweizweit einheitlich zu erfassen.

Der vorliegende Bericht richtet sich an Behörden, Politiker und am Thema Wasserqualität interessierte Personen. Erstmals wird ein Grossteil der Daten aus in der Schweiz durchgeführten Messungen von Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen sowie das gesamte Wissen verschiedener Experten zusammengefasst und präsentiert. Die Analyse gibt einen weiteren Hinweis darauf, dass diffuse Verunreinigungen einen Einflussfaktor für die verbreitet festgestellten Defizite der Artenvielfalt in den Gewässern sind. Er zeigt somit den grossen Handlungsbedarf zur Reduktion dieser Verunreinigungen auch als Beitrag zum Erhalt der Biodiversität in der Schweiz, eines der prioritären Ziele der Schweizer Umweltpolitik. Der Bericht soll als solide Grundlage für zukünftige Massnahmen im Bereich Eintragsverminderung von Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen dienen.

Franziska Schwarz
Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Stoffe, die in Gewässern in sehr tiefen Konzentrationen (Milliardstel- bis Millionstel-Gramm pro Liter) vorkommen, werden Mikroverunreinigungen genannt. Darunter fallen einerseits synthetisch hergestellte organische Chemikalien wie Pflanzenschutzmittel, Biozide oder Medikamente und andererseits natürlich vorkommende, organische und anorganische Stoffe wie natürliche Toxine, Hormone und Schwermetalle. Diese Stoffe können bereits in diesen geringen Konzentrationen nachteilig auf Wasserlebewesen einwirken.

Was sind Mikroverunreinigungen?

Den wichtigsten kontinuierlichen Eintragspfad für Mikroverunreinigungen stellen die kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) dar. Diese sind auf die Elimination von Nährstoffen im Abwasser ausgelegt und halten viele Mikroverunreinigungen nicht oder nur teilweise zurück. Dieser Eintragspfad wurde in den letzten Jahren vertieft untersucht und Massnahmen zur Verringerung der Einträge von Mikroverunreinigungen über die ARA wurden beschlossen. Neben diesen punktuellen, kontinuierlichen Einträgen von Mikroverunreinigungen aus den ARA, gelangen Mikroverunreinigungen auch über diffuse Eintragspfade in Oberflächengewässer. Diese Einträge lassen sich schwerer lokalisieren und stammen beispielsweise aus der Landwirtschaft, dem Straßenverkehr, aus der Siedlung via Mischwasserüberläufe und Regenwasserkanäle oder werden als direkte atmosphärische Deposition in die Oberflächengewässer eingetragen. Über diese Einträge lag bis anhin keine umfassende Analyse vor.

Punktuelle und diffuse Einträge

Dieser Bericht schliesst Wissenslücken im Bereich der Mikroverunreinigungen in Schweizer Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Er stellt eine umfassende Situationsanalyse des aktuellen Wissens über diffuse Einträge von Mikroverunreinigungen und deren Eintragsdynamik dar. Dafür wurde Expertenwissen über die relevantesten Quellen und Eintragspfade zusammengefasst (Kap. 2) und die Landnutzung entlang des Schweizer Fließgewässernetzes analysiert, um die Belastungslage in der Schweiz möglichst gesamthaft darzustellen (Kap. 3). Zusätzlich wurden verfügbare Messdaten von Mikroverunreinigungen in Schweizer Fließgewässern zusammengestellt und in Bezug auf diffuse Einträge ausgewertet (Kap. 4). Schliesslich wurde mit den in Kapitel 2–4 erarbeiteten Grundlagen ein einfaches Modell erstellt, um eine Prognose über die schweizweite Fließgewässerbelastung durch diffus eingetragene Mikroverunreinigungen zu erhalten (Kap. 5).

Inhalt des Berichtes

In diesem Bericht wurde nur die Wasserphase von Oberflächengewässern betrachtet. Grundwasser und Sedimente, sowie auch Stoffgehalte in Organismen (Biota) wurden nicht berücksichtigt. Ebenfalls wurden die Einträge von Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe, welche zum grössten Teil punktuell über eine ARA oder als Direkteinleitung mit oder ohne Vorbehandlung in die Oberflächengewässer eingetragen werden, nicht analysiert.

Fokus auf Wasserphase

Charakterisierung diffuser Einträge (Kapitel 2)

Aus der **Landwirtschaft** gelangt eine Vielzahl verschiedener Stoffe wie Pflanzenschutzmittel, Biozide, Tierarzneimittel, natürliche Hormone, Schwermetalle und natürliche Toxine in die Gewässer. Diese Stoffe können durch direkte Anwendung (z. B. Pflanzenschutzmittel) oder indirekt mit der Ausbringung von Gülle (z. B. Tierarzneimittel) auf die Landwirtschaftsflächen gelangen. Die Schadstoffe werden grösstenteils durch Niederschläge mobilisiert und in die Gewässer eingetragen. Die Emissionen unterliegen einer starken Saisonalität. Die Pflanzenschutzmittel sind gemäss dem heutigen Erkenntnisstand die für Wasserlebewesen kritischste Stoffgruppe aus der Landwirtschaft.

Wichtigste Quelle:
Landwirtschaft

Durch die **Siedlungsentwässerung** (Mischwasserentlastung und Regenwasserkanäle) gelangt während Regenereignissen verschmutztes Regenwasser von Strassen, Dächern, Fassaden und Grünflächen sowie ca. 3–4 % des ungereinigten häuslichen Abwassers direkt in die Fliessgewässer. Das verschmutzte Regenwasser enthält Schadstoffe aus dem Verkehr, dem Materialschutz und von Grünflächen (z. B. Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, Biozide und Pflanzenschutzmittel). Das häusliche Abwasser enthält unter anderem Schadstoffe aus Haushaltsprodukten, Arzneimittlrückstände und Hormone.

Durch die Entwässerung der **Verkehrswege** (Eisenbahn und Strassen) werden Schadstoffe wie z. B. Schwermetalle, PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und das Herbizid Glyphosat in Gewässer eingetragen. Die Eintragsdynamik der Schadstoffe ist ebenfalls an Niederschlagsereignisse gekoppelt. Während niederschlagsfreier Zeiten akkumulieren die Schadstoffe auf und entlang der Strassen bzw. im Gleisbett. Durch Niederschlag werden sie mobilisiert und können ins Gewässer eingetragen werden.

Je nach **belastetem Standort** (z. B. Deponien) können unterschiedliche Stoffe mit dem Sickerwasser ins Gewässer gelangen. Die Eintragsdynamik ist vor allem durch die Dauer des Sickerungsprozesses geprägt. Von in Betrieb stehenden Deponien gelangen wahrscheinlich die grössten Stofffrachten in die Gewässern, da der Sickerwasseranfall von abgeschlossenen und abgedichtenden Deponien stark reduziert wird.

Durch **Aktivitäten im und am Wasser** werden zum Beispiel Biozide, UV-Filter und Schwermetalle in Oberflächengewässer eingetragen. Freizeitaktivitäten (Bootsverkehr, Badegäste) sorgen für eine Saisonalität des Stoffeintrags. Schadstoffe aus der Einleitung von Kühlwasser werden kontinuierlich oder periodisch, Schadstoffe aus Bauten im Wasser grundsätzlich kontinuierlich eingetragen.

Aus der **Atmosphäre** gelangen langlebige organische Substanzen (Flammschutzmittel, PCBs, etc.) sowie Schwermetalle über Depositionsprozesse in Oberflächengewässer. Der Eintrag dieser Schadstoffe erfolgt kontinuierlich und wird durch Niederschläge erhöht (erhöhte Deposition aufgrund der Auswaschung der Atmosphäre, Abschwemmung von Ablagerungen auf Strassen etc.).

Als wichtigste Quellen für diffus eingetragene Mikroverunreinigungen (in Bezug auf die Länge der beeinträchtigten Fliessstrecke, die Anzahl Stoffe sowie deren Toxizität)

wurden die Landwirtschaft und zu einem geringeren Masse die Siedlung und der Verkehr identifiziert. Belastete Standorte (z. B. Deponien) können lokal zu hohen Überschreitungen führen. Eine schweizweite Auswertung ist jedoch schwierig, da jeder belasteter Standort ein Einzelfall ist. Aktivitäten im und am Wasser sowie direkte Einträge aus der Atmosphäre sind schweizweit weniger relevant. Mit Ausnahme der atmosphärischen Deposition können jedoch Einträge aus allen Quellen, meist örtlich und zeitlich begrenzt, zu Überschreitungen der numerischen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung und auch ökotoxikologischer Qualitätskriterien führen. Diese Überschreitungen kommen vor allem in kleinen und mittleren Fließgewässern vor. Wie die Analyse zeigt, gehören zu den wichtigsten Stoffgruppen eine Vielzahl von Pflanzenschutzmitteln, einige wenige Biozide und die Schwermetalle Kupfer und Zink. Bei einigen Stoffen wie zum Beispiel PAK ist eine abschliessende Beurteilung nicht möglich. Insbesondere in kleinen Fließgewässern können diese Stoffe zu starken Konzentrationsschwankungen mit hohen Konzentrationsspitzen führen.

Einfluss der Landnutzung im Einzugsgebiet (Kapitel 3)

Um abzuschätzen, wie gross die Fließstrecke ist, die potenziell durch die Quellen Siedlung, Verkehr, Landwirtschaft und Deponien verunreinigt wird, wurde eine Landnutzungsanalyse entlang des Gewässernetzes durchgeführt. Diese zeigt, dass ein Grossteil der Fließgewässer durch diffus eingetragene Stoffe belastet sein kann. Weite Strecken können sogar ausschliesslich durch diffuse Einträge belastet sein, da sich im Einzugsgebiet keine ARA befindet.

Grossteil der Fließgewässer kann durch diffus eingetragene Stoffe belastet sein

Rund 75 % des gesamten Schweizer Fließgewässernetzes besteht aus kleinen Gewässern. Nur schon aufgrund dieses hohen Anteils haben kleine Gewässer eine grosse ökologische Bedeutung. In kleinen, im Mittelland, im Jura und in den Talebenen gelegenen Gewässern ist der Anteil der Fließstrecke, der potenziell durch Mikroverunreinigungen aus Grünland und Strassen belastet sein kann, grösser als 80 %. Durch Obstbau, Ackerland und Siedlungsflächen können rund 40 % und durch Reben, ARA, Deponien, Eisenbahn und dem Eintragspfad Mischwasserüberlauf jeweils weniger als 10 % des Schweizer Fließgewässernetzes belastet sein.

Grossteil des Gewässernetzes besteht aus kleinen Gewässern

Ausgewählte Gewässeruntersuchungen (Kapitel 4)

Die Messungen in kleinen Fließgewässern zeigen, dass Fließgewässer mit ausschliesslich diffusen Quellen im Einzugsgebiet bereits eine ökotoxikologisch kritische Belastung durch Mikroverunreinigungen aufweisen können. Vor allem in kleinen und mittleren Fließgewässern im Schweizer Mittelland werden Konzentrationen gemessen, bei welchen eine Beeinträchtigung von Wasserlebewesen nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Die landnutzungsbasierte Interpretation der Gewässeruntersuchungen (Kapitel 3) zeigt, dass solch kritische Situationen auf weiten Strecken des Schweizer Fließgewässernetzes erwartet werden müssen.

Hohe Konzentrationen an Mikroverunreinigungen

Die Stoffgruppe mit den meisten gemessenen Überschreitungen von ökotoxikologischen Qualitätskriterien sind Pflanzenschutzmittel gefolgt von Schwermetallen und Bioziden. Diese Stoffgruppen wurden auch bei der Charakterisierung der diffusen Quellen (Kapitel 2) als die relevantesten identifiziert. Wobei angemerkt werden muss,

Gemessene Stoffgruppen

dass insbesondere in kleinen Fliessgewässern Messungen und/oder Qualitätskriterien von anderen Stoffgruppen (z. B. PAK) oft fehlen und somit eine abschliessende Beurteilung unmöglich ist. Bei mittleren und grösseren Fliessgewässern ist die untersuchte Stoffpalette grösser (z. B. inkl. Humanpharmaka, Haushaltschemikalien).

Modellbasierte Abschätzung der Gewässerbelastung durch diffus emittierte Mikroverunreinigungen (Kapitel 5)

Ein einfacher, modellbasierter Ansatz wurde gewählt, um in Ergänzung zu den vorhandenen Messdaten und der Landnutzungsanalyse, die schweizweite Belastungssituation der Fliessgewässer in Bezug auf alle relevanten diffus eingetragenen Stoffe sowie für alle Fliessstrecken konsistent abschätzen zu können. Dabei wurden die eingetragenen Mengen von 158 Stoffen basierend auf der Landnutzung im Einzugsgebiet abgeschätzt und mit jährlichen Abflüssen verrechnet. Die resultierenden Jahresmittel der Konzentrationen geben einen groben Überblick über die Belastung durch Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen in allen Fliessgewässern der Schweiz.

Modell gibt Überblick für die Schweiz

Die mit dem Modell abgeschätzten Jahresmittelkonzentrationen ergänzen die Messdaten sowie die Erkenntnisse aus der Landnutzungsanalyse und zeigen, dass in fast einem Drittel der Fliessstrecke Effekte auf Wasserlebewesen nicht ausgeschlossen werden können. Dabei wurden die Überschreitungen vor allem im Mittelland in kleinen Fliessgewässern lokalisiert. Die Resultate zeigen auch, dass die Einträge aus Ackerland und Siedlung die meisten Qualitätskriterienüberschreitungen aufweisen. Es können jedoch alle betrachteten Quellen lokal zu kritischen Konzentrationen führen.

Auf fast einem Drittel der Fliessstrecke kritische Konzentrationen nicht ausgeschlossen

Schlussfolgerung und Handlungsbedarf (Kapitel 6)

Die umfassende Situationsanalyse zeigt, dass viele Schweizer Fliessgewässer durch Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen belastet sind. Diese Einträge sind oft hoch dynamisch und führen vor allem in kleinen Fliessgewässern häufig zu Überschreitungen der ökotoxikologisch hergeleiteten Qualitätskriterien wodurch die Biodiversität in den Schweizer Fliessgewässern beeinflusst wird. Die wichtigsten Quellen für diffus eingetragene Mikroverunreinigungen sind die Landwirtschaft und in einem geringeren Ausmass die Siedlung; die relevantesten Stoffgruppen sind die Pflanzenschutzmittel, Schwermetalle und Biozide.

Belastungssituation

Die Erfassung der Wasserqualität ist eine wichtige Grundlage, um erforderliche Massnahmen abzuleiten sowie Gewässerschutzmassnahmen zu evaluieren. Mikroverunreinigungen in Fliessgewässern adäquat zu erfassen ist eine grosse zukünftige Herausforderung. Messungen sollen vermehrt in kleinen Fliessgewässern stattfinden. Zudem ist ein hoher fachlicher Austausch über Erhebungs- und Messmethoden sowie Befunde nötig. Forschungsbedarf besteht in der Erfassung und Beurteilung der Sedimente und der Biota (Schadstoffgehalt in Organismen) sowie zu den aus Nutztierhaltung stammenden Hormonen.

**Handlungsbedarf:
Erfassung Wasserqualität**

Um die Einträge an Mikroverunreinigungen zu vermindern, sind diverse Massnahmen an der Quelle wie Stoffverbote oder Anwendungseinschränkungen, Risikoreduktionsmassnahmen bei der Produktion, Anwendung oder Entsorgung sowie Massnahmen, um Verhaltensmuster zu beeinflussen, nötig. Insbesondere wirkungsvolle Massnahmen im Bereich Landwirtschaft sind nötig, um die Gewässerbelastung deutlich zu reduzieren. Für die Umsetzung dieser Massnahmen stellen die Erkenntnisse in dieser Situationsanalyse eine fundierte Grundlage dar.

Massnahmen

Hinweis:

Im Teil «Verzeichnisse» finden Sie ein Abkürzungsverzeichnis sowie ein Glossar, welche die wichtigsten Fachbegriffe erklären.

1 > Einleitung und Ausgangslage

Die Wasserqualität der Oberflächengewässer der Schweiz hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. Dies erfolgte aufgrund eines Ausbaus der Infrastrukturen der Abwasserentsorgung und verschiedener weiterer Massnahmen, beispielsweise im Bereich der Siedlungsentwässerung, der Landwirtschaft und des planerischen Gewässerschutzes. Durch den guten Ausbaustandard der Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und verschiedene Massnahmen in der Landwirtschaft konnten die Nährstoffprobleme, welche in den letzten Jahrzehnten im Fokus des Gewässerschutzes standen, stark reduziert werden (Müller 2008; Müller 2007). Durch die zunehmende Bevölkerung und den steigenden Verbrauch an Chemikalien stellen heutzutage vor allem die sogenannten Mikroverunreinigungen eine der grossen neuen Herausforderungen für den stofflichen Gewässerschutz dar (z. B. Gälli et al. 2009; Schwarzenbach et al. 2006).

Zustand der Wasserqualität

1.1 Mikroverunreinigungen als neue Herausforderung

Unter den Begriff «Mikroverunreinigung» fallen vor allem Rückstände von synthetisch hergestellten organischen Chemikalien, aber auch natürlich vorkommende organische Stoffe und Schwermetalle, die in sehr tiefen Konzentrationen (Milliarden- bis Millionstel-Gramm pro Liter) in den Gewässern auftreten. Bereits in diesen tiefen Konzentrationen können sie auf Wasserlebewesen nachteilig einwirken (z. B. Liess et al. 2008; Liess und van der Ohe 2005; Schäfer et al. 2007). Auch im Oberflächen- und Grundwasser, welches zu Trinkwasserzwecken gebraucht wird, lassen sich diverse Mikroverunreinigungen nachweisen (Huntscha 2013). Eine umfassende Übersicht über Mengen, Verwendungen, Emissionen, Umweltverhalten und Umwelttoxizität dieser Stoffe existiert nicht. Fachexperten und Politiker verschiedener Länder sind sich einig, dass Mikroverunreinigungen Probleme in den Gewässern verursachen und daher Massnahmen ergriffen werden müssen (IKSR 2013). Auch im «Projekt Fischnetz», einem gemeinsamen Projekt von Eawag, BUWAL, Kantonen, Chemischer Industrie, Schweizerischem Fischereiverband und weiteren Forschungsinstituten, in dem mögliche Ursachen zur Erklärung des Fischrückgangs untersucht wurden, zielen drei der zehn vorgeschlagenen Massnahmen für die Verbesserung der Oberflächengewässer als Lebensraum für die Fische auf die Verbesserung der stofflichen Wasserqualität, insbesondere auf die Vermeidung der Verunreinigungen mit Mikroverunreinigungen, ab. (Fischnetz 2004).

Mikroverunreinigungen können Wasserlebewesen schädigen

Über kommunale ARA gelangt kontinuierlich eine grosse Anzahl an Mikroverunreinigungen in die Oberflächengewässer, da sie in zentralen Reinigungsanlagen nicht oder nur teilweise zurückgehalten werden. Das BAFU hat daher im Projekt «Strategie MicroPoll» eine umfassende Situationsanalyse und eine Strategie zur Verringerung von Mikroverunreinigungen aus dem kommunalen Abwasser erarbeitet (Gälli et al. 2009). Pilotversuche an verschiedenen ARA haben gezeigt, dass mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe (z. B. Ozonung oder Behandlung mit Pulveraktivkohle) organische Mikroverunreinigungen zurückgehalten bzw. eliminiert werden können (Abegglen und

Strategie Mikroverunreinigungen aus ARA

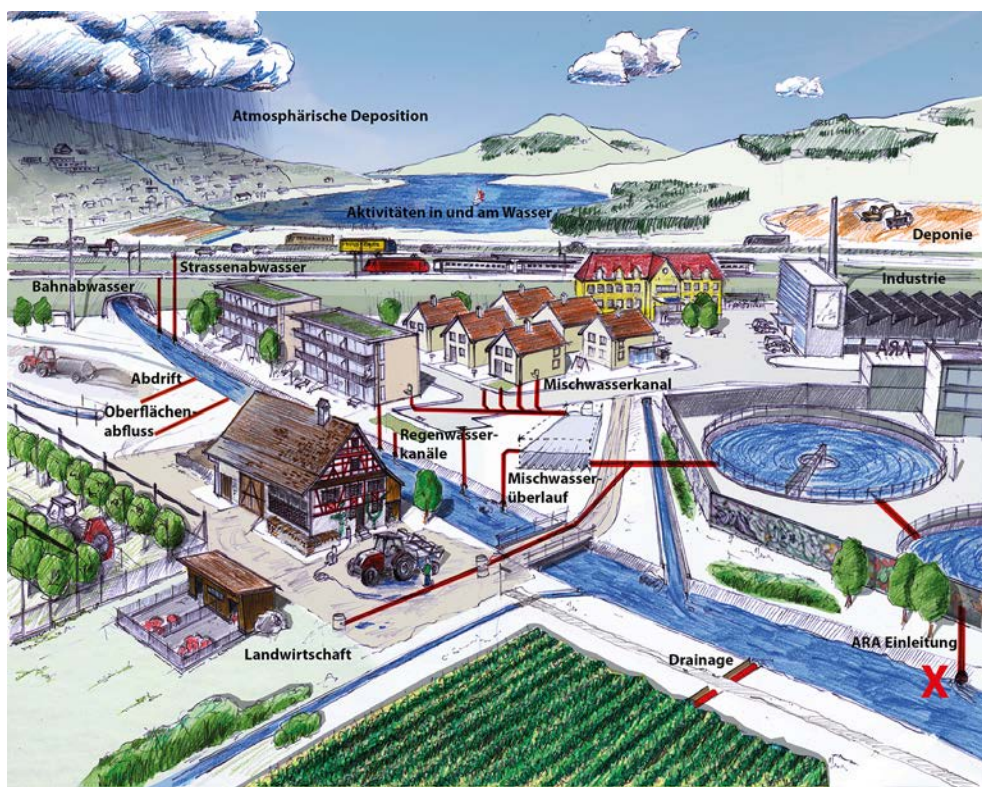
Siegrist 2012). Basierend auf diesen Ergebnissen hat der Bund den politischen Prozess initiiert, um die Einführung technischer Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen an ausgewählten zentralen ARA gesetzlich zu verankern. Entsprechende Anpassungen des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) wurden vom Parlament beschlossen und sollen per 1. Januar 2016 in Kraft treten.

Der Bund wurde im Rahmen des oben erwähnten politischen Prozesses aufgefordert, zusätzlich zur «Strategie MicroPoll» ebenfalls eine Strategie bezüglich Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen zu erarbeiten. Die vorliegende Situationsanalyse dient als Grundlage für eine solche Strategie. Als diffuse Einträge werden all jene Einträge bezeichnet, die nicht über die ARA in die Gewässer gelangen (Abb. 1). Zu den Quellen, die für diffuse Einträge relevant sind, zählen beispielsweise die Landwirtschaft und der Strassenverkehr, die Atmosphäre sowie die Siedlung (über Einträge via Mischwasserüberläufe und Regenwasserkanäle). Diese Einträge sind räumlich wie auch zeitlich variabler als die punktuellen, kontinuierlichen Einträge aus den ARA. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass diese Einträge die Gewässer ebenfalls nachteilig beeinträchtigen können (z. B. Liess et al. 2008; Liess und van der Ohe 2005; Schäfer et al. 2007). Insbesondere in kleinen Fließgewässern können sie zu ausgeprägten Konzentrationsverläufen mit hohen Konzentrationsspitzen führen (z. B. Doppler et al. 2012; Leu et al. 2004a; Ochsenbein et al. 2012).

Strategie Mikroverunreinigungen
aus diffusen Einträgen

Abb. 1 > Quellen und Eintragspfade von Mikroverunreinigungen

Als diffuse Einträge werden all jene bezeichnet, die nicht über Kläranlagenausläufe (mit Kreuz markierter Eintragspfad) in die Gewässer gelangen.



1.2 Rechtliche Aspekte

1.2.1 Numerische Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung

Das eidgenössische Gewässerschutzgesetz (GSchG) hat zum Ziel, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen und deren nachhaltige Nutzung zu ermöglichen. Unter anderem sollen keine künstlichen, langlebigen Stoffe in die Fließgewässer eingetragen werden und damit eine Bioakkumulation solcher Stoffe verhindert werden. Die Konzentration anthropogener Stoffe soll im Oberflächengewässer nahe bei null liegen und biologische Prozesse sollen nicht beeinträchtigt werden.

Ziele des
Gewässerschutzgesetzes

In Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung (GschV) sind numerische Anforderungen an die Wasserqualität der Fließgewässer für verschiedene Parameter wie Nährstoffe, Schwermetalle und organische Pestizide (Biozide und Pflanzenschutzmittel) definiert. Für Pestizide gilt heute die nicht wirkungsbasierte numerische Anforderung von 0,1 µg/l je Einzelstoff. Vorbehalten bleiben andere Werte aufgrund von Einzelstoffbeurteilungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens. Bis heute wurde diese Einzelstoffbeurteilung jedoch nicht rechtskräftig konkretisiert und es wurden keine von 0,1 µg/l abweichenden Werte rechtskräftig festgelegt. Für andere Stoffe (z. B. Medikamente, Hormone, natürliche Toxine) sind keine Anforderungen festgelegt.

Numerische Anforderungen
der GschV

1.2.2 Ökotoxikologische Beurteilung von Gewässerbelastungen

Um die in Gewässern gemessenen Konzentrationen von Stoffen in Bezug auf deren schädigende Auswirkungen auf Wasserorganismen beurteilen zu können, genügen die heutigen numerischen Anforderungen der GSchV nicht. Deshalb wurden für die Beurteilung durch das Schweizerische Zentrum für angewandte Ökotoxikologie (Oekotoxzentrum) wirkungsbasierte Einzelstoffanforderungen definiert. Die wirkungsbasierten Qualitätskriterien werden im Zusammenhang mit der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) in der Regel als Umweltqualitätskriterium (*engl.* Environmental Quality Standard, EQS) bezeichnet. Man unterscheidet chronische Qualitätskriterien (*engl.* Annual Average, AA-EQS) zur Beurteilung von Langzeitbelastungen und akute (*engl.* Maximum Allowable Concentration, MAC-EQS) zur Beurteilung von kurzfristigen (akuten) Spitzenbelastungen. Im Folgenden werden die EQS, wie in der Schweiz üblich, als ökotoxikologische Qualitätskriterien (QK) bezeichnet, die chronischen als CQK und die akuten als AQK.

Wirkungsbasierte,
ökotoxikologische
Qualitätskriterien

Das CQK ist als Schwellenwert zu betrachten bei dessen langfristiger Überschreitung im Gewässer mit negativen Auswirkungen auf Organismen zu rechnen ist. Wasserorganismen können jedoch auch bei einer kurzfristigen Exposition mit Schadstoffen, wie sie bei vorübergehenden Gewässerbelastungen auftreten, geschädigt werden. Das AQK ist als Schwellenwert zu betrachten, bei dessen kurzfristiger Überschreitung im Gewässer mit negativen Effekten auf Organismen zu rechnen ist.

Chronische und akute
Qualitätskriterien

Das Oekotoxzentrum hat in Zusammenarbeit mit externen Gutachtern QK-Vorschläge für eine Vielzahl von Mikroverunreinigungen erarbeitet, welche in Schweizer Gewässern von Bedeutung sein können (Götz et al. 2010; Junghans et al. 2011). Diese QK-Vorschläge werden im Internet publiziert (Oekotoxzentrum 2014). Wenn keine Quali-

Qualitätskriterien-Vorschläge
des Oekotoxzentrums

tätskriterien des Oekotoxizentrums vorlagen, wurden für die Auswertungen in diesem Bericht die Werte der EU-WRRL berücksichtigt (European Commission 2013). Alle verwendeten Qualitätskriterien werden in Strahm et al. (2014) aufgeführt.

Neben der Beurteilung von Einzelstoffen, beschäftigt sich das Oekotoxizentrum auch mit dem Effekt von Stoffmischungen, da deren Effekte in der Summe höher sein können als derjenige der Einzelstoffe (Junghans et al. 2013). Die Beurteilung dieser sogenannten Mischtoxizität ist jedoch weniger weit fortgeschritten als die Einzelstoffbeurteilung.

Mischtoxizität als zukünftige Herausforderung

1.2.3 Prioritäre Substanzen aus der Wasserrahmenrichtlinie

Im Gegensatz zur Schweizer Gesetzgebung sind in der EU-WRRL ökotoxikologisch basierte Qualitätskriterien für prioritäre Stoffe, welche für die europaweiten Gewässer das grösste Risiko darstellen, vorgesehen. Bereits im Jahr 2008 wurde eine Liste mit 33 prioritären Stoffen und deren Qualitätskriterien veröffentlicht (European Commission 2008). Im Jahr 2013 wurden zwölf zusätzliche Substanzen in die Liste aufgenommen (European Commission 2013). Nebst Werten für die Oberflächengewässer wurden für gewisse Stoffe auch Werte für die Biota (Stoffgehalt in Organismen) festgelegt.

Ökotoxikologische Qualitätskriterien für prioritäre Stoffe

Von den 45 prioritären Stoffen können rund die Hälfte aus diffusen Quellen stammen, unter anderem einige hochtoxische Insektizide sowie die ebenfalls problematischen Stoffe PFOS (Perfluoroktansulfonsäure und Derivate) und Benz(a)pyren als Stellvertreter der PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe).

1.2.4 Vorschläge für neue numerische Anforderungen in der Gewässerschutzverordnung

Für die Beurteilung der Wasserqualität in Bezug auf die Organismen werden für die gewässerrelevanten organischen Spurenstoffe ökotoxikologisch begründete numerische Anforderungen benötigt. Durch eine Änderung der Gewässerschutzverordnung soll die Grundlage für die Aufnahme ökotoxikologisch basierter numerischer Anforderungen in den Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung geschaffen werden. Der aktuelle Vorschlag sieht vor, dass die neuen numerischen Anforderungen nach einheitlichen Kriterien ermittelt werden, welche vergleichbar mit der Wasserrahmenrichtlinie der EU und unabhängig von unterschiedlichen Zulassungsverfahren, Verwendungszweck oder Herkunft der Stoffe sind.

Ökologisch basierte, neue numerische Anforderungen

1.3 Ziel des Berichtes

Ziel dieses Berichtes ist, die Belastung der Fließgewässer mit Mikroverunreinigungen aus diffusen Eintragspfaden zu beschreiben, das Ausmass der Verunreinigungen abzuschätzen und die für diffuse Einträge relevanten Quellen sowie die wichtigsten aus diesen Quellen freigesetzten Stoffgruppen zu identifizieren. Der Fokus liegt dabei auf der Wasserphase.

Fokus auf der Wasserphase

Ebenfalls grossen Einfluss haben diffus eingetragene Mikroverunreinigungen auf Grundwasser, Sedimente und Biota (Schadstoffgehalt in Organismen). Diese wurden in dieser Situationsanalyse jedoch nicht berücksichtigt. Dies würde, aufgrund der Komplexität und der Vielfalt der Stoffe, den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Die Quelle Industrie und Gewerbe, welche zum grössten Teil punktuell über eine ARA oder als Direkteinleitung mit oder ohne Vorbehandlung in die Gewässer einleitet, ist ebenfalls nicht Teil dieses Berichtes. Eine erste, grobe Analyse dieser Quelle findet sich im Bericht «Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe» (Braun und Gälli 2014). Eine umfassende Situationsanalyse der Einträge über ARA findet sich in den Berichten «Mikroverunreinigungen in den Gewässern» (Gälli et al. 2009) und «Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser» (Abegglen und Siegrist 2012).

Weitere Berichte im Auftrag des
BAFUs zum Thema Mikroverun-
reinigungen

2 > Charakterisierung diffuser Einträge von Mikroverunreinigungen

2.1 Überblick über die wichtigsten Quellen und Eintragspfade

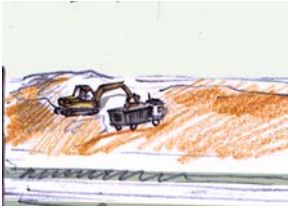

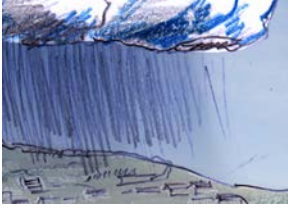
Für die relevantesten Quellen und Eintragspfade wurden von Fachexperten Datensammlungen erarbeitet, welche einen Überblick über die Art der Einträge, die wichtigsten Stoffe, die eingetragenen Frachten und die Gewässerrelevanz der betrachteten Stoff- und Quellenkombinationen geben. Einige Datensammlungen wurden zudem in Form von Fachartikeln publiziert. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die als relevant eingestufteten Quellen und Eintragspfade, sowie die weiterführende Literatur.

Datensammlungen von Experten

Einen Überblick über die wichtigsten Stoffe findet sich im Kapitel 2.2.

Tab. 1 > Datensammlungen und Fachartikel zu den verschiedenen Quellen und Eintragspfaden von Mikroverunreinigungen

Quelle	Eintragspfad	Literatur
	Abdrift, Oberflächenabfluss, Drainage, Abfluss von versiegelten Flächen, Direkteintrag in die Kanalisation	Fachartikel «Pestizidmessungen in Fließgewässern – Schweizweite Auswertung» (Munz et al. 2012). Fachartikel «Insektizide und Fungizide in Fließgewässern» (Moschet et al. 2015) Fachartikel «Mikroverunreinigungen aus Nutztierhaltung» (Götz 2012b). Datensammlung «Eintrag östrogenen Aktivität aus dem Hofdünger» (Schönborn 2012). Fachartikel «Natürliche Toxine» (Bucheli und Wettstein 2013). Technischer Bericht «Mengenabschätzung: Biozid-Produkte für die Hygiene im Veterinärbereich» (Kupper 2013).
	Mischwasserentlastungen und Regenwasserkanäle ARA (in dieser Situationsanalyse nicht behandelt)	Fachartikel «Diffuse Einträge aus Siedlungen» (Stauer und Ort 2012a) Technischer Bericht «Mengenabschätzung von Bioziden in Schutzmitteln in der Schweiz» (Burkhardt und Dietschwil 2013). Umweltwissen Publikation «Mikroverunreinigungen in den Gewässern» (Gälli et al. 2009)
	Strassenabwasser und Gleisabwasser	Datensammlung «Strassenverkehr» (Kammer 2012). Fachartikel «Auswirkungen von Strassenabwasser auf Oberflächengewässer» (Hürlimann et al. 2011). Fachartikel «Emissionen von Mikroverunreinigungen aus dem Bahnverkehr» (Braun et al. 2013).

Quelle	Eintragspfad	Literatur
Belastete Standorte 	Sickerwasser, Oberflächenabfluss	Datensammlung «Deponien und belastete Standorte» (Madliger und Niederer 2012).
Aktivitäten im und am Wasser 	direkter Eintrag	Datensammlung «Aktivitäten im und am Wasser» (BMG 2012). Technischer Bericht «Mengenabschätzung von Bioziden in Schutzmitteln in der Schweiz» (Burkhardt und Dietschwiler 2013).
Atmosphäre 	direkte Deposition auf Oberflächengewässer	Datensammlung «Atmosphärische Deposition» (Götz 2012a).

2.1.1 Landwirtschaft

Aus der Landwirtschaft gelangt eine Vielzahl von Spurenstoffen in die Oberflächengewässer. Wichtige Stoffgruppen sind Pflanzenschutzmittel, Biozide, Tierarzneimittel, Östrogene aus natürlichen Ausscheidungen, aber auch Schwermetalle sowie natürliche Toxine.

Die Stoffe können auf unterschiedlichen diffusen Eintragspfaden in die Gewässer gelangen:

- > **Abdrift:** Während der Applikation wird ein Teil der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel- oder Güllemenge durch den Wind verfrachtet und so direkt in Gewässer eingetragen oder auf Nicht-Zielflächen abgelagert.
- > **Oberflächenabfluss:** Sobald der Boden das Regenwasser nicht mehr aufnehmen kann, entsteht Oberflächenabfluss. Es werden zwei Prozesse unterschieden: Beim gesättigten Oberflächenabfluss steigt der Grundwasserspiegel bis an die Bodenoberfläche, Regenwasser kann nicht mehr infiltrieren und fließt oberflächlich weg. Beim ungesättigten Oberflächenabfluss übersteigt die Regenintensität die Infiltrationskapazität des Bodens, ohne dass tiefere Bodenschichten gesättigt sind. Das an der Bodenoberfläche schnell abfließende Wasser kann Stoffe vom landwirtschaftlichen Kulturland direkt oder via Kurzschluss in die Gewässer transportieren. Kurzschlüsse sind beispielsweise Schächte der Strassenentwässerung, aber auch Kontrollschächte des Drainagensystems. Oberflächenabfluss ist oft mit Erosion gekoppelt, was zu zusätzlichen Stoffeinträgen führen kann.



Eintragspfade

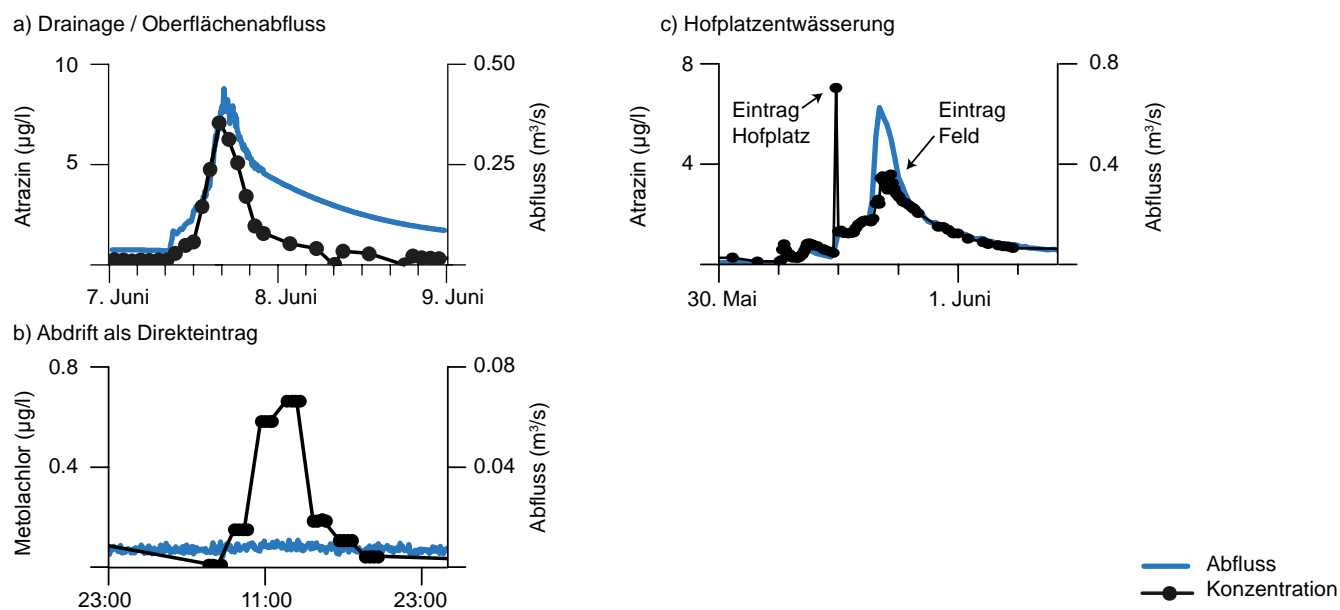
- > **Drainage:** Versickerndes Niederschlagswasser wird in Felddrainagen aufgefangen und in ein Gewässer abgeleitet. Für den Transport von Stoffen, die sich im Boden rasch abbauen (beispielsweise einige Pflanzenschutzmittel) ist vor allem die schnelle Versickerung durch die Grobporen (Makroporen) in die Drainagerohre relevant. Der Eintragspfad Grobporen/Drainage ist ein weiterer Kurzschluss für Oberflächenabfluss in die Gewässer.
- > **Regenabfluss von versiegelten Flächen:** Von versiegelten Flächen (Hofplätzen, Strassen oder Flurwegen) können Stoffe unmittelbar nach einsetzendem Regen in die Kanalisation transportiert werden. Auf versiegelte Flächen gelangen beispielsweise Pflanzenschutzmittel durch unsachgemäße Handhabung beim Füllen oder Reinigen der Spritz- und Sprühgeräte, durch Tropfverluste oder durch Abdrift.
- > **Direkteinleitung Kanalisation:** Ebenfalls unter unsachgemäße Handhabung fällt das Einleiten von Spül- und Reinigungswasser in die Kanalisation. Je nach Kanalisationssystem wird dieses verschmutzte Abwasser direkt in die Gewässer eingeleitet oder gelangt über eine ARA in die Gewässer (vgl. Siedlungsentwässerung).

Die Emissionen der Stoffe, die in die landwirtschaftlichen Kulturen ausgebracht werden, unterliegen einer starken Saisonalität. In der Regel sind die Gewässereinträge während den ersten Regenereignissen nach der Applikation am höchsten. Je nach Eintragspfad ergibt sich zudem ein typischer Konzentrationsverlauf im Fließgewässer (Abb. 2).

Typische Konzentrationsverläufe
im Fließgewässer

Abb. 2 > Eintragsdynamik von Mikroverunreinigungen aus landwirtschaftlichen Anwendungen

a) Die Konzentration des Pflanzenschutzmittels Atrazin steigt während des Regenereignisses mit dem Abfluss durch schnell abfließendes Wasser, welches Atrazin in das Oberflächengewässer schwemmt; b) Abdrift führt zu einem vom Abfluss unabhängigen Konzentrationspeak des Pflanzenschutzmittels Metolachlor; c) der Eintrag via Hofentwässerung führt zu einem kurzen Konzentrationspeak nach dem Einsatz des Regens (Atrazineintrag von der versiegelten Fläche) mit anschließendem Eintrag durch Drainage/Oberflächenabfluss.



Daten aus Leu et al. (2004b) (a und c) und Doppler et al. (2012) (b)

Von den Schweizer Agrarflächen werden im Vergleich zu grossen Teilen Europas höhere Anteile der angewendeten Stoffmenge durch Oberflächenabfluss und Drainage in die Gewässer eingetragen (Leu et al. 2010). Ein wichtiger Grund dafür sind die im Vergleich zu grossen Teilen Europas viel höheren Niederschlagsmengen in der Schweiz, kombiniert mit den hohen Niederschlagsintensitäten während der Applikationsperiode. Um das überschüssige Wasser, das vom Boden nicht aufgenommen werden kann, wegzuführen, wurden ein Drittel der Schweizer Fruchtfolgefläche drainiert (Beguin und Smola 2010) und viele Verkehrs Entwässerungen im engmaschigen Wegnetz im Kulturland installiert.

Oberflächenabfluss und Drainage als wichtige Eintragspfade

Im Folgenden werden die drei wichtigen Stoffgruppen Pflanzenschutzmittel, Stoffe aus der Nutztierhaltung und natürliche Toxine detailliert beschrieben.

2.1.1.1 Pflanzenschutzmittel

Die kritischste Stoffgruppe für Wasserlebewesen aus der Landwirtschaft ist gemäss dem heutigen Erkenntnisstand die Gruppe der Pflanzenschutzmittel. Diese werden in der Landwirtschaft eingesetzt, um das Wachstum der Pflanzen zu regeln (Wachstumsregulatoren) oder sie vor Unkräutern (Herbizide), Insekten- (Insektizide), oder Pilzbefall (Fungizide) zu schützen.

Pflanzenschutzmittel als kritischste Stoffgruppe

Das Ausmass des Gewässereintrages eines Pflanzenschutzmittels hängt von verschiedenen Faktoren ab:

Faktoren, die Gewässereintrag eines Pflanzenschutzmittels beeinflussen

- > eingesetzte Menge,
- > behandelte Kultur (Raumkulturen wie z. B. Obst oder Feldkulturen wie z. B. Getreide),
- > Untergrundbewuchs oder andere erosionsmindernde Massnahmen,
- > Applikationstechnologie (z. B. Einsatz von driftmindernden Geräten),
- > Vegetationsstand der Kultur,
- > Bodenparameter,
- > Topographie,
- > chemische Eigenschaften des Stoffes (Sorptionsverhalten, Abbau im Boden),
- > landwirtschaftliche Praxis des Bauern (Einhaltung der guten landwirtschaftlichen Praxis, korrekter Umgang mit Pflanzenschutzmitteln auf dem Hofplatz),
- > Wetterbedingungen vor und nach der Applikation.

Generell gelangt nur ein kleiner Prozentsatz der ausgebrachten Menge in die Oberflächengewässer. Die Verlustrate des Herbizids Atrazin schwankte beispielsweise zwischen 0,2 und 3,5 % von Ackerflächen in kleinen Einzugsgebieten (Stamm et al. 2012a).

Kleiner Anteil der Pflanzenschutzmittel gelangt ins Gewässer

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft trägt jedoch massgeblich dazu bei, dass eine Vielzahl von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in Schweizer Fliessgewässern häufig über der numerischen Anforderung der GSchV von 0,1 µg/l vorkommt (Munz et al. 2012; Ochsenbein et al. 2015). Zudem werden viele Wirkstoffe in Konzentrationsbereichen nachgewiesen, in welchen Effekte auf Wasserlebewesen nicht mehr ausgeschlossen werden können (AWEL 2012; Ochsenbein et al. 2012; Ochsenbein et al. 2005; Wittmer et al. 2014b). Die höchsten Pflanzenschutzmittelkonzentra-

Konzentration verbreitet über den Anforderungen der GSchV

tionen werden in kleinen Fließgewässern (Flussordnungszahl 1 und 2, siehe Abb. 11) nachgewiesen. Einige Pflanzenschutzmittelwirkstoffe sind nicht nur in der Landwirtschaft zugelassen, sondern auch als Biozide in der Siedlung. Diese doppelt zugelassenen Wirkstoffe, inklusive der reinen Biozide, scheinen aber deutlich weniger gewässerrelevant zu sein als die reinen Pflanzenschutzmittel (Wittmer et al. 2014b).

Die Pestizidverunreinigungen (Pflanzenschutzmittel und Biozide) werden als ein wichtiger Einflussfaktor für die verbreitet aufgezeigten Defizite der Artenvielfalt in Fließgewässern verantwortlich gemacht: Im Kanton Zürich, beispielsweise, wurde gemäss den kantonalen Behörden die Kleintierfauna an 43 % der 155 untersuchten Probenahmestellen durch Pestizide mässig bis sehr stark beeinflusst (AWEL 2012). Im Kanton Bern wurde ebenfalls in stark mit Pestiziden verunreinigten Fließgewässern eine Beeinträchtigung der Artenvielfalt an wirbellosen Kleinlebewesen beobachtet. In Bächen und Flüssen, die Gebiete mit geringem Ackeranteil entwässern, wurden deutlich mehr Arten gefunden, die empfindlich auf Pestizide reagieren (Ochsenbein et al. 2012). Diese einzelnen Befunde werden auch durch eine Auswertung aller schweizweit verfügbaren Untersuchungen des Makrozoobenthos bestätigt. Diese zeigte beispielsweise, dass mit einem grösseren Anteil Ackerland im Einzugsgebiet die Wahrscheinlichkeit eines schlechten Makrozoobenthoszustand steigt (Leib 2015).

Defizite der Artenvielfalt in Gewässern durch Pestizide

2.1.1.2 Stoffe aus der Nutztierhaltung

Durch unterschiedlichste Anwendungen im Bereich der Tiergesundheit, Hygiene im Veterinärbereich, Futtermittel und durch natürliche Ausscheidungen gelangen verschiedene Stoffe wie beispielsweise Tierarzneimittel, Biozide, Schwermetalle und natürliche Hormone in den Hofdünger, welcher von Frühjahr bis Herbst, teilweise aber auch im Winter, auf Ackerland und Grasland ausgetragen wird. Aus der applizierten Gülle können diese Stoffe analog zu den Pflanzenschutzmitteln während Regenereignissen mobilisiert und in die Gewässer transportiert werden. Einzelne Literaturquellen und Messdaten in Oberflächengewässern weisen darauf hin, dass Transferraten vom Boden in Oberflächengewässer von Tierarzneimitteln und anderen Stoffen aus dem Hofdünger in einem ähnlichen Bereich liegen wie die von Pflanzenschutzmitteln (Burkhardt et al. 2005; Stoob et al. 2007). Einfache Modellabschätzungen deuten darauf hin, dass in kleinen Fließgewässern in landwirtschaftlichen Einzugsgebieten Tierarzneimittel, einzelne Biozide, Kupfer, Zink und natürliche Hormone kurzfristig in Konzentrationen auftreten können, für die nachteilige Effekte auf Wasserlebewesen nicht ausgeschlossen werden können (Götz 2012b).

Tierarzneimittel, Biozide, Schwermetalle und Hormone durch Gülle auf Ackerland

Für die Nutztierhaltung sind in der Schweiz 82 Biozidwirkstoffe für die Hygiene im Veterinärbereich oder als Desinfektionsmittel für den Lebens- und Futtermittelbereich zugelassen und in minimum einem Produkt registriert (siehe dazu auch Kap. 2.2 und Tab. 3). Schätzungen ergeben, dass ca. 900–1000 t Wirkstoffe pro Jahr für die Hygiene im Veterinärbereich sowie zur Reinigung und Desinfektion von Melkanlagen eingesetzt werden (Kupper 2013). Viele der eingesetzten Wirkstoffe sind jedoch schnell abbaubar und daher für Oberflächengewässer nicht relevant (z. B. Wasserstoffperoxid oder Ameisensäure). Zu den potenziell umweltrelevanten Wirkstoffen zählen quaternäre Ammoniumverbindungen (QAV) und Natriumdichlorisocyanurat, deren Anwendungsmengen in der Schweiz auf 26–39 t/a geschätzt werden (Kupper 2013). Sie

Wirkstoffe für die Hygiene, zur Reinigung und Desinfektion

werden im Hofdünger kaum abgebaut und können theoretisch über den Gülleaustrag in Oberflächengewässer gelangen. Bis jetzt wurde dies aber noch in keiner Studie untersucht.

Die Schwermetalle Zink, Kupfer, Blei, Mangan und Eisen kommen einerseits natürlicherweise oder als Verunreinigung in Futtermitteln vor und werden andererseits zur Vorbeugung von Mangelerscheinungen dem Mineralfutter zugesetzt. Aus mittleren Gehalten verschiedener Hofdünger lässt sich die Tonnage der einzelnen Schwermetalle abschätzen, die mit der Gülle ausgebracht werden. (siehe dazu auch Kap. 2.2 und Tab. 3). Grobe Abschätzungen sowie auch Messwerte aus dem Kanton Schaffhausen (siehe Kapitel 4.3.2) zeigen, dass Kupfer- und Zinkkonzentrationen in kleinen Fließgewässern während Regenereignissen über den Anforderungen der GSchV liegen können (Götz 2012b). Schätzungen zu Folge stammen 0.5 % bis 20 % des Kupfers und 1.5 % bis 30 % des Zinks der totalen Fracht im Rhein aus der Nutztierhaltung (Hürdler et al. 2015; Götz 2012b). Diese Grössenordnungen entsprechen den Abschätzungen der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR 2003).

Grosse Mengen an Schwermetallen werden eingesetzt

Die Nutztiere in der Schweiz scheiden rund fünf bis zehnmal mehr natürliche Hormone aus als die Schweizer Bevölkerung. Bei starken Regenfällen nach dem Ausbringen von Hofdünger werden daher Östrogene in die Gewässer eingetragen. In einer schweizer Studie wurde im Drainagewasser eine Hormonaktivität (in Östradiol-Äquivalenten, EEQ) von bis zu 20 ng EEQ/L gemessen (Schönborn 2012). Bei geringer Verdünnung würden die Konzentrationen kurzzeitig also über dem Langzeitqualitätskriterium von 4 ng EEQ/L liegen (siehe Oekotoxzentrum 2014 für Qualitätskriterien). Wie sich diese kurzzeitigen Spitzenkonzentrationen auf die Flora und Fauna der Kleingewässer auswirken, ist jedoch nicht bekannt. Die durchschnittliche Konzentration von Östradiol in den ARA-Ausläufen liegt bei 3 ng/l (Abegglen und Siegrist 2012). Aufgrund der sehr tiefen Konzentrationen im Rhein, können keine Stoffbilanzierungen für die Schweiz aufgestellt werden (Götz 2012b). Für Grossbritannien wurde jedoch abgeschätzt, dass natürliche Hormone aus der Nutztierhaltung ca. 15 % zur gesamten Östrogenfracht beitragen (Johnson et al. 2006).

Auswirkung der natürlichen Hormone schwer abschätzbar

Aus der Gruppe der Tierarzneimittel haben die Antibiotika und die Antiparasitika das höchste Potenzial, Wasserlebewesen in den Fließgewässern zu beeinträchtigen. Mengemässig werden mehr Antibiotika als Antiparasitika eingesetzt. Verwendet werden Antibiotika hauptsächlich in Mastbetrieben. Von den in der Nutztierhaltung eingesetzten Antibiotika sind die Sulfonamide unter Berücksichtigung von Verbrauch und Stoffeigenschaften wahrscheinlich die für die Gewässer potenziell kritischsten Stoffe. Einzelne Messungen in Fließgewässern und detaillierte Feldstudien geben klare Hinweise, dass diese Stoffe nur in Kleinstgewässern in Regionen mit hohem Einsatz von Antibiotika in ökotoxikologisch bedenklichen Konzentrationen auftreten (Stoob et al. 2007).

Antibiotika und Antiparasitika

Aufgrund von Rückhalt und Abbau der Stoffe auf dem indirekten Eintragspfad über Hofdünger und Boden machen Stoffe aus der Nutztierhaltung, mit Ausnahme von einzelnen Schwermetallen, trotz der teilweise hohen Einsatzmengen, höchstwahrscheinlich nur einen kleinen Anteil der gesamten Stofffracht aus. Ebenfalls scheinen die Stoffe aus der Nutztierhaltung für Gewässerorganismen weniger kritisch zu sein als

Stoffe aus Nutztierhaltung weniger kritisch als Pflanzenschutzmittel

die Pflanzenschutzmittel. Insbesondere bei natürlichen Hormonen bestehen jedoch grosse Unsicherheiten.

2.1.1.3 Natürliche Toxine

Die Natur produziert eine Vielzahl von Giften, die gemäss ihrer Herkunft in Bakterien-, Myko (Schimmelpilz)-, Phyco (Algen)-, Phyto (Pflanzen)- und Zootoxine eingeteilt werden. Aus dem landwirtschaftlichen Grün- und Kulturland können deshalb eine Vielzahl von natürlichen Mikroverunreinigungen in die Gewässer ausgewaschen werden. Dabei handelt es sich keineswegs nur um harmlose Stoffe. So können Mykotoxine beispielsweise hormonell aktiv wirken.

Untersuchungen haben gezeigt, dass natürliche Toxine auf landwirtschaftlichem Kulturland in Mengen entstehen können, die mit applizierten Mengen an Pflanzenschutzmitteln vergleichbar sind (ca. 50 bis 1000 g/ha pro Saison). Allerdings gelangt nur ein kleiner Teil dieser Stoffe (wiederum vergleichbar mit der Situation bei Pflanzenschutzmitteln) in die Gewässer (Bucheli und Wettstein 2013).

Die Auswirkungen von natürlichen Toxinen auf Wasserorganismen im überwiegend tiefen ng/l Bereich sind gegenwärtig schwer abschätzbar, da entsprechende ökotoxikologische Studien weitgehend fehlen. Generell ist anzunehmen, dass die Auswirkungen im Vergleich zu natürlichen Hormonen, die aus der Nutztierhaltung stammen, geringer sind, da ihre östrogene Potenz tendenziell geringer ist. Untersuchungen dazu liegen lediglich für wenige Stoffe vor. Von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) wurden in den letzten Jahren das östrogene Isoflavon (Phytotoxin aus Rotklee) und das Mykotoxin Zearalenon intensiv untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass allenfalls sehr lokal Probleme auftreten könnten wie beispielsweise im Falle von intensivem Fusarien-Befall oder von Grasland mit hohem Anteil an Rotklee (Bucheli und Wettstein 2013).

2.1.2 Siedlung

Das in Siedlungen anfallende Wasser – Abwasser aus Haushalten, Gewerbe und Industrie sowie Niederschlagswasser – muss wieder aus den Siedlungen abtransportiert werden. Die Fassung und Ableitung erfolgt in Misch- oder Trennkanalisationen. Als unverschmutzt eingestuftes Abwasser (z. B. von Dächern) muss laut GSchG wo möglich, versickert werden. Verschmutztes Abwasser und somit Mikroverunreinigungen können ohne Behandlung in der ARA direkt via diffuse Eintragspfade in die Oberflächengewässer gelangen:

Mischwasserentlastungen: Rund 70 % der öffentlichen Kanalisation in der Schweiz haben ein Mischwassersystem (Maurer et al. 2012). Im Mischwassersystem leitet die Kanalisation neben dem Abwasser aus Haushalten, Industrie und Gewerbe im gleichen Leitungsnetz zusätzlich nicht versickertes Regenwasser von befestigten Flächen ab (z. B. Dachwasser, Strassenabwasser). Bei sehr grossen Regenmengen sind die ARA und die Kanäle überlastet und das Mischwasser, d. h. Regenabfluss und ungereinigtes Abwasser, wird zunächst in Regenüberlaufbecken zwischengespeichert, und wenn diese gefüllt sind, direkt in die Oberflächengewässer geleitet (Abb. 3). Schätzungen zu-

Durch die Natur produzierte Gifte

Grosse Mengen aber geringer
Gewässereintrag

Auswirkungen auf Gewässer
kaum bekannt

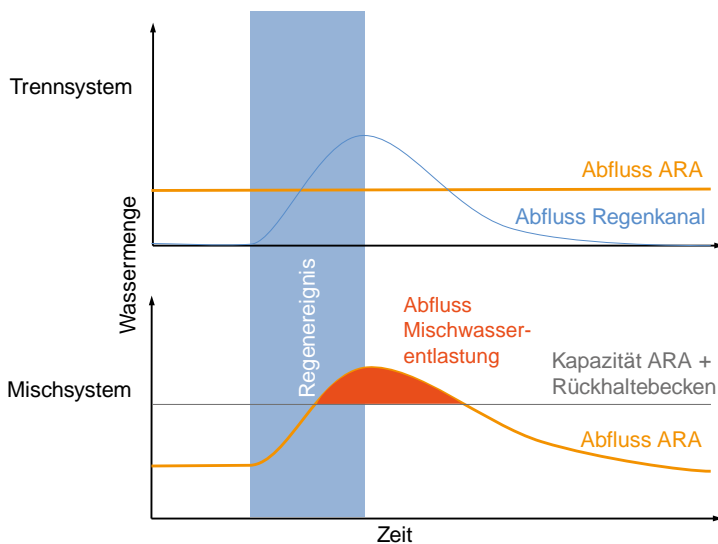


Mischwasserentlastungen bei
grossen Regenmengen

folge gelangen so schweizweit rund 3,5 % des ungereinigten häuslichen Abwassers und ca. 33 % des Regenabflusses im Siedlungsgebiet über Mischwasserentlastungen direkt in die Gewässer (Stauer und Ort 2012a). Über Mischwasser kann somit auch in Fließstrecken ohne ARA-Einleitung häusliches Abwasser eingetragen werden (Wittmer et al. 2010).

Abb. 3 > Schematischer Verlauf der Fließverhältnisse bei Trenn- bzw. Mischwasserkanalisationssystemen

Oben: Im Trennsystem nimmt während und nach einem Regenereignis die zur ARA geleitete Abwassermenge (häusliches Abwasser) nicht zu und der Abfluss aus der ARA bleibt konstant. Der Regenabfluss (diffuser Eintragspfad) wird separat gefasst und ohne Rückhalt direkt eingeleitet. Unten: Im Mischkanalisationssystem nimmt die Schmutzwassermenge während des Regenereignisses zu und damit auch die zu behandelnde Abwassermenge. Übersteigt diese die Kapazität der ARA und der Rückhaltebecken, kommt es zur Entlastung (diffuser Eintragspfad) von verdünntem, ungereinigtem Abwasser und ungereinigtem Regenabfluss.



Regenwasserkanäle: Bei der Entwässerung im Trennsystem sind zwei Kanalisationsnetze vorhanden: Eines für das verschmutzte Abwasser aus Haushalten, Industrie und Gewerbe das zur ARA führt, und eines für den als unverschmutzt eingestuft den Regenabfluss (Abb. 3). Der Regenabfluss wird direkt in ein Oberflächengewässer geleitet oder ins Grundwasser versickert. Im Siedlungsgebiet stammt der Regenabfluss beispielsweise aus der Strassenentwässerung, von Dächern oder von Grünflächen. Das Trennsystem weist deutlich mehr Einleitstellen in Fließgewässern auf als das Mischsystem.

Regenabfluss direkt ins Gewässer durch Regenwasserkanäle

Durch Mischwasserentlastungen und Regenwasserkanäle werden zum Teil unterschiedliche Stoffgruppen transportiert. Im häuslichen Abwasser, das nur im Mischwasser enthalten ist, finden sich zum Beispiel Haushaltschemikalien, Arzneimittelwirkstoffe und hormonaktive Substanzen. Im Regenabfluss von Strassen, Dächern, Fassaden und Grünflächen, finden sich in erster Linie Stoffe aus dem Verkehr, dem Materialschutz (z. B. Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle, Biozide) sowie Pflanzenschutzmittel aus Hausgärten, Grünflächen, Böschungen und teilweise aus unerlaubten Anwendungen auf befestigten Flächen (Gerecke et al. 2002; Krebs et al. 2008; Mahler und Moschet

Stoffgruppen aus der Siedlung

2008; Wittwer und Gubser 2010). Im Vergleich zu den in der Landwirtschaft eingesetzten Pflanzenschutzmitteln sind die Verlustraten von den im Siedlungsgebiet eingesetzten Pflanzenschutzmitteln und Bioziden höher. So wurden für einzelne Pflanzenschutzmittel bis zu zehnfach höhere Verlustraten aus dem Siedlungsgebiet quantifiziert (Blanchoud et al. 2004; Blanchoud et al. 2007; Wittmer et al. 2011).

Die Eintragsdynamik von Mikroverunreinigungen aus Siedlungen wird nicht nur von hydrologischen Faktoren (Abb. 3), sondern auch von Schadstoffdepots und deren Mobilisierung im Einzugsgebiet beeinflusst. Generell finden sich auf Strassen und Plätzen, aber auch auf Gebäudehüllen und Grünflächen Schadstoffdepots (Abrieb aus dem Verkehr, deponierte Luftschadstoffe, Pflanzenschutzmittel, Biozide etc.), die je nach Quelle am Anfang, aber auch im Verlauf eines Regenereignisses, ausgewaschen werden können.

Regengetriebene Mobilisierung von Schadstoffdepots

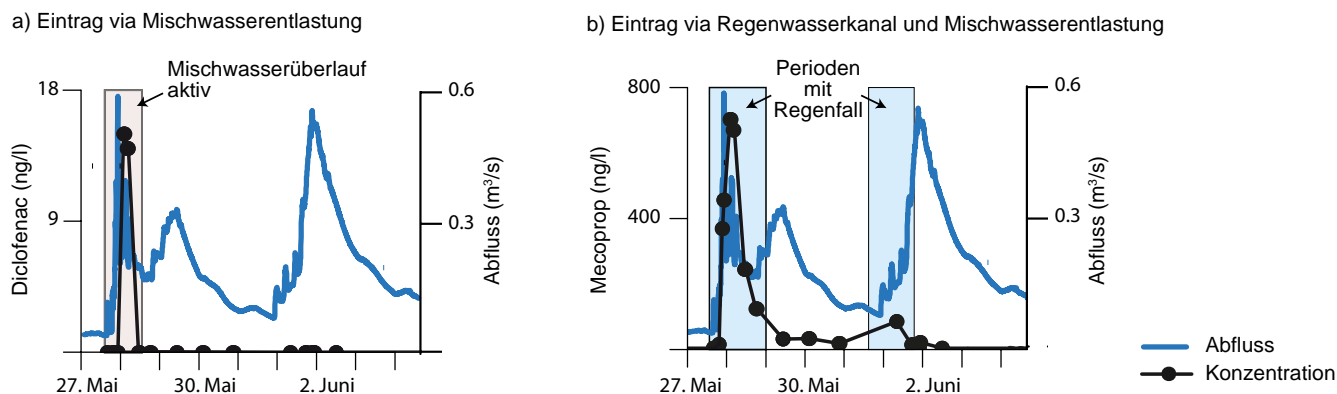
Teilweise zeigen Stoffe neben der regenereignisabhängigen Dynamik eine Saisonalität: Pflanzenschutzmittel im Hausgarten und auf Grünflächen werden auch im Siedlungsbereich vor allem in der Vegetationsperiode im Frühling und Sommer ausgebracht, hingegen enthält häusliches Abwasser konsumbedingt im Winterhalbjahr beispielsweise deutlich mehr Antibiotikarückstände als im Sommer.

Saisonale Eintragsdynamik

In Abbildung 4 sind Verunreinigungen in einem Fließgewässer dargestellt, die durch Stoffeinträge durch die beiden oben erwähnten diffusen Eintragspfade verursacht wurden. Beide Einträge führen im Fließgewässer zu ausgeprägten, zeitlich begrenzten Konzentrationsspitzen.

Abb. 4 > Konzentrationen von zwei Mikroverunreinigungen in einem Fließgewässer ohne ARA im Einzugsgebiet, verursacht durch zwei Regenereignisse

a) Die Mischwasserentlastung ist während dem ersten Regenereignis (Abflusspeaks am 28. Mai) aktiv, wodurch Diclofenac (Schmerzmittel, das weit verbreitet im häuslichen Abwasser vorkommt) ins Gewässer eingetragen wird; b) Mecoprop (Biozid, das unter anderem im Materialschutz für Fassaden und Flachdächer eingesetzt wird) wird während dem ersten Regenereignis über die Mischwasserentlastungen und den Regenwasserkanal und während dem zweiten Regenereignis (Abflusspeak am 2. Juni) nur über den Regenwasserkanal eingetragen. Die Mischwasserentlastung ist im zweiten Ereignis nicht aktiv.



Daten aus Wittmer et al. (2010)

Von den Stoffeinträgen durch die beiden diffusen Eintragspfade sind die kleinen und mittleren Fließgewässer aufgrund des geringen Verdünnungspotenzials am stärksten betroffen. Einfache Worst-Case-Modellabschätzungen und verschiedene Messkampagnen der Eawag zeigen, dass über diffuse Eintragspfade kurzzeitig hohe Frachten an Mikroverunreinigungen in die Gewässer eingeleitet werden. Diese Einträge können in den Fließgewässern zu Überschreitungen der numerischen Anforderungen der GSchV führen und auch Beeinträchtigungen von Wasserlebewesen durch diese Einträge können nicht ausgeschlossen werden (Burkhardt et al. 2011; Chèvre et al. 2011; Stauer und Ort 2012a; Stauer und Ort 2012b).

Für Stoffe aus dem häuslichen Abwasser, wie beispielsweise Arzneimittel, führen Einträge über Mischwasserentlastungen allerdings nur in sehr spezifischen Situationen zu einer ökotoxikologischen Beeinträchtigung der Wasserqualität (z. B. bei sehr toxischen Stoffen oder wenn die Stoffe in kleine Gewässer gelangen). Relevanter sind vermutlich im Regenabfluss enthaltene Stoffe, insbesondere Pestizide und Schwermetalle die über Regenwasserkanäle direkt in die Fließgewässern gelangen. Untersuchungen der Eawag und des AWA Kanton Bern zeigen beispielsweise, dass diffuse Pestizeinträge aus der Siedlung zu für Wasserlebewesen kritischen Konzentrationen führen können (Ochsenbein et al. 2012; Stamm et al. 2012b; Wittmer et al. 2010).

2.1.3 Verkehr

2.1.3.1 Strassenabwasser

Aus topographischen Gründen befinden sich Strassen oft in der Nähe eines Gewässers. Entwässert werden sie zu einem beträchtlichen Teil durch Direkteinleitung in Oberflächengewässer oder durch Versickerung über die Schulter. Der motorisierte Strassenverkehr erzeugt beim normalen Fahrbetrieb eine Vielzahl von Schadstoffen, die nicht nur die Luft, sondern auch die Strassenoberflächen und deren Umgebung belasten und bei Niederschlägen abgeschwemmt werden können. Die Emissionen stammen aus Abrieb von Bremsen und Reifen, aus Korrosions- und Auswaschprozessen sowie aus Abgasen und Tropfverlusten. Strassenabwasser kann deshalb mit ungelösten Stoffen (GUS), Schwermetallen und organischen Stoffen wie aliphatische und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Benzinzusatzstoffe (MTBE, ETBE), je nach Situation aber auch mit Pflanzenschutzmittel, belastet sein. Zusätzlich kann das Strassenabwasser während der Wintermonate erhöhte Natriumchlorid-Konzentrationen aufgrund der Strassensalzung aufweisen (Hürlimann et al. 2011; Kammer 2012).

Abbildung 5 zeigt die Verunreinigung durch Schadstoffe (hier: Zink) eines kleinen Baches verursacht durch Einleitung von Strassenabwasser. Während niederschlagsfreien Zeiten akkumulieren die Schadstoffe auf der Strasse und werden erst mit einsetzendem Niederschlag mobilisiert. Aufgrund der raschen Abschwemmung des Schadstoffdepots auf der Strassenfläche gelangt meist gleich zu Beginn eines Ereignisses das gesamte akkumulierte Schadstoffdepot in das Fließgewässer (First-Flush-Phänomen).

Kleine und mittlere Fließgewässer am stärksten betroffen

Pestizide und Schwermetalle relevanter als Arzneimittel

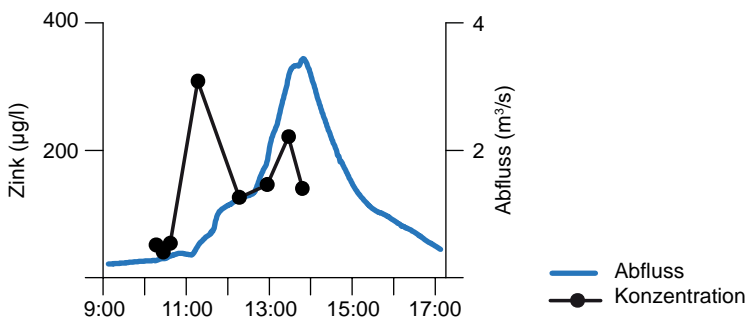


Vielzahl von Stoffen in Strassenabwasser

Eintrag durch Regenereignisse

Abb. 5 > Zink-Konzentration in einem kleinen Fließgewässer verursacht durch Einleitung von Strassenabwasser

Das zur Abschwemmung zur Verfügung stehende Lager wird schon am Anfang des Regenereignisses abgetragen, wodurch die Zink-Konzentrationen im Gewässer das Maximum Stunden vor dem Abflussmaximum des Gewässers erreichen. Die Zink-Konzentration übersteigt dabei während einer kurzen Zeitspanne die Anforderungen der GSchV (5 µg/l) deutlich.



Daten aus Ochsenbein et al. (2008)

Worst-Case-Abschätzungen für Strassenabwasser haben ergeben, dass nach einem stärkeren Regenereignis sämtliche untersuchten Schwermetalle während eines kurzen Zeitintervalls deutlich über den ökotoxikologischen Qualitätskriterien und den numerischen Anforderungen der GSchV liegen (Kammer 2012). Effekte auf Wasserlebewesen durch die Einleitung des Strassenabwassers ins Fließgewässer können also nicht ausgeschlossen werden. Dabei sind die lokalen Verhältnisse massgebend: Fläche des entwässerten Verkehrswegs, Verkehrsdichte, Vorhandensein einer Behandlungsanlage sowie die Verdünnung des Abwassers im Vorfluter.

Strassenabwasser mit hohen Schwermetallkonzentrationen

Die berechneten Worst-Case-Konzentrationen im Rhein sind jedoch für sämtliche Stoffe deutlich unter der numerischen Anforderung der GSchV. Die Frachten aus dem Strassenabwasser machen aber, je nach Stoff, bis zu einem Drittel der jeweiligen Schadstofffracht im Rhein aus (ca. 30 % des Zinks, 10 % des Bleis und 8 % des Kupfers) (Kammer 2012).

Konzentrationen im Rhein

2.1.3.2 Gleisabwasser

Über weite Strecken des bestehenden Schienennetzes versickert das auf den Gleisen anfallende Niederschlagswasser direkt. Teile der Strecken des schweizerischen Bahnnetzes verlaufen neben Oberflächengewässern und werden direkt in diese entwässert. Verschiedene Stoffe gelangen so mit dem Niederschlagswasser in die Gewässer. Ähnliche Emissionen entstehen im städtischen Gebiet durch den Betrieb von Strassenbahnen. Diese Emissionen werden jedoch mehrheitlich mit der Siedlungsentwässerung in Oberflächengewässer geleitet.

Gleisabwasser versickert oder entwässert in Oberflächengewässer

Ein Grossteil der durch die Eisenbahn anfallenden Emissionen entsteht durch Abrieb von Bremsen, Fahrleitungsdraht und Stromabnehmer sowie zwischen Rad und Schiene. Schwermetalle machen den Hauptteil der durch den Abrieb entstandenen Emissionen aus und liegen grösstenteils partikulär vor. Der Schmiermitteleinsatz an Weichen, Emissionen aus mit Teeröl imprägnierten Holzschwellen und der heute stark eingeschränkte Einsatz von Spurkranzöl sind die Ursachen von kohlenwasserstoffhaltigen Emissionen (z. B. PAK) im Bahnbetrieb (Braun et al. 2013).

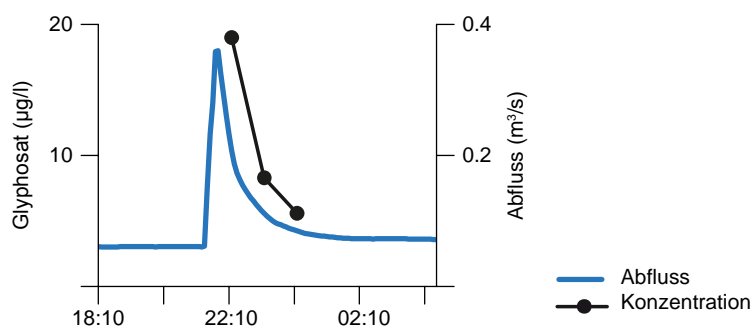
Schwermetalle und
Kohlenwasserstoffe

Für das auf Gleisanlagen eingesetzte Herbizid Glyphosat konnte in einem Fliessgewässer unterhalb der Einleitung von Gleisabwasser exemplarisch gezeigt werden, dass dessen Konzentration im Gewässer zu Beginn des ersten Regenereignisses nach der Applikation am höchsten ist und dann rasch abnimmt (Abb. 6). Bei späteren Regenereignissen zeigt die Konzentration im Fliessgewässer einen ähnlichen Verlauf mit geringerer absoluter Konzentration (Daten nicht gezeigt).

Eintrag durch Regenereignisse

Abb. 6 > Verlauf der Glyphosatkonzentration

Die Glyphosatkonzentration im Fliessgewässer unterhalb einer Einleitstelle von Gleisabwasser folgt beim ersten Regenereignis nach der Ausbringung dem Verlauf des Abflusses.



Daten aus Braun und Gälli (2011)

Worst-Case-Abschätzungen zeigen, dass für kleine Fliessgewässer eine Gefährdung durch das Herbizid Glyphosat und dessen Abbauprodukt AMPA sowie durch die Schwermetalle Chrom, Kupfer und Zink nicht ausgeschlossen werden kann. Eine abschliessende Beurteilung der ökotoxikologischen Auswirkungen der Einleitung von Gleisabwasser in kleine Fliessgewässer ist jedoch nicht möglich, da die Belastungsspitzen kurzfristig und bisher nicht charakterisiert sind und teilweise die ökotoxikologischen Beurteilungskriterien fehlen (Braun et al. 2013).

Gefährdung durch Herbizide
und Schwermetalle nicht
auszuschliessen

Im Vergleich mit Strassenabwasser liegen die im Gleisabwasser gemessenen Konzentrationen für alle Stoffe jedoch deutlich tiefer (Braun et al. 2013). Gemäss Worst-Case-Abschätzungen stammt ungefähr 1% der Zinkfracht im Rhein bei Basel aus dem Bahnverkehr.

Geringere Gefährdung als durch
Strassenabwasser

2.1.4 Belastete Standorte

In der Altlastenverordnung werden belastete Standorte als Orte definiert, deren Belastung von Abfällen stammt und die eine beschränkte Ausdehnung aufweisen. Sie umfassen I) Ablagerungsstandorte (stillgelegte oder noch in Betrieb stehende Deponien und andere Abfallablagerungen), II) Betriebsstandorte (Standorte, deren Belastung von stillgelegten oder noch in Betrieb stehenden Anlagen oder Betrieben stammt, in denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist bzw. umgegangen wird) und III) Unfallstandorte: Standorte, die wegen ausserordentlicher Ereignisse, einschliesslich Betriebsstörungen, belastet sind (AltV 1998).

In der Datensammlung «Deponien und belastete Standorte» (Madliger und Niederer 2012) wurden Ablagerungsstandorte und Betriebsstandorte aus den Kataster der belasteten Standorte der Schweiz (BAFU 2013c) ausgewertet, die weniger als 40 m von einem Oberflächengewässer entfernt liegen. Gemäss dem Kataster sind dies über 6000 Standorte.

Der Eintrag von Mikroverunreinigungen aus belasteten Standorten in Oberflächengewässer kann über die folgenden Pfade erfolgen:

- > durch Einleitung von gefasstem (Deponie-) Sickerwasser,
- > durch Eintrag aus (Deponie-) Sickerwasser via Exfiltration von Grundwasser in Oberflächengewässer,
- > durch Oberflächenabfluss,
- > durch Erosion, bei der belastetes Material direkt in ein Oberflächengewässer eingetragen wird.

Der Haupteintragspfad von Stoffen aus Deponien und belasteten Standorten in Oberflächengewässer ist das Sickerwasser, wodurch die Dynamik vor allem durch die Dauer des Sickerungsprozesses geprägt ist. Dies kann in ungünstigen Fällen dazu führen, dass der Abfluss im Oberflächengewässer nach Ende des Regenereignisses bereits wieder zurückgegangen ist, bevor das Abflussmaximum des belasteten Sickerwassers auftritt.

Jahresfrachten von Mikroverunreinigungen wurden aus Literaturdaten von Sickerwasserkonzentrationen von Deponien und von belasteten Standorten abgeschätzt. Aufgrund der Vielzahl von Stoffen und der zum Teil unbekanntem und sehr langen Geschichte von Deponien und Betriebsstandorten ist eine abschliessende Erfassung aller potenziellen Mikroverunreinigungen jedoch nicht möglich. Zudem wurden und werden in Sickerwässern von Deponien, abgesehen von Schwermetallen sowie von ausgewählten organischen Verbindungen wie PAK, PCB und Bisphenol A, nur selten Mikroverunreinigungen analysiert, so dass die Datenbasis beschränkt ist (Madliger und Niederer 2012).



Definition belastete Standorte

6000 Standorte nahe bei
Oberflächengewässer

Eintragspfade

Sickerwasser als Haupteintrag

Vielzahl von Stoffen

Die Literaturanalyse zeigt, dass der grösste Anteil an der potenziell in das Gewässer gelangenden Fracht von in Betrieb stehenden Deponien stammt, da der Sickerwasseranfall von abgeschlossenen und abgedichtenden Deponien stark reduziert wird. Bei nicht ausreichender Abdichtung bzw. schadhaft gewordener Abdichtung können aber auch Deponieinhaltsstoffe aus stillgelegten Deponien in Gewässer gelangen. Beispielsweise wurde im Jahr 2007 PCB in Fischen aus der Saane unterhalb der seit 1973 stillgelegten Deponie «La Pila» nachgewiesen. Die Konzentration betrug dort ca. das zwölfwache des von der WHO festgelegten Höchstwertes von 8 ng WHO-TEQ/kg Frischgewicht (Schmid et al. 2010).

Grösster Anteil aus im Betrieb stehenden Deponien

Abschätzungen für kleine Gewässer liefern auf der Grundlage der hergeleiteten Jahresfrachten teilweise deutliche Überschreitungen der ökotoxikologischen Qualitätskriterien. Dies ist für die abgeschätzten Konzentrationen der Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Quecksilber und Zink in einem Fließgewässer mit einem Abfluss von 20 l/s der Fall. Von den organischen Mikroverunreinigungen überschreiten in diesen Abschätzungen Bisphenol A, das Flammschutzmittel BDE 47, PAK, Tributyl-Zinn und Mecoprop das ökotoxikologische Qualitätskriterium. Die meisten Überschreitungen wurden für Reaktorstoffdeponien (Schwermetalle, Bisphenol A, PAK) und für belastete Betriebsstandorte (BDE 47, PAK, Tributyl-Zinn und Mecoprop) abgeschätzt (Madliger und Niederer 2012).

Überschreitungen der Qualitätskriterien in kleinen Fließgewässern

Der Anteil der Schwermetalle aus Deponien und belasteten Standorten an der Gesamtfracht im Rhein liegt den Schätzungen zufolge im tiefen Prozentbereich. Beispielsweise liegt der Arsenanteil aus Deponien und belasteten Standorten an der Gesamtfracht bei 0,3 % und der Quecksilberanteil bei 3,1 %. Dies entspricht einer Jahresfracht von 150 kg Arsen und 7,7 kg Quecksilber. Der Anteil der Belastung durch bekannte organische Mikroverunreinigungen liegt – mit Ausnahme von Bisphenol A und Nonylphenol – noch wesentlich tiefer (Madliger und Niederer 2012).

Geringer Anteil an Gesamtfracht im Rhein

Da die Schätzungen der Schadstoffkonzentrationen an den unterschiedlichen Standorten aufgrund der geringen Datenlage jedoch vereinfacht durchgeführt werden mussten, kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch von Stoffen, die oben nicht erwähnt sind, eine Gefährdung für Oberflächengewässer ausgehen kann. Jeder Standort ist ein Einzelfall, bei dem möglicherweise aufgrund der Ablagerungsgeschichte Rückschlüsse auf den Deponieinhalt gezogen werden können.

Jeder Standort ein Einzelfall

Um die Oberflächengewässer möglichst vor weiteren Schadstoffeinträgen von belasteten Standorten zu schützen, wird in der Altlastenverordnung festgehalten, dass belastete Standorte saniert werden müssen, wenn sie zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen führen oder wenn die konkrete Gefahr besteht, dass solche Einwirkungen entstehen (AltV 1998). Die Technische Verordnung über Abfälle soll zudem neue Risiken durch Abfälle verhindern (TVA 1990).

Sanierung belasteter Standorte

2.1.5 Aktivitäten im und am Wasser

Aktivitäten im und am Wasser mit relevanten Freisetzungen von Schadstoffen umfassen den Schiffsverkehr, die Nutzung des Oberflächenwassers zu Kühlzwecken in Durchlaufkühlungen (z. B. Kühlung von Atomkraftwerken), die Nutzung zum Baden sowie Bauten im oder am Wasser (BMG 2012).

Durch die Anwendung von Bioziden als Antifoulingmittel in Anstrichen von Schiffen, können diese direkt in Gewässer gelangen (Konstantinou und Albanis 2004; Nystrom et al. 2002). In der Schweiz werden hauptsächlich sieben Wirkstoffe in Antifoulinganstrichen eingesetzt. Mengenmässig dominieren kupferbasierte Wirkstoffe (Burkhardt und Dietschwiler 2013). Der Eintrag von bioziden Wirkstoffen aus Antifoulingmitteln ist im Sommerhalbjahr wesentlich höher, da die meisten Boote im Winter an Land gelagert werden. Die höchsten Konzentrationen der Antifoulingbiozide sind in Hafenanlagen mit vielen Schiffen und geringer Durchmischung des Wassers zu erwarten. So zeigten Messungen des heute nicht mehr zugelassenen Stoffes Irgarol im Genfersee Konzentrationen oberhalb von $0,1 \mu\text{g/l}$ (Nystrom et al. 2002). Dies übersteigt das akute Qualitätskriterium ($0,013 \mu\text{g/l}$) sowie das chronische Qualitätskriterium ($0,0023 \mu\text{g/l}$) um ein Vielfaches (siehe Oekotoxzentrum 2014 für Qualitätskriterien). Von den aktuell als Antifoulingmittel eingesetzten Stoffen stehen bislang keine Messungen zur Verfügung. Aufgrund von einfachen Modellabschätzungen können jedoch ökotoxikologische Effekte auf Wasserorganismen in Hafenanlagen auch bei diesen Stoffen nicht ausgeschlossen werden (BMG 2012).

Durch Badende werden im Sommerhalbjahr die in Sonnenschutzmitteln enthaltenen UV-Filter direkt in Oberflächengewässer eingetragen. Einige chemische UV-Filter wurden als potenziell hormonaktive Stoffe identifiziert und es wurde postuliert, dass diese zumindest in Mischungen ein erhöhtes Risiko für Wasserlebewesen darstellen (NFP50 2008). Zu den meistverkauften UV-Filtern gehörten im Jahr 2001 Stoffe wie OC, OMC, BP3, 4-MBC. Abschätzungen anhand von Worst-Case-Annahmen zum Eintrag dieser Stoffe in Seen liefern Konzentrationen im Bereich von $30\text{--}90 \text{ ng/l}$. Messungen in Badeseen zeigen ähnliche Resultate. Damit liegen die abgeschätzten und gemessenen Konzentrationen im Bereich des PNECs (predicted no effect concentration; vorhergesagte Konzentration, bei dem keine Effekte erwartet werden) (BMG 2012).

Bauten wie beispielsweise Brückenpfeiler und Stege, die direkt im Wasser stehen, emittieren kontinuierlich Schadstoffe in Oberflächengewässer. Je nach Konstruktions-typ sind dies Schwermetalle wie Kupfer und Zink, Biozide aus Holz- bzw. Materialschutzmitteln sowie weitere Inhaltsstoffe von beispielsweise Beton. Für eine Immissionsbeurteilung für Stoffe, die aus Bauten in Gewässer gelangen, stehen nur wenige Daten zur Verfügung. Sehr grobe Abschätzungen über das Auswaschverhalten von Betonzusatzmitteln am Beispiel von Polycarboxylatethern zeigen, dass von dieser Produktgruppe keine Gefährdung zu erwarten ist. Für Kupfer, Zink und die Holzschutzmittel IPBC und Dichlofluanid zeigen jedoch analoge Abschätzungen, dass in stehenden Gewässern vor allem durch Kupferimmissionen nachteilige Effekte für die Wasserorganismen nicht ausgeschlossen werden können (BMG 2012).



Antifoulingmittel in Schiffanstrichen

UV-Filter durch Badende

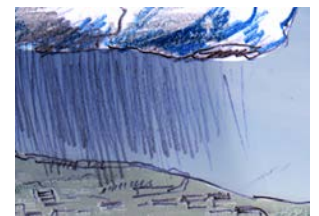
Eintrag durch im Wasser stehende Bauten

Oberflächenwasser, das zu Kühlzwecken eingesetzt wird, muss in der Regel aufbereitet werden und die Anlagen müssen periodisch gewartet und gereinigt werden. Insbesondere bei der Reinigung (Desinfektion) werden Biozide eingesetzt (z. B. Natriumhypochlorit, Chlordioxid). Diese Stoffe und deren Reaktions- und Abbauprodukte werden mit dem Kühlwasser in das Oberflächengewässer abgegeben. Bei offenen Kühlturmsystemen können zusätzlich noch Luftschadstoffe in das Kühlwasser gelangen. Gemäss Worst-Case-Abschätzungen liegen die Belastungen durch Desinfektionsmittel aus Kühlsystemen in mittleren und grossen Gewässern weit unterhalb der Anforderungen der GSchV. Am Beispiel einer Stossdesinfektion mit Chlordioxid kann aber gezeigt werden, dass in kleinen Gewässern (Verhältnis Kühlwassereinleitung zu Abfluss im Vorfluter 1:3) die Anforderung der GSchV an die Einleitung von Industrieabwasser in Gewässer für flüchtige organische Chlorverbindungen (FOCl) um ca. Faktor 5 überschritten wird (BMG 2012).

Desinfektionsmittel in Kühlwasser

2.1.6 Direkte Einträge aus der Atmosphäre

Direkte Einträge von Mikroverunreinigungen in die Gewässer erfolgen auch durch die Deposition von Schadstoffen aus der Atmosphäre. Diese Schadstoffe gelangen aus industriellen Prozessen (z. B. Kehrlichtverbrennungsanlagen), anderen Verbrennungsprozessen (z. B. Heizungen, Strassenverkehr), Ausgasungen von Stoffen aus dem Materialschutz und aus der Anwendung von Stoffen in der Landwirtschaft durch Spraying in die Atmosphäre. Transportprozesse in der Atmosphäre führen zu Verlagerungen von Schadstoffen über weite Strecken. Beispielsweise können in der Arktis Stoffe wie DDT nachgewiesen werden, die höchstwahrscheinlich in tropischen Regionen emittiert wurden (Götz et al. 2008; Scheringer 2009).



Stoffverlagerungen über weite Strecken

Bei der atmosphärischen Deposition wird zwischen nasser und trockener Deposition unterschieden. Bei der nassen Deposition handelt es sich um die Auswaschung von Stoffen aus der Atmosphäre durch Regen oder Schneefall. Bei der trockenen Deposition handelt es sich um den Austrag von Substanzen durch feste Partikel, wobei Diffusion und Gravitation die wichtigste Rolle spielen. Generell erfolgt der atmosphärische Eintrag kontinuierlich und wird durch Niederschläge erhöht.

Nasse und trockene Deposition

Die relevanten Stoffgruppen sind langlebige, apolare, organische Schadstoffe (PCBs, Flammschutzmittel, apolare Pestizide, Per- und Polyfluortenside, PAKs) und Schwermetalle (Bogdal et al. 2010; Müller et al. 2011). Persistente volatile und semivolatile Stoffe wie leichtere PCB, Dioxine, PAK oder Tenside werden gleichmässig in der Atmosphäre verteilt und durch Deposition in die Gewässer eingetragen. Vergleiche von Messungen und Modellen haben gezeigt, dass PCB und Dioxine ein vergleichsweise hohes Potenzial haben, über atmosphärische Deposition in die Gewässer zu gelangen. Laut Modellrechnungen erreichen sie in der Wasserphase jedoch keine kritischen Konzentrationen (Götz 2012a). Messwerte zeigen, dass Fische, welche in Oberflächengewässern leben, die nur den Eintragspfad der atmosphärischen Deposition aufweisen (z. B. Bergseen oder alpine Fließgewässer) keine PCB- und Dioxingehalte oberhalb der zulässigen Höchstkonzentrationen für Fische (FIV 1995) aufweisen (Schmid et al. 2010). Die atmosphärische Deposition führt jedoch zu einer Hintergrundbelastung an langlebigen organischen Schadstoffen, die in Organismen durch Bioakkumulation aufkonzentriert werden können. In empfindlichen Wasserorga-

Langlebige, apolare, organische Schadstoffe

nismen können Probleme daher auch in diesen unberührten Oberflächengewässern nicht ausgeschlossen werden (Götz 2012a). Die problematisch hohen Konzentrationen an PCB und Dioxinen wurden jedoch ausschliesslich in Fischen aus Gewässern, welche durch andere Eintragspfade wie Deponien oder Kläranlagen belastet sind, gemessen (Schmid et al. 2010).

2.2 Überblick über die wichtigsten Stoffe

Für die Gewässer relevante Stoffgruppen sind jene, die wegen ihrer biologischen Aktivität verwendet werden, allen voran also Pflanzenschutzmittel, Biozide sowie Human- und Tierarzneimittel. Weitere für die Schweizer Oberflächengewässer relevante Stoffe, die bereits in geringen Konzentrationen Wasserlebewesen beeinträchtigen können, sind beispielsweise die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), einige Schwermetalle oder hormonaktive Substanzen (z.B. Wirkstoffe der Antibabypillen, UV-Filter, natürliche Hormone). Die wichtigsten Stoffgruppen sind in Tabelle 2 ihren Quellen und Eintragspfaden zugeordnet.

Für Gewässer relevanteste Stoffgruppen

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, können am meisten unterschiedliche Stoffe aus der Siedlung in die Oberflächengewässer gelangen. Die Stoffgruppe Schwermetalle ist die Stoffgruppe mit den meisten Quellen.

Die Anzahl synthetisch-organischer Stoffe, welche in der Schweiz in Gebrauch sind und potenziell als Mikroverunreinigungen in die Gewässer eingetragen werden können, ist schwer abschätzbar. Etwa 5500 sind als einzelne Stoffe im Produktregister INDATOX gemeldet. Stoffe in Produkten mit verschiedenen Stoffen sind nicht einzeln gelistet, in Stoffgemischen könnten insgesamt aber über 100000 verschiedene Stoffe vorkommen (pers. Kommunikation BAFU, BAG, SECO). In der Schweiz zugelassene Pflanzenschutzmittelwirkstoffe sowie Arzneimittelwirkstoffe sind nicht vollständig in diesem Produktregister erfasst, sondern befinden sich separat in der Pflanzenschutzmittelverordnung bzw. in einer Liste der Swissmedic. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die abgeschätzte Anzahl von Stoffen der Stoffgruppen, die für diffuse Einträge relevant sind.

Grosse Anzahl synthetisch-organischer Stoffe

Tab. 2 > Zuordnung der betrachteten Mikroverunreinigungen zu den relevanten diffusen Quellen und den Haupteintragspfaden

Quelle	Landwirtschaft	Siedlung		Verkehr		Belastete Standorte	Aktivitäten im und am Wasser	diverse
		Mischwasserentlastungen	Regenwasserkanäle	Strassenabwasser	Gleisabwasser			
Eintragspfad	Oberflächenabfluss Drainagen Spraydrift Abfluss versiegelte Flächen						direkt	Direkte atmosphärische Deposition
Stoffgruppe								
Haushaltschemikalien		x						x
Schwermetalle	x	x	x	x	x	x	x	x
Biozidwirkstoffe	x	x	x				x	x
Pflanzenschutzmittelwirkstoffe	x	x	x	x	x	x		x
Natürliche Toxine	x							x
Humanarzneimittel		x						
Tierarzneimittel	x	x						
Hormonaktive Substanzen:								
natürliche Hormone	x	x						
synthetische Hormone	x	x						
UV-Filter, Nonylphenol, Bisphenol A		x				x	x	
weitere Stoffe:								
Benzotriazol (Korrosionsschutzmittel)		x						
PAK		x	x	x	x	x	x	x
MTBE (Benzinzusatzstoff)		x	x	x			x	x

In Tabelle 3 sind nebst der Anzahl von Stoffen auch die ungefähren Stoffmengen aufgeführt. Verkaufsmengen der Biozide werden nicht systematisch erfasst und sind daher schwierig abzuschätzen. So wurde in einer neueren Studie der Biozideinsatz in Holzschutzmitteln sowie in Fassaden (Farben und Putze sowie Mauerwerk) auf 15–80 t/a geschätzt, was rund 90 % geringer ist als die Menge, welche in einer älteren Studie abgeschätzt wurde (Burkhardt und Dietschwiler 2013; FriedliPartner et al. 2007). Biozidprodukte für die Reinigung von Melkanlagen und Milchtanks werden in der Landwirtschaft in grossen Mengen eingesetzt. Diese Menge muss aber stark relativiert werden, weil sich der weitaus grösste Teil dieser Biozide schnell abbaut (z. B. gewisse Desinfektionsmittel).

Einsatzmengen der Biozide

Die Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe werden im Gegensatz zu den Bioziden systematisch erfasst (BLW 2013). Die verkaufte Menge von mehr als 2000 t Pflanzenschutzmittelwirkstoffen lässt sich in die Gruppe der Herbizide, Fungizide und Insektizide unterteilen (Tab. 3). Die grössten Verkaufsmengen weisen die Herbizide und die Fungizide auf, wobei einige der in grossen Mengen eingesetzten Fungizide wenig persistent sind und sich innerhalb weniger Tage im Boden oder Wasser abbauen. Die Insektizide haben zwar niedrigere Verkaufsmenge, sind jedoch in der Regel toxischer als Herbizide (Moschet 2011).

Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittelwirkstoffen

Die in der Tiermedizin eingesetzten Antibiotikamengen sind deutlich geringer als die Verkaufsmengen der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe (Tab. 3).

Tab. 3 > Abschätzungen zur Anzahl der Stoffe sowie der jeweiligen eingesetzten Stoffmengen

Stoffgruppe	Stoffanzahl	Tonnage	Quelle
Haushaltschemikalien	~5000 ¹		BMLFUW (2007)
• Seifen und Waschmittel		>140 000 t/a ²	SKW (2014)
• Benzotriazol		14–16 t/a	Hollender (2007)
Schwermetalle	~15		
• Kupferverbrauch (als Werkstoff)		~75 000 t/a	von Arx (2006)
• Kupfer-Futtermittelzusätze		~30 t/a	von Arx (2006)
• Kupfer als PSM-Wirkstoff		~70 t/a	BLW (BLW 2010), von Arx (2006)
Biozide (notifiziert/zugelassen)	~260 ³		BAFU-BAG-SECO (2014)
• Holzschutzmittel (PA 8)	62	~5–48 t/a	Burkhardt und Dietschwiler (2013), BAFU-BAG-SECO (2014)
• Fassadenbiozide (PA 7/10)	55	~10–32 t/a	"
• Antifouling (PA 21)	10	~10–15 t/a	"
• Biozidprodukte für den Veterinärbereich (PA 3) und Desinfektionsmittel für den Lebens- und Futtermittelbereich (PA 4) in der Landwirtschaft	82	~900–1000 t/a ⁴	BAFU-BAG-SECO (2014), Kupper (2013)
Pflanzenschutzmittel (zugelassen)	~340 ³	2100 t/a	PSMV (2010), BLW (2013)
• Herbizide (total)	~140	~1000 t/a	BLW (2013)
• davon für private Anwender		~100 t/a	Wittwer und Gubser (2010)
• Fungizide	~125	~700 t/a ⁵	BLW (2013)
• Insektizide	~100	~300 t/a	BLW (2013)
Natürliche Toxine	tausende (z. B. ~2500 Pflanzentoxine)		Bucheli und Wettstein (2013)
Humanarzneimittel	~3000 ⁶	>1750 t/a ⁷	IMS Health (2004)
Tierarzneimittel	~470 ⁶	Antibiotika ca. 70 t/a	Swissmedic (2013)
Hormone		~180 kg/a ⁸	Schönborn (2012)
UV-Filter	28		VKos (2005)

¹ Abschätzung für Österreich. Es wird angenommen, dass die Stoffanzahl in der Schweiz in einer ähnlichen Größenordnung ist.

² Angegeben ist die totale Produktmenge. Tenside machen weniger als die Hälfte dieser Gesamtmenge aus.

³ davon ~50 sowohl als Pflanzenschutzmittel (PSM) wie auch als Biozid zugelassen

⁴ davon für Reinigung von Melkanlagen/Milchtanks rund 700 t; für die Desinfektion von Klauen 40–200 t; für Melkhygiene rund 50 t; für Desinfektion von Ställen rund 30 t. Relativ unproblematische Stoffe weisen die höchsten Verbrauchsmengen auf: Natriumhypochlorit ~390 t, Sulfamidssäure ~150 t, Phosphorsäure ~130 t und Formaldehyd 30–170 t. Verbrauchsmengen potenziell umweltrelevanter Stoffe sind deutlich niedriger z. B. Quaternäre Ammoniumverbindungen (QAV) 26 t, Polyhexamethylenbiguanid 3 t, Chlorkresol 1 t.

⁵ davon nur ein geringer Teil (150 t) synthetisch-organisch

⁶ davon ~180 sowohl als Human- als auch Tierarzneimittel zugelassen

⁷ Summe top100 im Jahr 2004

⁸ Geschätzte Östrogenfracht in den Ausscheidungen von Menschen, Kühen, Schweinen, Schafen und Nutzhühnern. Die anthropogene Hormonausscheidung macht ca. 18 % der Gesamtmenge aus.

2.3 Schwankungen der Stoffkonzentrationen und deren Beurteilung

Der diffuse Eintrag von Mikroverunreinigungen aus der Siedlung, der Landwirtschaft und der Verkehrsinfrastruktur findet vor allem während Niederschlagsereignissen statt. Dies führt dazu, dass Spitzenkonzentrationen von Stoffen wie Pflanzenschutzmitteln, Bioziden, Tierarzneimitteln und Schwermetallen während bzw. nach Regenereignissen in Gewässern auftreten und die Konzentrationen dieser Stoffe insbesondere in kleinen Gewässern stark schwanken (Abb. 2, Abb. 4, Abb. 5 und Abb. 6; Doppler et al. 2012; Leu et al. 2004b; Wittmer et al. 2010). Für gewisse Stoffe bestehen zudem grosse jahreszeitliche Unterschiede im Ausmass der Gewässerverunreinigung, die auf saisonal unterschiedliche Anwendungsmuster zurückzuführen sind (Doppler et al. 2012; Wittmer et al. 2014b).

Starke Konzentrations-
schwankungen

In kleinen Fließgewässern sind die Spitzenkonzentrationen der durch abfließendes Regenwasser transportierten Stoffe um ein Vielfaches höher als in grossen Fließgewässern (Abb. 7). Da Spitzenkonzentrationen in Routineuntersuchungen kaum erfasst werden, wird die Belastungssituation oft unterschätzt (Wittmer et al. 2014a).

Hohe Konzentrationsspitzen in
kleinen Fließgewässern

Abb. 7 > Atrazin-Konzentrationen im Jahr 1999

a) In einem kleinen Gewässer im Einzugsgebiet des Greifensees (Ror, Flussordnungszahl FLOZ 2, zur Definition siehe Abb. 11) und b) im Rhein bei Basel (FLOZ 9). Die Dynamik der Konzentration und des Abflusses sind im kleinen Gewässer grösser als im Rhein, zudem liegen die Konzentrationen um bis zu einem Faktor 300 höher.

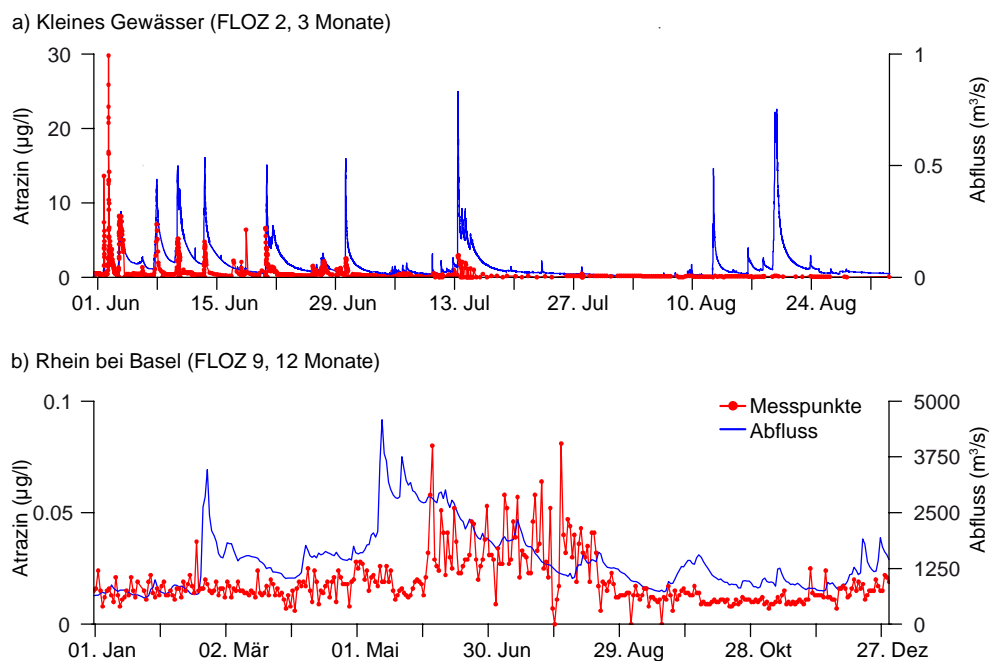


Abbildung aus Munz et al. 2012

Niederschlagsunabhängige, diffuse Einträge ergeben sich beispielsweise durch Freisetzung von Stoffen von Booten, Bauten und Badenden direkt im Gewässer, trockener Deposition aus der Atmosphäre, Sickerwasser aus Deponien und Einleitungen von verunreinigtem Reinigungs- oder Kühlwasser. Im Gegensatz zu den oben diskutierten Einträgen erwartet man die höchsten Konzentrationen aus diesen Einträgen beispielsweise in Seen, in Hafenanlagen oder bei Kühlwassereinleitstellen, die normalerweise an mittleren und grösseren Gewässern lokalisiert sind.

Niederschlagsunabhängige,
diffuse Einträge

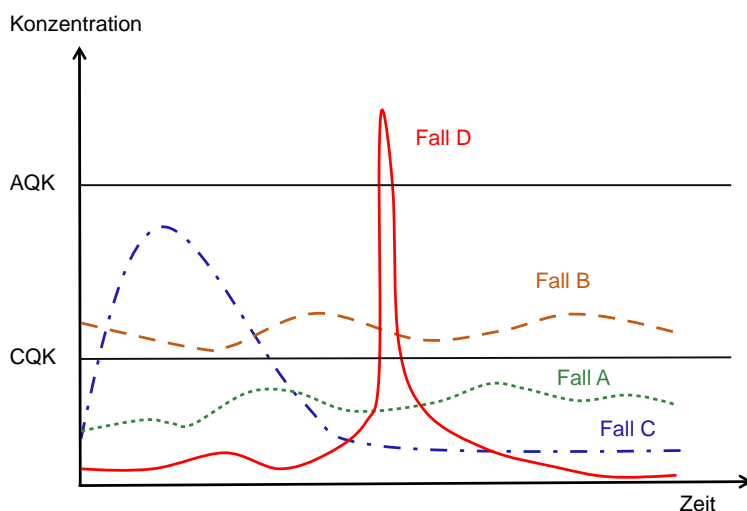
Verhältnismässig konstante Stoffkonzentrationen in Gewässern (Fall A und B in Abb. 8) können relativ einfach mit den ökotoxikologischen Qualitätskriterien verglichen werden (siehe Kapitel 1.2.2). Fall A zeigt eine Konzentration, welche konstant unterhalb dem chronischen Qualitätskriterium liegt, wodurch die Gefahr einer Schädigung von Wasserorganismen beispielsweise gering ist. Dagegen ist bei Fall B mit nachteiligen Auswirkungen auf Wasserlebewesen zu rechnen.

Beurteilung der Konzentrations-
schwankungen

Die in Abbildung 7a dargestellten kurzzeitigen, sich manchmal auch wiederholenden Konzentrationsspitzen machen jedoch sowohl eine Erfassung als auch eine Beurteilung der Wasserqualität anhand von Qualitätskriterien schwierig. Die Konzentrationsspitzen können Minuten bis Stunden dauern und können zwischen dem akuten und chronischen Qualitätskriterium liegen (Fall C in Abb. 8). Dieser Fall kann nicht durch einen einfachen Vergleich mit den Qualitätskriterien beurteilt werden. Je nach Fragestellung können ein einfaches Verfahren oder aber wissenschaftliche Modelle zur Belastungsbeurteilung beigezogen werden (Ashauer 2012; Wittmer et al. 2014a). Bei Fall D wiederum muss mit einer Schädigung von Wasserorganismen gerechnet werden, da die Konzentrationsspitze über dem akuten Qualitätskriterium liegt.

Abb. 8 > Beispielhafte Konzentrationsverläufe und Vergleich mit chronischen (CQK) und akuten Qualitätskriterien (AQK)

Einzig im Fall A kann eine Beeinträchtigung von Wasserorganismen ohne weitere Abklärungen mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.



2.4

Fazit

Die Datensammlungen der Fachexperten zeigen, dass die höchsten Emissionen von Mikroverunreinigungen in die Oberflächengewässer aus Landwirtschaft, Siedlung und Verkehr erwartet werden. Da diese Quellen über grosse Flächen der Schweiz verteilt sind, ist es wahrscheinlich, dass Stoffe aus diesen Quellen in grosse Teile des Schweizer Gewässernetzes, insbesondere im Mittelland und in den Talebenen, eingetragen werden. Eine Beeinträchtigung von Wasserlebewesen durch Einträge aus diesen Quellen kann nicht ausgeschlossen werden. Von den Aktivitäten im und am Wasser, Depositionen und der Atmosphäre sind geringere Mengen zu erwarten und folglich kaum eine Beeinträchtigung von Wasserlebewesen. Sowohl Messwerte wie auch Abschätzungen zeigen jedoch, dass bei keiner der oben genannten Quellen ausgeschlossen werden kann, dass sie lokal oder bei Einzelereignissen zu Beeinträchtigungen von Wasserorganismen führt.

Im Bereich der diffus eingetragenen Mikroverunreinigungen mit Fokus auf die Wasserphase sind Pflanzenschutzmittel, Biozide und Schwermetalle mit hoher Wahrscheinlichkeit die relevantesten Stoffgruppen. Zu diesen Stoffen existieren verhältnismässig viele Messwerte und die Eintragspfade sind relativ gut bekannt. Bei anderen Stoffgruppen, wie zum Beispiel den natürlichen Hormonen, gibt es nur wenige Messwerte und das Ausmass der Belastung ist schwierig abzuschätzen.

Die meisten diffusen Einträge von Mikroverunreinigungen erfolgen zeitlich hoch dynamisch und sind vor allem an Niederschlagsereignissen sowie zum Teil auch an Applikationsperioden gebunden. Insbesondere in kleinen Gewässern schwanken daher die Spitzenkonzentrationen von Stoffen wie Pflanzenschutzmitteln, Bioziden, Tierarzneimitteln und Schwermetallen stark. In kleinen Fliessgewässern sind zudem die Spitzenkonzentrationen generell um ein Vielfaches höher als in grossen.

Relevanteste Quellen:
Landwirtschaft, Siedlung und Verkehr

Relevanteste Stoffgruppen:
Pflanzenschutzmittel, Biozide und Schwermetalle

Hohe Spitzenkonzentrationen in kleinen Gewässern

3 > Einfluss der Landnutzung auf die Gewässerqualität

Die stoffliche Gewässerqualität hängt erheblich von der Landnutzung im Einzugsgebiet eines Gewässers ab. Das Vorhandensein einer Quelle für Mikroverunreinigungen im Einzugsgebiet ist die Grundvoraussetzung für die Verunreinigung eines Fließgewässerabschnittes durch Mikroverunreinigungen. Daher kann mit einer Analyse der Landnutzung entlang des Gewässernetzes beurteilt werden, wie gross die Fließstrecke ist, welche potenziell durch verschiedene diffuse Einträge verunreinigt werden kann (Strahm et al. 2013).

Ziel der Landnutzungsanalyse

3.1 Geographische Verteilung ausgewählter Quellen

Die Verknüpfung der in Kapitel 2 beschriebenen Quellen mit spezifischen Landnutzungen, welche der Arealstatistik der Schweiz (BFS 2009) entnommen wurden, ergab, dass mehr als 40 % der Fläche der Schweiz mit mindestens einer der betrachteten, potenziell relevanten Quellen von diffus emittierten Mikroverunreinigungen bedeckt sind (Tab. 4). Den grössten Flächenanteil weist die landwirtschaftlich genutzte Fläche auf, und davon insbesondere das Grünland mit rund 22 %. Im Mittelland und den Talebenen grösserer Täler nimmt die Ackerfläche jedoch einen Grossteil der Landfläche ein (Abb. 9c). Andere Kulturen wie Reben oder Obstbau kommen regional konzentriert vor (z. B. Reben im Wallis oder Obstbau im Thurgau).

Verteilung der Quellen

Rund 57 % der Fläche der Schweiz besteht aus Wald, Gehölzen, unproduktiver Vegetation, vegetationslosen Flächen, sowie Gletschern und Firn. Diese Landnutzungen wurden als nicht relevante Quellen für diffuse Einträge eingestuft (Tab. 4).

Nicht relevante Landnutzungen

Die betrachteten Quellen befinden sich vorwiegend in topographisch tieferliegenden Gebieten. Deshalb wurden nur die Gebiete der topographisch tieferliegenden Hälfte der Schweiz für die weitere Analyse verwendet (Abb. 9a) (Strahm et al. 2013). Darin eingeschlossen sind die unterhalb von 1080 m ü. M. gelegenen Gebiete des Mittellands, Teile des Jura und die Talebenen grösserer Täler. Von vereinzelt Siedlungen abgesehen, findet sich oberhalb von 1080 m ü. M. vor allem Grünland als Landnutzung mit möglicherweise relevanten Emissionen von Mikroverunreinigungen.

Betrachtung der topographisch tieferliegenden Gebiete

Tab. 4 > Zuordnung der Quellen von Mikroverunreinigungen und deren Haupteintragspfade zu spezifischen Landnutzungen

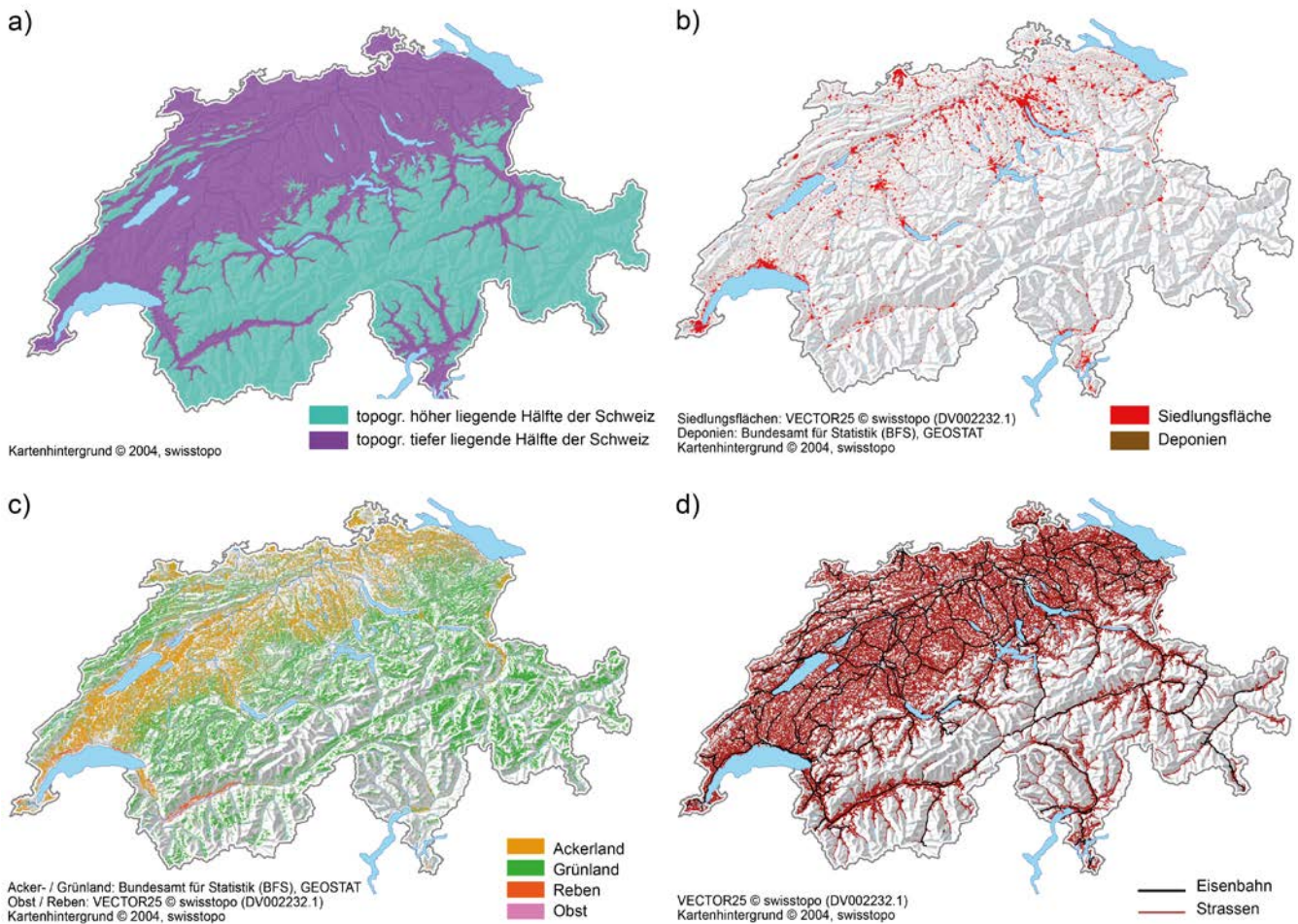
Der Anteil der Fläche an der Gesamtfläche der Schweiz wurde der Arealstatistik der Schweiz (BFS 2009) entnommen.

Quelle	Eintragspfad	Landnutzung	Anteil der Fläche an der Gesamtfläche der Schweiz (BFS 2009)
Landwirtschaft	Oberflächenabfluss, Drainagen, Spraydrift, Hofentwässerung	Obst	0,6 %
		Reben	0,4 %
		Ackerland	8,9 %
		Grünland	21,6 %
Siedlung	ARA, Mischwasserüberläufe, Regenkanäle	Siedlungsflächen	5,7 %
Verkehr	Strassenabwasser Gleisabwasser	Strasse	2,0 %
		Eisenbahn	0,02 %
Deponien ¹	Sickerwasser	Deponien	0,06 %
Aktivitäten in und am Wasser	direkt	Oberflächengewässer	3,6 %
Atmosphäre	direkte atmosphärische Deposition	Oberflächengewässer	
Als weniger wichtig eingestufte und im Bericht nicht behandelte Quellen		Wald Gehölze Unproduktive Vegetation Vegetationslose Flächen Gletscher, Firn	57,2 %

¹ In der Landnutzungsanalyse wurden nicht alle belasteten Standorte betrachtet, sondern nur die in der Arealstatistik aufgeführten Deponien.

Abb. 9 > Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungen

a) Die Schweiz eingeteilt in die topografisch höher gelegene resp. die topografisch tiefer gelegene Hälfte (<1080 m ü. M.; entspricht annäherungsweise der Hälfte der Landfläche der Schweiz), b) Siedlungsfläche und Deponien, c) Landwirtschaftliche Nutzung, d) Verkehr.



Abbildungen aus Strahm et al. (2013)

3.2 Vorkommen ausgewählter Quellen bezogen auf das Gewässernetz

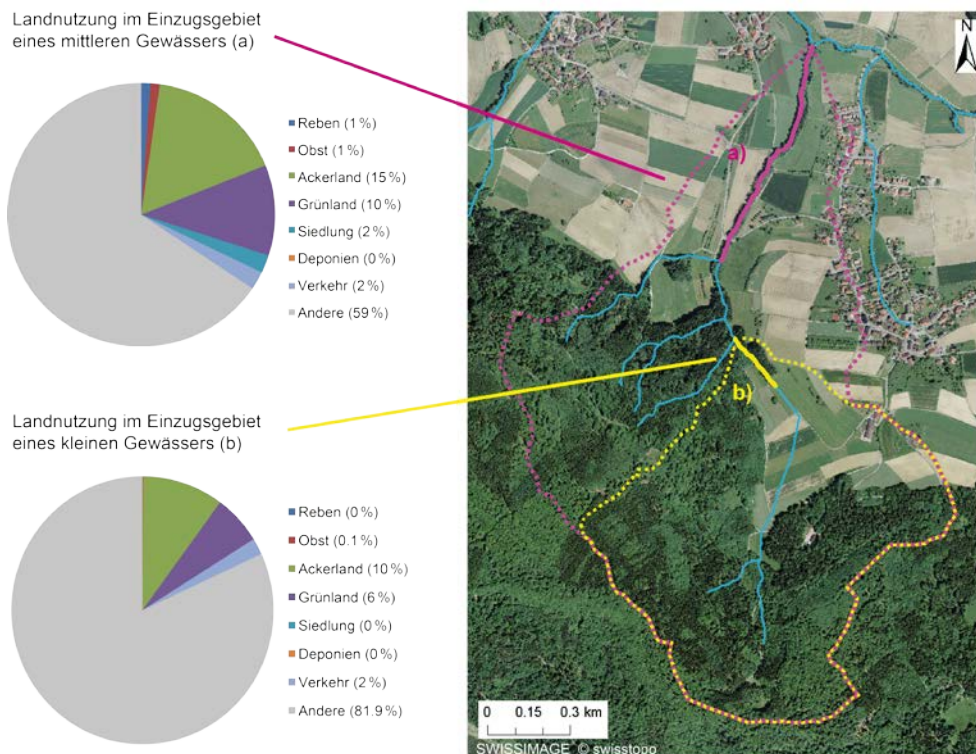
Um den Einfluss der Quellen bezogen auf das Schweizer Gewässernetz zu analysieren, wurde die Landnutzung in über 180 000 Einzugsgebieten von Strahm et al. (2013) den entsprechenden Fließgewässerabschnitten zugeordnet (Abb. 10). Die Daten dazu stammten aus der Arealstatistik und der gewässerbasierten Einzugsgebietsgliederung (BAFU 2013a). Die Einleitstellen für Mischwasserüberläufe wurden aus bestehenden Geodaten abgeleitet. Dazu wurde jeder ARA und mindestens jeder Gemeinde ein Mischwasserüberlauf zugewiesen.

Vorgehen

Abb. 10 > Analyse der Landnutzung entlang zweier Gewässerabschnitte und ihrer zugehörigen Einzugsgebiete

a) Pink: mittleres Fließgewässer geprägt durch Wald (in Kategorie «Andere»), Ackerland, Grünland und Strassen, zusätzlich kommen auch Siedlungen, Reben und Obst vor.

b) Gelb: kleines Fließgewässer, es kommen nur Wald, Ackerland, Grünland und Strassen vor. Zudem ändert sich der Flächenanteil der Landnutzungen.



Datengrundlage aus BAFU 2013b; BFS 2009

Die Analyse der Landnutzung auf nationaler Skala war vor der Arbeit von Strahm et al. (2013) nur für grössere Fließgewässer möglich, da eine umfassende Ausscheidung der Einzugsgebiete kleiner Fließgewässer fehlte. Das 65 000 km lange Schweizer Fließgewässernetz (Datengrundlage VECTOR25, swisstopo) besteht aber vor allem aus kleinen Fließgewässern. Diese stehen zudem im Zusammenhang mit Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen im Fokus. Die grosse Anzahl kleiner Gewässer lässt sich veranschaulichen durch eine Klassifizierung der Fließgewässer nach der Flussordnungszahl (FLOZ, Abb. 11) (BAFU 2013b). Wie in Abbildung 11 ersichtlich, machen die kleinen Gewässer mit FLOZ 1 und 2 rund 75 % des Schweizer Fließgewässernetzes aus.

75 % des Gewässernetzes sind kleine Gewässer

Abb. 11 > Anteil Fließstrecke am gesamten Gewässernetz der Schweiz nach Flussordnungszahl (FLOZ)

Gewässer mit FLOZ 1 und 2 werden den «kleinen Gewässern» zugeordnet, Fließgewässer mit FLOZ 3 bis 6 sind «mittlere Gewässer» und FLOZ 7 bis 9 werden als «grosse Gewässer» bezeichnet.

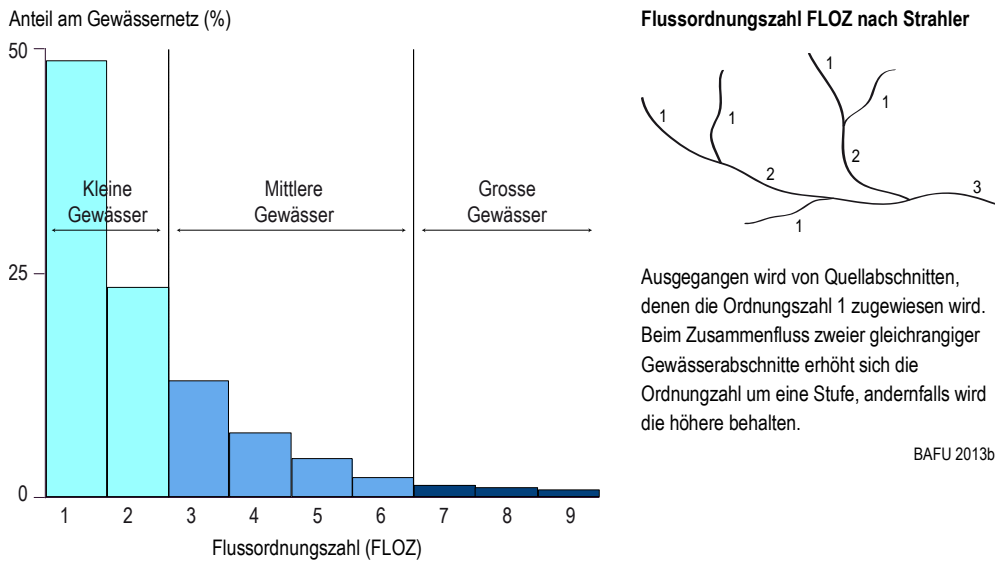


Abbildung aus Munz et al. 2012

Die durchgeführte Landnutzungsanalyse zeigt, dass in der topographisch tieferliegenden Hälfte der Schweiz rund 80 % der kleinen Fließgewässer potenziell durch Strassen und Grünland und rund 40 % durch Obstanbau, Ackerland und Siedlungsflächen beeinflusst sind (Abb. 12, hellblaue Balken). Der Anteil der Fließstrecke, der potenziell durch Mikroverunreinigungen aus Eisenbahn, Mischwasserüberläufen, Deponien, Reben und ARA belastet sein kann, ist klein (rund 10 % oder weniger).

Kleine Gewässer durch spezifische Quellen beeinflusst

In den Einzugsgebieten grosser Gewässer kommen mehrheitlich alle betrachteten Quellen für Mikroverunreinigungen vor. Folglich kann nicht ausgeschlossen werden, dass fast alle grossen Gewässer eine grosse Vielfalt an Mikroverunreinigungen aller betrachteten Quellen enthalten (Abb. 12, dunkelblaue Balken).

Grosse Gewässer durch alle Quellen beeinflusst

Die Landnutzungsanalyse zeigt auch, dass in grosse Teile des Gewässernetzes, insbesondere in kleine Gewässer, ausschliesslich Stoffe aus diffusen Quellen eingetragen werden können. Unterhalb von ARA befindet sich ein relativ kleiner Anteil der gesamten Fließstrecke (Abb. 12, transparente Balken). Für diesen Anteil der Fließstrecke stellen ARA aber eine relevante Quelle für ein breites Spektrum von Stoffen dar, das mit dem gereinigten Abwasser eingetragen wird (Abegglen und Siegrist 2012).

Grossteil des Gewässernetzes nur durch diffuse Einträge belastet

Abb. 12 > Anteil der potenziell durch eine bestimmte Landnutzung beeinflussten Fließstrecke an der gesamten Fließstreckenlänge der topografisch tieferliegenden Hälfte der Schweiz (<1080 m ü. M.)

Beispielsweise sind weniger als 10 % der kleinen Fließgewässer durch Reben beeinflusst. Die in diesem Bericht nicht behandelte Quelle ARA wird zum Vergleich transparent dargestellt.

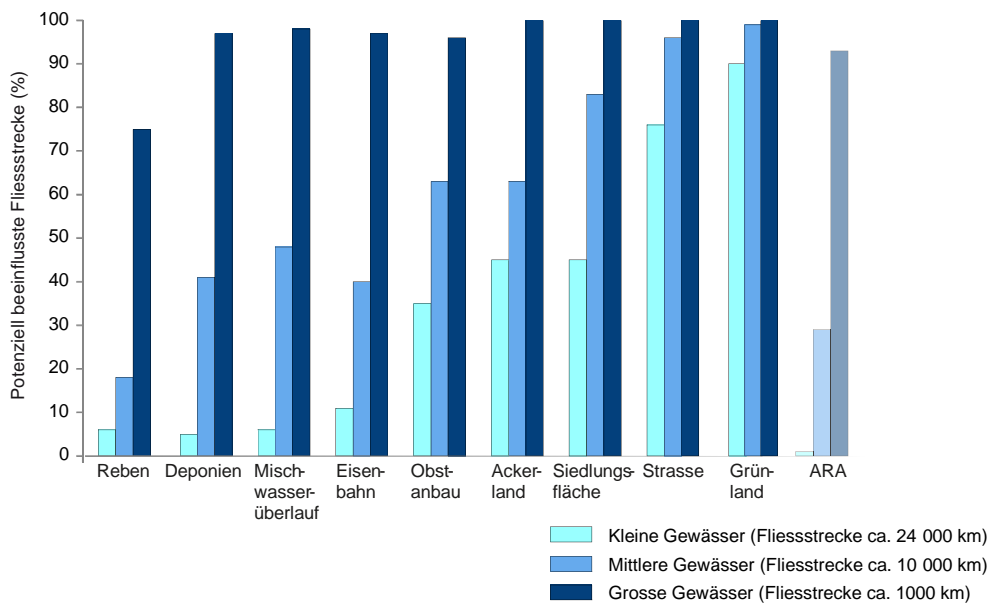


Abbildung nach Strahm et al. (2013)

Die Auswertung der potenziellen Beeinflussung eines Fließgewässers berücksichtigt, ob eine Quelle im Einzugsgebiet vorhanden ist oder nicht (Abb. 12). Der Flächenanteil dieser Quelle am gesamten Einzugsgebiet wird in dieser Auswertung nicht betrachtet, ist aber eine wichtige Betrachtungsgröße, um die Relevanz einer Quelle im betreffenden Fließgewässer zu beurteilen (Strahm et al. 2013).

Flächenanteil einer Quelle am Einzugsgebiet

Bei kleinen Gewässern kann der Flächenanteil einer bestimmten Landnutzung am Einzugsgebiet stark variieren. So kann ein Einzugsgebiet eines kleinen Gewässers zu 100 % aus einer Landnutzung (z.B. Ackerland) bestehen. Andererseits gibt es viele kleine Gewässer, in deren Einzugsgebiet keine Landnutzung vorhanden ist, die als Quelle für Mikroverunreinigungen gilt. Das Grünland, das Ackerland, sowie auch die Siedlungsflächen machen bei vielen kleinen Gewässern einen grossen Anteil des Einzugsgebiets aus. Reben und Obstbau erreichen selten sehr hohe Flächenanteile. Nur in einigen Regionen der Schweiz können vereinzelt Einzugsgebiete kleiner Gewässer praktisch ausschliesslich mit Reben oder Obstbäumen bepflanzt sein.

Flächenanteile am Einzugsgebiet kleiner Gewässer

Die Flächenanteile in Einzugsgebieten von mittleren und grossen Gewässern hingegen variieren weniger stark, so dass dort kaum eine Quelle gar nicht vorkommt oder vollständig dominiert (Einzugsgebietsanteil von 0 resp. 100 %). Zudem sind in den Einzugsgebieten dieser Gewässer meist alle Quellen vorhanden. Strassen, Deponien und Eisenbahn machen bei allen Gewässergrössen nur einen kleinen Anteil des Einzugsgebiets der Fließgewässer aus (Strahm et al. 2013).

Flächenanteile am Einzugsgebiet mittlerer und grosser Gewässer

3.3

Fazit

Rund 75 % der Fliesstrecke des gesamten Schweizer Fliessgewässernetzes besteht aus kleinen Gewässern mit Flussordnungszahl 1 oder 2. Diese kleinen Bäche spielen nicht nur streckenmässig eine grosse Rolle, sondern erfüllen auch grundlegende ökologische Funktionen. In einem Grossteil dieser kleinen Fliessgewässer können ausschliesslich Stoffe aus diffusen Einträgen vorkommen, da sie oberhalb von ARA-Einleitungen liegen.

Verbreitete diffuse
Verunreinigung

Die für diffuse Einträge von Mikroverunreinigungen hauptsächlich verantwortlichen potenziellen Quellen befinden sich vorwiegend in der topographisch tieferliegenden Hälfte der Schweiz (<1080 m ü. M.), weshalb sich die hier vorgestellte Landnutzungsanalyse auf dieses Gebiet beschränkte. Die Analyse zeigte, dass rund 80 % der kleinen Fliessgewässer in der tieferliegenden Hälfte der Schweiz potenziell durch Strassen und Grünland und rund 40 % durch Obstanbau, Ackerland und Siedlungsflächen beeinflusst werden. Grosse Gewässer können mehrheitlich durch alle Quellen potentiell beeinflusst sein, da in ihren Einzugsgebieten meist alle betrachteten Quellen von Mikroverunreinigungen vorkommen.

Potentielle Beeinflussung durch
spezifische Quelle

Der Flächenanteil einer ausgewählten Landnutzung kann bei kleinen Gewässern stark variieren. So kann das ganze Einzugsgebiet eines kleinen Gewässers aus derselben Landnutzung bestehen oder aber auch durch diffuse Quellen völlig unbeeinflusst sein. Solche Extremwerte werden bei mittleren und grossen Gewässern selten erreicht.

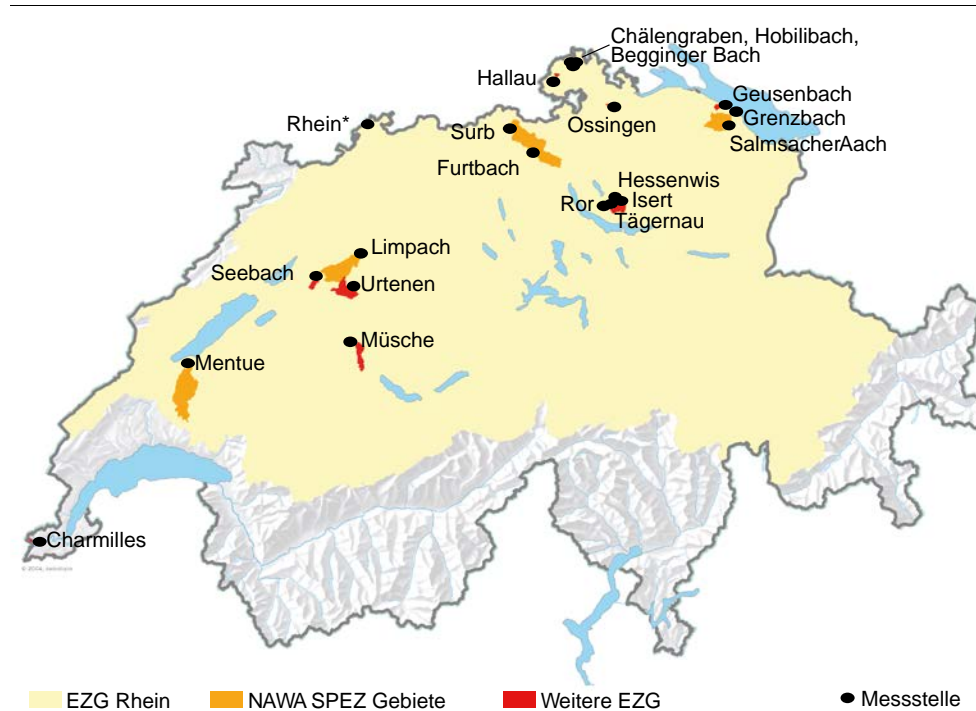
Flächenanteil einer Quelle am
Einzugsgebiet

4 > Ausgewählte Gewässeruntersuchungen

In diesem Kapitel wird anhand von ausgewählten, umfangreichen Gewässeruntersuchungen aufgezeigt, welche der in Kapitel 2 erläuterten Stoffgruppen in den Schweizer Fließgewässern häufig nachgewiesen werden. Wie in Kapitel 3 diskutiert, besteht das Schweizer Gewässernetz vor allem aus kleinen Gewässern mit FLOZ 1 und 2 (Abb. 11). In den bisherigen Gewässeruntersuchungen wurden jedoch überwiegend mittlere und grosse Gewässer beprobt (Munz et al. 2012). Im Folgenden werden für grosse (am Beispiel des Rheins), mittlere und kleine Fließgewässer die erhobenen Daten ausgewählter, umfangreicher Untersuchungen diskutiert (Abb. 13). Zudem wird das Ausmass der Verunreinigungen im gesamtschweizerischen Kontext anhand der im Kapitel 3 vorgestellten Landnutzungsanalyse beurteilt (Abb. 14).

Umfangreiche Untersuchungen

Abb. 13 > Lage von ausgewählten Messstellen und deren Einzugsgebiete

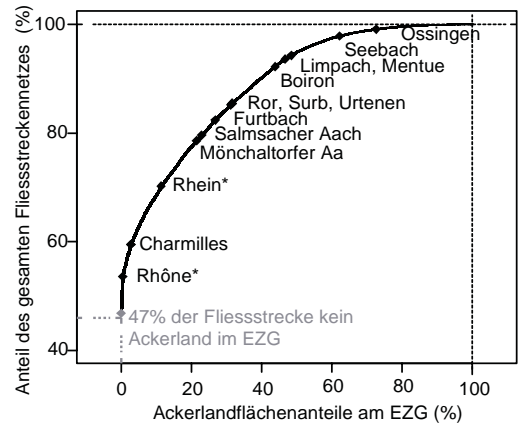
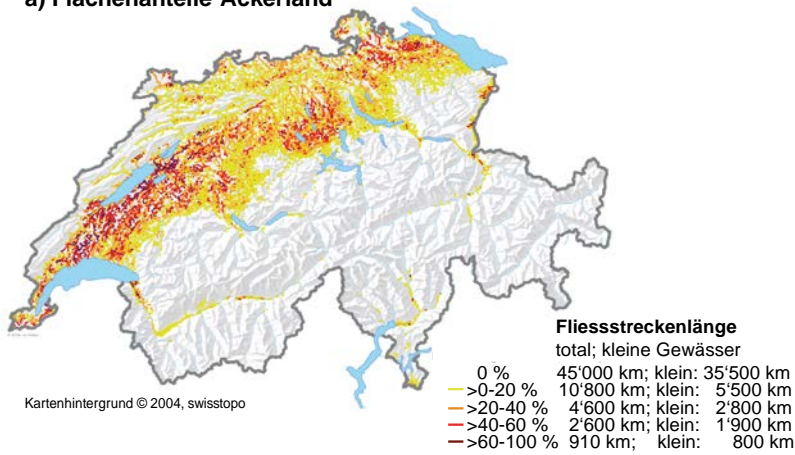


*Beim Rhein wurde nur der Schweizer Anteil des EZG berücksichtigt
Datengrundlage aus BAFU 2013a; Kartenhintergrund © 2004, swisstopo

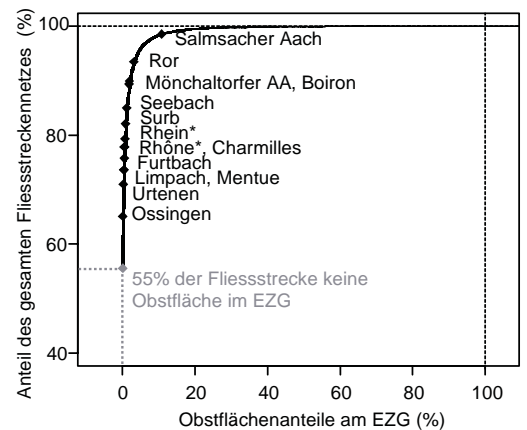
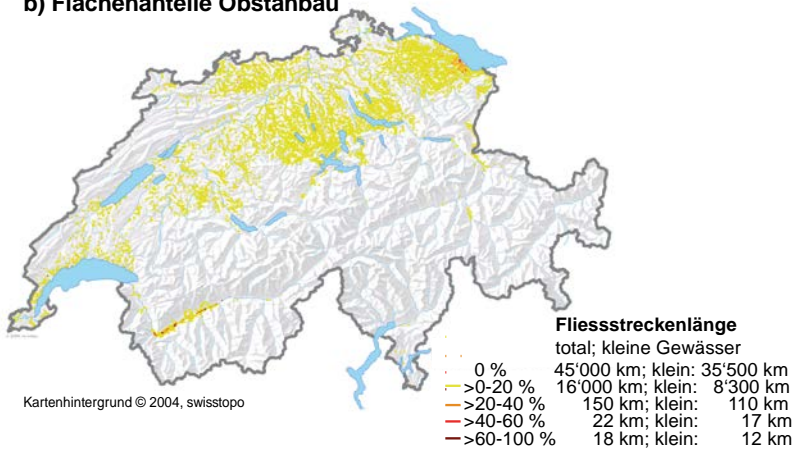
Abb. 14 > Links: Flächenanteile der spezifischen Landnutzung an den Einzugsgebieten. Rechts: Kumulative Verteilungen der gesamten Schweizer Fließstrecke (<1080 m ü. M) in Bezug auf die Landnutzungsanteile im Einzugsgebiet.

Rechts: Die x-Achse zeigt an, wie gross der Flächenanteil der Landnutzung in dem untersuchten Einzugsgebiet ist, die y-Achse zeigt an, wieviel Prozent aller Einzugsgebiete niedrigere bzw. höhere Landnutzungsanteile aufweisen. Beispiel: Ackerlandanteile Rhein: rund 70 % haben niedrigere und rund 30 % der Einzugsbiere haben höhere Ackerlandanteile.

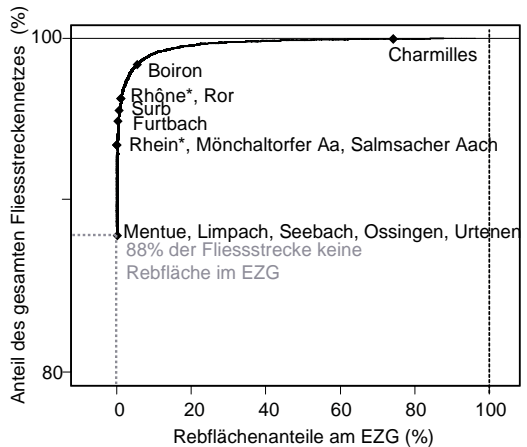
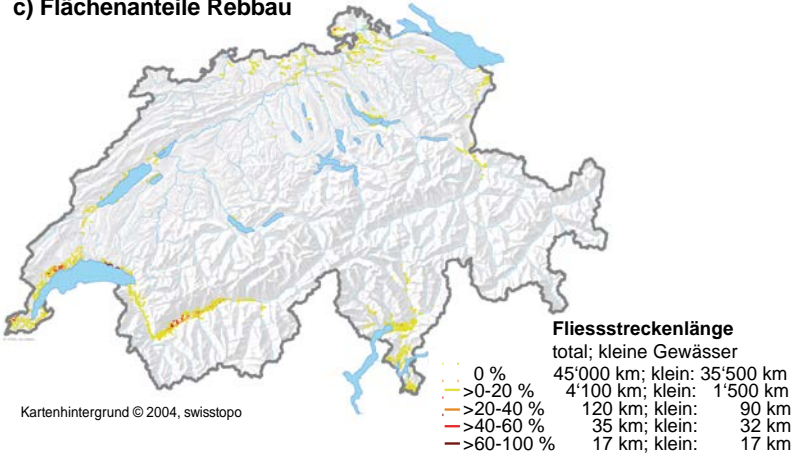
a) Flächenanteile Ackerland



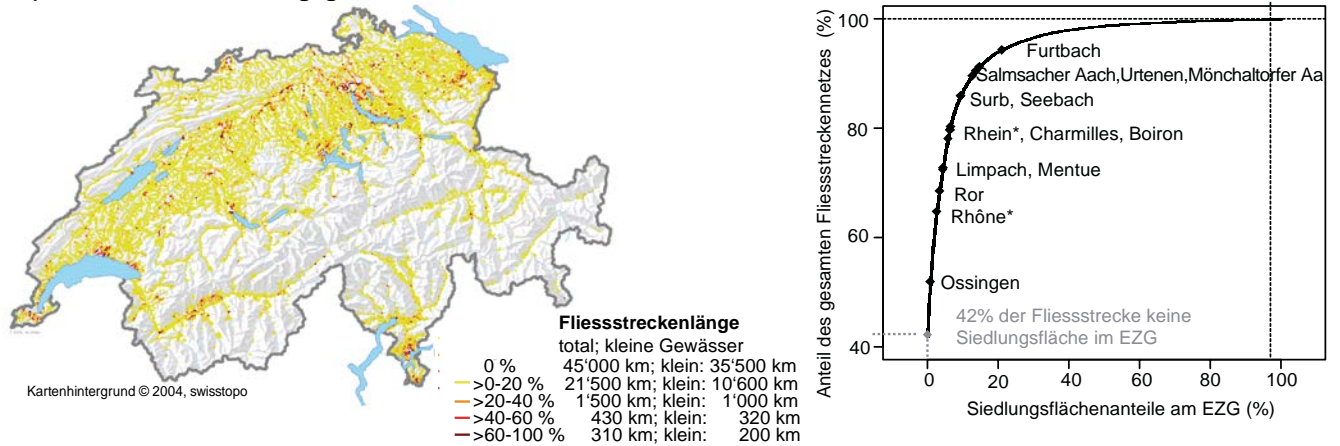
b) Flächenanteile Obstanbau



c) Flächenanteile Rebbau



d) Flächenanteile Siedlungsgebiet



*Bei Rhein und Rhône wurde nur der Schweizer Anteil der Einzugsgebiete berücksichtigt

4.1

Verunreinigung grosser Flie遝gewässer am Beispiel des Rheins

Die Tagesmischproben der internationalen Rheinüberwachungsstation in Weil am Rhein (RÜS) werden täglich auf über 300 Stoffe analysiert (Ruff et al. 2013). Das Einzugsgebiet des Rheins an dieser Stelle umfasst ca. zwei Drittel der Schweizer Landesfläche, inklusive grosser Teile des Mittellandes. Somit eignet sich dieser in der Schweiz einzigartige Datensatz ausgezeichnet, um die Verunreinigung grosser Gewässer mit Mikroverunreinigungen zu beurteilen.

Mikroverunreinigungen treten im Rhein bei Basel grösstenteils in Konzentrationen tiefer als 0,1 µg/l auf (Tab. 5). Von 114 mit ökotoxikologischen Qualitätskriterien beurteilbaren Stoffen (Oekotoxzentrum 2014; Strahm et al. 2014) überschritten nur die Spitzenkonzentrationen zweier Stoffe das jeweilige chronische Qualitätskriterium. In diesen tiefen Konzentrationen führen die Einzelstoffe sehr wahrscheinlich nicht zu Beeinträchtigungen der Wasserlebewesen. Eine Beurteilung der Mischung von Stoffen wurde nicht vorgenommen. Obwohl die Konzentrationen der Mikroverunreinigungen im Rhein und generell in grossen Flie遝gewässern sehr niedrig sind, sind die Gesamtfrachten, welche aus der Schweiz ausgetragen werden, hoch (Ruff et al. 2013). Die Schweiz ist deshalb bestrebt, die Gesamtfrachten im Rhein im Sinne der Oberliegerverantwortung, also der Verantwortung gegenüber den flussabwärts lebenden Menschen, tief zu halten.

Im Rhein werden organische Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen gemessen (Ruff et al. 2013). Höchste Konzentrationen werden für Stoffe wie Humanpharmaka, Lebensmittelzusatzstoffe, Additive oder Korrosionsschutzmittel nachgewiesen (Tab. 5).

Tägliche Analyse des Rheinwassers bei Basel

Stoffkonzentrationen gering, Gesamtfracht hoch

Stoffe aus ARA zeigen höchste Konzentrationen

Tab. 5 > Überblick über die stoffliche Verunreinigung im Rhein bei Basel im Jahr 2012 und deren Beurteilung mit chronischen Qualitätskriterien

untersuchte Stoffgruppen ¹	Anzahl Substanzen						Max. Konz (Wirkstoff)
	untersucht/ davon mit Qualitäts- kriterium ²	nach- gewiesen (> BG)	Max. konz. >0,01 µg/l <0,1 µg/l	Max. konz. >0,1 µg/l <1 µg/l	Max. konz. >1 µg/l	Max. konz > Qualitäts- kriterium ²	
PSM	68 / 56	25	12	1	-	-	0,12 µg/l (Mecoprop)
PSM/Biozide	14 / 12	9	5	-	-	-	0,07 µg/l (Terbutylazin)
Biozide	10 / 7	2	-	1	-	-	0,13 µg/l (DEET)
PSM/Biozide/TAM	3 / 3	1	-	-	-	-	0,003 µg/l (Diazinon)
TAM	5 / 3	1	1	-	-	-	0,02 µg/l (Sulfathiazol)
TAM/HAM	1 / 1	1	1	-	-	-	0,02 µg/l (Sulfamethoxazol)
HAM	91 / 18	45	29	5	-	1	0,61 µg/l (Metformin)
Schwermetalle	8 / 7	6	-	2	4	-	3,9 µg/l (Zink)
Mykotoxine ³	33 / 0	2	2	-	-	n.b.	0,012 µg/l (Deoxynivalenol)
Isoflavone ³	5 / 0	3	2	-	-	n.b.	0,04 µg/l (Formononetin)
PFC	10 / 1	1	-	-	-	1	0,008 µg/l (PFOS)
PCB ⁴	8 / 0	8	-	-	-	n.b.	0,0001 µg/l (PCB-138)
PAK ⁴	17 / 4	14	9	1	-	-	0,17 µg/l (Summe-PAK)
Bromierte Diphenylether ⁴ (Flammschutzmittel)	18 / 0	7	-	-	-	n.b.	0,004 µg/l (BDE-209)
Weitere ⁵	3 / 2	3	-	3	-	-	1,25 µg/l (Acesulfam)

Abkürzungen: Max.konz: Maximalkonzentration, PSM: Pflanzenschutzmittel; TAM: Tierarzneimittel; HAM: Humanarzneimittel, PFC: Perfluorierte Tenside, PCB: Polychlorierte Biphenyle, PAK: polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

n. b.: nicht beurteilbar, da kein Qualitätskriterium vorhanden

¹ PSM, Biozide: berücksichtigt wurden Wirkstoffe, die zwischen 2005 und 2012 mindestens zeitweise als PSM oder Biozid zugelassen waren

² Schwermetalle: Numerische Anforderungen aus GSchV; Rest: CQK, siehe Oekotoxzentrum (2014) und Strahm et al. (2014)

³ Gemessen an der Station Rhein Rekingen

⁴ In Schwebstoffphase gemessen

⁵ Lebensmittelzusatzstoff (Acesulfam), Additiv und Korrosionsschutzmittel

Ruff et al. 2013

Pestizide und Schwermetalle zählen zu den Stoffen, die zu einem grossen Teil über diffuse Eintragungspfade in Gewässer gelangen. Am häufigsten werden Pflanzenschutzmittelwirkstoffe nachgewiesen. Schwermetalle kommen im Rhein das ganze Jahr in vergleichsweise hohen Konzentrationen vor (Tab. 5). Bei den Schwermetallen kann

Pflanzenschutzmittel, Biozide und Schwermetalle

jedoch die geogene Hintergrundbelastung einen Grossteil der Gesamtbelastung ausmachen (siehe Tab. 6).

Tab. 6 > Durch die IKSR abgeschätzte geogene Hintergrundbelastung für Schwermetalle in unbeeinflusstem Flusswasser

Die realen Gehalte können je nach Geologie/Mineralogie des Einzugsgebietes für einzelne Gewässer erheblich von diesen Werten abweichen.

	Geogene Hintergrundbelastung (µg/l)
Cadmium	0,018
Kupfer	1,0
Zink	3,5
Blei	0,83
Chrom	2,5
Nickel	1,1
IKSR 2003	

Die Messungen im Rhein zeigen, dass Tierarzneimittelwirkstoffe nur im sehr tiefen ng/l-Bereich vorkommen. Die Maximalkonzentration des Antibiotikums Sulfathiazol betrug 20 ng/l. Aufgrund vorhandener Informationen zu Verbrauch, Persistenz und Mobilität kann davon ausgegangen werden, dass kein anderer Tierarzneimittelwirkstoff in wesentlich höheren Mengen über die diffusen Eintragswege in die Fliessgewässer eingetragen wird, als die häufig eingesetzten und relativ mobilen Wirkstoffe Sulfathiazol und Sulfamethazin (Götz 2012b).

Geringe Mengen Tierarzneimittel

Stoffe aus der Gruppe der natürlichen Toxine, zu denen die Isoflavone sowie die Mykotoxine gehören, wurden weiter rheinaufwärts in Rekingen ebenfalls entweder in sehr tiefen Konzentrationen oder gar nicht nachgewiesen.

Kaum Nachweis von natürlichen Toxinen

Zum Vergleich sind in Tabelle 5 zusätzliche umweltrelevante Stoffgruppen aufgeführt wie beispielsweise perfluorierte Tenside, PCB und PAK.

4.2 Verunreinigung mittlerer Fliessgewässer

Im Rahmen von NAWA SPEZ (Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität, problembezogene Spezialbeobachtung) wurden von Anfang März bis Ende Juli 2012 je neun Zweiwochenmischproben aus fünf mittleren Fliessgewässern auf über 500 unterschiedliche organische Mikroverunreinigungen untersucht, darunter viele Pestizide aber auch Humanpharmaka und weitere Stoffe aus dem Haushalt (NAWA SPEZ 2012; Wittmer et al. 2014b). Die Fliessgewässer befinden sich alle im Mittelland und wurden so ausgewählt, dass sie möglichst viele unterschiedliche Landnutzungen in ihren Einzugsgebieten enthalten (Abb. 13, Abb. 14 und Tab. 7). Einer der untersuchten Standorte, die Salmsacher Aach im Kanton Thurgau, hat keine ARA im EZG und ist somit nur durch diffuse Einträge (inklusive Stoffeinträge via Mischwasserüberlauf) geprägt.

NAWA SPEZ – Daten

Tab. 7 > Charakterisierung der Einzugsgebiete (EZG) der fünf Untersuchungsstandorte an mittleren Fließgewässern (NAWA SPEZ 2012)

Einzugsgebiet (EZG)	EZG-Fläche km ²	Gewässergrösse (FLOZ)	Landnutzung im EZG (%) ¹				Landnutzungsdichte im CH-Kontext ²	ARA ³ im EZG	MWÜ ⁴ im EZG
			Reben	Obst	Ackerland	Siedlung			
Salmsacher Aach	44,7	4	0,09	11	23	13	sehr hohe Obstdichte hohe Siedlungsdichte		x
Limpach	73,2	5	0	0,4	47	4	hohe Ackerlanddichte	x	x
Mentue	105,4	4	0	0,4	48	4	hohe Ackerlanddichte	x	x
Surb	66,3	4	0,7	0,9	32	9	hohe Siedlungsdichte	x	x
Furtbach	39,2	4	0,4	0,5	27	21	sehr hohe Siedlungsdichte	x	x

¹ Ackerland: Daten aus Arealstatistik (BFS); Reben, Obst, Siedlung: Daten aus VECTOR25 (swisstopo)

² sehr hoch / hoch / mittel: 95 % / 75 % / 50 % der Fließstrecke, in deren Einzugsgebiet die betrachtete Landnutzung vorkommt, haben einen kleineren Anteil dieser Landnutzung im Einzugsgebiet. Siehe dazu Abb. 14.

³ ARA: Abwasserreinigungsanlage

⁴ MWÜ: Mischwasserüberlauf

Strahm et al. 2013; Wittmer et al. 2014b

In der Salmsacher Aach werden nur wenige Humanpharmaka nachgewiesen, da es keinen ARA-Zulauf gibt. Dies verhält sich ähnlich für die perfluorierten Verbindungen sowie die Korrosionsschutzmittel oder Lebensmittelzusatzstoffe. Eine Ausnahme bilden Messungen von Metformin und Acesulfam, die auch in der Salmsacher Aach in Konzentrationen oberhalb von 0,1 µg/l gefunden wurden. Die Konzentrationen, dieser auch über den Mischwasserüberlauf eingetragenen Stoffe, waren jedoch deutlich niedriger als in den anderen Untersuchungsgebieten.

Salmsacher Aach ohne ARA

Insgesamt konnten 104 verschiedene Pestizide, hauptsächlich Pflanzenschutzmittel aus der Landwirtschaft, in den Proben aller fünf Fließgewässer nachgewiesen werden (durchschnittlich 40 Wirkstoffe pro Probe). In den Zweiwochenmischproben lagen die Spitzenkonzentrationen der meisten nachgewiesenen Pestizidwirkstoffe zwischen 0,01 µg/l und 1 µg/l (Tab. 8) (Wittmer et al. 2014b). Diese Spitzen sind deutlich höher als die höchsten im Rhein bei Basel gemessenen Pestizidkonzentrationen (Tab. 5).

104 verschiedene Pestizide nachgewiesen

Die numerische Anforderung der Gewässerschutzverordnung (0,1 µg/l) wurde von 31 verschiedenen Pestizidwirkstoffen nicht eingehalten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch die hohen Konzentrationen der Wirkstoffe die Biologie der untersuchten Gewässer beeinträchtigt wird, da Überschreitungen des chronischen Qualitätskriteriums (CQK) an allen fünf Standorten beobachtet wurden. Insgesamt wurden 19 Pestizide (Pflanzenschutzmittel und Biozide) in Konzentrationen oberhalb des CQK nachgewiesen (Tab. 8).

31 Pestizide überschreiten numerische Anforderung

Die Zweiwochenmischproben eignen sich gut, um die gemessenen Konzentrationen mit chronischen Qualitätskriterien zu vergleichen. Die kurzzeitig auftretenden Spitzenkonzentrationen in den Gewässern lagen jedoch wahrscheinlich um ein Vielfaches höher als die nachgewiesenen Konzentrationen. Es ist anzunehmen, dass es bei Erfassung der tatsächlichen Spitzenkonzentrationen auch zu einigen AQK Überschreitungen käme, da für fast die Hälfte der Stoffe das AQK höchstens 10-fach höher ist als das CQK und die Maximalkonzentrationen im Fließgewässer durchaus um einen Faktor

Maximalkonzentrationen vermutlich höher als Messwerte

10 höher liegen können als die durchschnittlichen Konzentrationen in Zweiwochenmischproben (Wittmer et al. 2014b).

Tab. 8 > Überblick über die stoffliche Verunreinigung in den fünf mittleren Fließgewässern (NAWA SPEZ 2012)

Beurteilung mittels chronischer Qualitätskriterien. Grau und in Klammern: Zahlen für die ausschliesslich durch diffuse Stoffeinträge verunreinigte Salmsacher Aach.

untersuchte Stoffgruppen ¹	Anzahl Substanzen						Gemessene Maximalkonzentration (Wirkstoff)
	nachgewiesen/ davon mit Qualitäts- kriterium ²	Max.konz. >0,01 µg/l <0,1 µg/l	Max.konz. >0,1 µg/l <1 µg/l	Max.konz. >1 µg/l	Max.konz. >Qualitäts- kriterium ²		
PSM	195 (48 / 48)	82 / 82 (22)	42 (8)	23 (-)	3 (3)	12 (0,38 µg/l [Metalaxyl-M])	1,5 µg/l (Metamitron)
PSM/Biozide	44 (11 / 11)	17 / 17 (5)	12 (2)	3 (-)	-	4 (1)	0,63 µg/l (Terbutylazin) (0,22 µg/l [Piperonyl butoxide])
Biozide	117 (2 / 2)	2 / 2 (2)	- (-)	2 (-)	-	1 (-)	0,52 µg/l (DEET) (0,06 µg/l [DEET])
PSM/Biozide/ TAM	3 (2 / 2)	3 / 3 (-)	2 (-)	-	-	2 (-)	0,04 µg/l (Diazinon) (0,009 µg/l [Diazinon])
TAM	3 (1 / 1)	2 / 2 (-)	1 (-)	-	-	-	0,01 µg/l (Sulfamethazin) (0,009 µg/l [Sulfamethazin])
TAM/HAM	1 (-)	1 / 1 (-)	1 (-)	-	-	-	0,08 µg/l (Sulfamethoxazol) (-)
HAM	91 (5 / 5)	49 / 16 (1)	24 (1)	17 (-)	1 (-)	2 (-)	2,6 µg/l (Metformin) (0,11 µg/l [Metformin])
PFC	10 (9 / 1)	10 / 1 (-)	3 (-)	-	-	1 (1)	0,04 µg/l (PFBA) (0,007 µg/l [PFOS])
Weitere ³	2 (1 / 0)	2 / 1 (-)	- (-)	- (1)	2 (-)	- (-)	16 µg/l (Acesulfam) (0,13 µg/l [Acesulfam])

Abkürzungen: Max.konz: Maximalkonzentration, PSM: Pflanzenschutzmittel; TAM: Tierarzneimittel; HAM: Humanarzneimittel; PFC: Perfluorierte Tenside

¹ PSM, Biozide: berücksichtigt wurden Wirkstoffe, die zwischen 2005 und 2012 mindestens zeitweise als PSM oder Biozid zugelassen waren

² chronisches Qualitätskriterium (CQK)

³ Lebensmittelzusatzstoff (Acesulfam) und Korrosionsmittel

Die ökotoxikologische Beurteilung in Tabelle 8 ist nicht abschliessend, da für viele Wirkstoffe keine CQK vorliegen. So konnte nur ein Drittel der nachgewiesenen Arzneimittelwirkstoffe anhand eines CQK beurteilt werden. Im Gegensatz dazu liegen für alle nachgewiesenen Pestizidwirkstoffe CQK vor.

Fehlende Qualitätskriterien für
Arzneimittelwirkstoffe

4.3

Verunreinigung kleiner Fließgewässer

Aufgrund den grossen Konzentrationsschwankungen geben vor allem Daten von intensiv beprobten Standorten Aufschluss über das Ausmass der Verunreinigung in kleinen Fließgewässern (siehe dazu auch Abb. 7 in Kapitel 2.3). In Tabelle 9 ist eine Übersicht von intensiv untersuchten Bächen und die Charakterisierung derer Einzugsgebiete auf-

Daten aus intensiv beprobten
Standorten

geführt, die mit wenigen Ausnahmen kleiner als 10 km² sind. An keinem der Standorte wird flussaufwärts gereinigtes Abwasser eingeleitet, so dass nur Einträge aus diffusen Quellen zu erwarten sind.

Messdaten intensiv beprobter Gewässer sind praktisch ausschliesslich für Pestizidwirkstoffe verfügbar, und oft auch nur für einige wenige Wirkstoffe. Diese werden ergänzt durch Messungen der Schwermetalle Zink und Kupfer aus dem Kanton Schaffhausen. Obwohl anhand dieser beiden Stoffgruppen das Ausmass der Verunreinigung nicht abschliessend beurteilt werden kann, geben die Daten wichtige Anhaltspunkte über das Ausmass der Verunreinigung mit Stoffen aus diffusen Quellen, da Pestizide und Schwermetalle zu den wichtigsten Stoffgruppen gehören, die über diffuse Eintragspfade in die Gewässer gelangen.

Ausschliesslich Messungen von Pestiziden und Schwermetallen

4.3.1 Pestizide

Die in Tabelle 9 zusammengefassten Messergebnisse von Pestiziden (Überbegriff für Pflanzenschutzmittel und Biozid) zeigen, dass in allen Bächen das akute Qualitätskriterium mindestens durch einen Stoff und maximal durch acht verschiedene Einzelstoffe überschritten wurde. Das heisst, dass die Biologie der Bäche durch die Spitzenkonzentrationen sehr wahrscheinlich mindestens kurzzeitig beeinträchtigt wurde. Auch die numerische Anforderung der GSchV wurde je nach Standort von mindestens vier und maximal 29 Wirkstoffen zum Teil sehr deutlich überschritten. Die Maximalkonzentrationen lagen in den meisten Fällen über 1 µg/l und in mehreren Bächen sogar über 10 µg/l. Verglichen mit dem Rhein (Tab. 5) oder der Salmsacher Aach (Tab. 8) wurden in diesen kleinen Bächen also um mindestens einen Faktor 100 bzw. einen Faktor 10 höhere Konzentrationen gemessen.

Überschreitung akuter Qualitätskriterien in jedem Bach mind. einmal

Die Untersuchungen in kleinen Bächen zeigen die starke Verunreinigung dieser Gewässer mit Pestiziden. Die gemessenen Pestizidverunreinigungen stammen vor allem aus der Landwirtschaft und in geringerem Mass aus dem Siedlungsbereich (z. B. Doppler et al. 2012; Leu et al. 2004a; Wittmer et al. 2011). Ob es sich dabei um Einzelfälle handelt oder inwieweit sich dieser Befund verallgemeinern lässt, kann über die Landnutzung in den Einzugsgebieten der untersuchten Standorte grob abgeschätzt werden (siehe Kapitel 3).

Pestizide vor allem aus Landwirtschaft

Alle untersuchten Standorte haben im Vergleich zum gesamten Schweizer Fließgewässernetz in ihren Einzugsgebieten einen hohen oder gar sehr hohen Flächenanteil mindestens einer der Landnutzungen Reben, Obst, Ackerland oder Siedlung, von welchen ein Pestizideintrag in die Gewässer zu erwarten ist (Abb. 14, Tab. 9). Am aussergewöhnlichsten ist die Situation im Einzugsgebiet des Ruisseau des Charmilles, welches zu 75 % für den Rebbau genutzt wird. Ähnlich hohe Belastungen, verursacht durch Pflanzenschutzmitteleinsatz in Rebbaugebieten, sind nur lokal zu erwarten, da nur ca. 17 km der Gesamtlänge der Fließgewässer in der Schweiz mehr als 60 % Reben in ihrem Einzugsgebiet aufweisen (Abb. 14 links).

Hohen Flächenanteil der Landwirtschaft im Einzugsgebiet

Tab. 9 > Überblick über die stoffliche Verunreinigung ausgewählter, umfassend untersuchter, kleiner Fließgewässer und Charakterisierung ihrer Einzugsgebiete

Daten aus kantonalen Messungen (GE, TG, BE, SH) und Feldstudien der Eawag. Zu beachten ist, dass an drei der zwölf Standorte Wochenmischproben analysiert wurden (sonst mehrere Proben pro Regenereignis) und somit die gemessenen Konzentrationen nicht den absoluten Spitzen entsprechen.

Einzugsgebiet (EZG)	EZG-Fläche km ²	Gewässergrösse (FLOZ)	Jahr	Anzahl Substanzen ²						Max.konz. (Wirkstoff)	Landnutzung im EZG ³				Ref. ⁴
				nachgewiesen unter-sucht	(>BG)/davon mit AQK	>0,1–1 µg/l	>1–10 µg/l	>10 µg/l	Max.konz. > AQK		Reben	Obst	Ackerland	Siedlung	
Ruisseau des Charmilles	1,2	2	2008	68	49 / 30	15	6	3	4	15 µg/l (Iprovalicarb)	74 %	0,6 %	3 %	6 %	a
			2009	58	38 / 25	7	7	4	5	14,5 µg/l (Iprovalicarb)					
			2010	74	58 / 34	18	9	2	8	17,7 µg/l (Diuron)					
			2011	78	48 / 30	19	5	0	3	2,2 µg/l (Iprovalicarb)					
			2012	87	43 / 27	16	4	0	2	1,9 µg/l (Tebufenozide)					
Grenzbach ¹	0,4	2	2008	36	13 / 10	9	0	1	1	12,3 µg/l (Metalaxyl-M)	0 %	13 %	21 %	7 %	b
			2010	30	15 / 10	6	3	0	1	7,1 µg/l (Metalaxyl-M)					
Geusenbach ¹	4,2	1	2009	30	19 / 13	9	0	0	1	0,8 µg/l (Napropamide)	0 %	22 %	37 %	15 %	b
Seebach	7,5	2	2005	4	4 / 4	0	4	0	3	3,8 µg/l (S-Metolachlor)	0 %	1 %	62 %	9 %	c
			2006	7	5 / 5	1	1	3	4	16,9 µg/l (S-Metolachlor)					
Müsche	21,6	3	2010	36	25 / 23	4	1	0	1	1,9 µg/l (S-Metolachlor)	0 %	1 %	49 %	5 %	c
Urtenen	34,4	3	2010	36	31 / 28	14	3	0	4	8,5 µg/l (MCPA)	0 %	0,3 %	32 %	15 %	c
Hallau ¹	2	1	2012	18	14 / 13	8	2	0	2	2,1 µg/l (Metamitron)	0,7 %	0 %	57 %	0,6 %	d
Ossingen	1	1	2007	7	7 / 6	2	2	3	3	28,6 µg/l (Terbuthylazin)	0 %	0,1 %	73 %	0,8 %	e
Ror	1,9	2	2000	3	3 / 3	0	3	0	2	7,8 µg/l (Atrazin)	1 %	3 %	31 %	3 %	f
			1999	1	1 / 1	0	0	1	1	31 µg/l (Atrazin)					
Isert	1,9	1	1999	1	1 / 1	0	0	1	1	14 µg/l (Atrazin)	0 %	1 %	23 %	7 %	g
Hessenwis	4,7	2	2007	12	12 / 11	4	3	0	4	2,8 µg/l (Diazinon)	0,2 %	3 %	27 %	8 %	h
Tägernau	10	3	2007	12	12 / 11	7	1	0	2	2,2 µg/l (Glyphosat)	0,02 %	2 %	14 %	10 %	h

Abkürzungen: Max.konz: Maximalkonzentration, AQK = Akutes Qualitätskriterium; ¹ Probenahme: Wochenmischproben; ² nur Wirkstoffe berücksichtigt, die mindestens zeitweise zwischen 2005 und 2012 als Pflanzenschutzmittel und/oder als Biozid zugelassen waren (Metaboliten nicht berücksichtigt); ³ Ackerland: Daten aus Arealstatistik (BFS); Reben, Obst, Siedlung: Daten aus VECTOR25 (swisstopo); ⁴ Referenzen: a: Service de l'écologie de l'eau (DIM) Kt Genf, b: Amt für Umwelt Kt Thurgau, c: Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, d: Interkantonales Labor, Umweltschutz SH, e: Doppler et al. (2012), f: Leu et al. (2004b), g: Leu et al. (2005), h: Wittmer et al. (2010).

In ackerbaulich geprägten Einzugsgebieten liegen die Maximalkonzentrationen einzelner Pestizide zwischen 2 µg/l und 31 µg/l (Seebach, Müsche, Hallau, Ossingen, Ror, Isert, Grenzbach und Geusenbach, Tab. 9). Die Einträge dieser Pestizide können, neben Einträgen verursacht durch unsachgemässen Umgang, auf Einträge von Ackerflächen zurückgeführt werden. Die Einzugsgebiete der Standorte Seebach, Müsche, Hallau und Ossingen weisen einen vergleichsweise hohen bzw. sehr hohen Ackerlandanteil auf (ca. 50–75 %). Einzugsgebiete mit ähnlich hohem Ackerlandanteil finden sich an 2700 km der Fließstrecke kleiner Gewässer in der Schweiz. Weitere 2800 km kleiner Fließgewässer entwässern Gebiete, die zwischen 20 % und 40 % Ackerlandfläche aufweisen, was den Anteilen am Standort Ror, Isert und Hessenwis entspricht. Es kann also davon ausgegangen werden, dass auf insgesamt 5500 km mit ähnlich hohen Belastungen an Pestiziden zu rechnen ist, wie bei den untersuchten Fließgewässern (Abb. 14).

Wie aus dem Ackerland ist auch aus den Siedlungsflächen die Belastung durch den Eintrag von Pestiziden verbreitet zu erwarten. Ein Beispiel für Pestizidverunreinigungen aus dem Siedlungsbereich ist die in der Urtenen gemessene Maximalkonzentration von 8,5 µg/l des Pflanzenschutzmittels MCPA, welches auch in Privatgärten eingesetzt wird (Tab. 9). Dieses stammt laut Experten des AWA Bern von einem Eintrag aus der Siedlung. Der als Biozid und Pflanzenschutzmittel zugelassene Wirkstoff Diuron erreichte zudem am Standort Tägernau Konzentrationen über 0,1 µg/l und somit einen Wert deutlich über dem akuten Qualitätskriterium (Tab. 9). Diuron stammt in diesem Fall mit grosser Wahrscheinlichkeit aus der Anwendung als Biozid und somit aus der Siedlung, da es im Einzugsgebiet keine Reben bzw. Obstkulturen gibt, die als Diuronquelle in Frage kämen (Wittmer et al. 2010). Rund 10 % der Fließstrecke der kleinen Fließgewässern weisen mehr als 10 % Siedlungsfläche im Einzugsgebiet und somit einen ähnlich hohen Flächenanteil auf wie in den Einzugsgebieten der Urtenen und der Tägernau (Tab. 9, Abb. 14).

Eine schweizweite Auswertung von rund 66 000 Pestizidmessdaten, die in den Jahren 2005 bis 2012 durch die kantonalen Gewässerschutzfachstellen und die Cipel (internationale Kommission für den Schutz des Genfersees) erhoben wurden, bestätigt die verbreitete höhere Verunreinigung mit Pestiziden der kleinen Fließgewässern im Vergleich zu den mittleren und grossen Fließgewässern (Munz et al. 2012). Dies obwohl in vielen dieser Untersuchungen die Spitzenkonzentrationen in der Regel nicht erfasst wurden. Die Auswertung zeigte, dass an 74 % der 160 Standorte an kleinen Gewässern Pestizidwirkstoffe mindestens einmal über der numerischen Anforderung der GSchV gemessen wurden und insgesamt 80 verschiedene Wirkstoffe diese Anforderung nicht eingehalten haben. Der überwiegende Teil dieser Standorte weist keine Abwasserreinigungsanlage im Einzugsgebiet auf, so dass die Belastung ausschliesslich auf diffuse Einträge zurückzuführen ist.

Hoher Pestizideintrag auch aus Siedlung

Schweizweit verbreitete Verunreinigung von kleinen Gewässern

4.3.2 Schwermetalle

Die Schwermetallbelastung kleiner Fließgewässer kann anhand von Messdaten des Kantons Schaffhausen in drei kleinen Bächen gezeigt werden (Tab. 10). An vier Standorten wurden im Jahr 2013 Wochenmischproben genommen und auf Kupfer und Zink untersucht (gelöste Fraktion). Im Begginger Bach, in den sowohl der Chälengraben als auch der Hobilibach münden, wurden ober- und unterhalb der ARA Proben genommen.

Das Einzugsgebiet aller vier Standorte besteht überwiegend aus Ackerland und Grünland mit geringem Siedlungsanteil und wenig Obstbau. Reben finden sich in keinem der Einzugsgebiete.

Tab. 10 > Mittlere und maximale Schwermetallkonzentrationen in Wochenmischproben von vier Standorten im Jahr 2013

Einzugsgebiet (EZG)	Gewässergrösse (FLOZ)	Kupfer (µg/l)		Zink (µg/l)		Landnutzung im EZG			
		Maximum	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Grünland	Obst	Ackerland	Siedlung
Chälengraben	1	3,87	1,67	13,49	6,13	11 %	1,0 %	18 %	0 %
Hobilibach	2	4,12	2,26	29,35	8,63	11 %	0,3 %	45 %	1 %
Begginger Bach vor ARA	2	5,38	2,43	19,24	7,16	12 %	0,7 %	37 %	4 %
Begginger Bach nach ARA	2	8,06	2,91	40,93	10,92	12 %	0,7 %	37 %	4 %

Daten Interkantonales Labor, Kt. Schaffhausen

Die Mittelwerte der Kupfer- bzw. Zink-Konzentrationen liegen an allen vier Standorten oberhalb der geogenen Hintergrundbelastung (vgl. Tab. 6) und im Bereich oder über den numerischen Anforderungen der GSchV (2 µg/l für Kupfer (gelöst) und 5 µg/l für Zink (gelöst)). Unterhalb der ARA Beggingen finden sich die höchsten Werte für Kupfer und Zink (sowohl Mittel- als auch Maximalwerte). Verglichen mit den Werten vom Hobilibach, dessen Einzugsgebiet keinen Siedlungsanteil aufweist, liegen die Werte unterhalb der ARA jedoch nur leicht höher. Daraus kann in diesen Einzugsgebieten geschlossen werden, dass ein erheblicher Anteil der Belastung der Fließgewässer mit Kupfer und Zink aus landwirtschaftlichen Quellen stammt. In Einzugsgebieten mit deutlich höherem Anteil an Siedlungsgebieten muss jedoch davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Schwermetallbelastung, der aus der Landwirtschaft stammt, an Bedeutung verliert.

Kupfer und Zink

Kupfer und Zink aus ARA und Landwirtschaft

4.4

Fazit

Eine Vielzahl an Messdaten zeigen, dass diffuse Einträge vor allem in kleinen Fließgewässern sehr hohen Konzentrationen von Mikroverunreinigungen verursachen, welche häufig über den chronischen und zum Teil sogar über den akuten Qualitätskriterien liegen. Auch in mittleren Gewässern werden Überschreitungen von chronischen Qualitätskriterien gemessen. In grossen Fließgewässern ist nur bei vereinzelt Stoffen das Konzentrationsniveau ein Problem.

Hohe Konzentrationen vor allem in kleinen Fließgewässern

Ein Vergleich der vorhandenen Messdaten mit der Landnutzung der Schweiz (Kapitel 3) zeigte, dass die untersuchten Gebiete kein Einzelfall sind, sondern dass auf mehreren tausend Kilometern der Schweizer Fließgewässer mit Überschreitungen von Qualitätskriterien von verschiedenen Stoffen gerechnet werden muss.

Untersuchte Gebiete kein Einzelfall

Wie die Messdaten aus den Einzugsgebieten mit ausschliesslich diffusen Quellen zeigen, sind die Fließgewässer zum Teil stark belastet, ohne dass eine ARA in sie entwässert. Von den diffus eingetragenen Stoffgruppen sind die Pflanzenschutzmittel, gefolgt von Bioziden und Schwermetallen, die relevantesten. Chemikalien aus dem Haushalt scheinen für Gewässer mit nur diffusen Einträgen von untergeordneter Bedeutung zu sein, auch wenn Mischwasserüberläufe vorhanden sind.

Pflanzenschutzmittel gefolgt von Bioziden und Schwermetallen am relevantesten

5 > Modellbasierte Abschätzung der Gewässerbelastung durch diffus eingetragene Mikroverunreinigungen

Vorhandene Messdaten zeigen in vielen Untersuchungsgebieten, insbesondere in kleinen Gewässern, hohe Konzentrationsspitzen und auch Überschreitungen von ökotoxikologisch basierten Qualitätskriterien (Kapitel 4). Landnutzungsanalysen deuten darauf hin, dass diese gemessenen Überschreitungen nicht nur einzelne Phänomene sind, sondern dass vermutlich grössere Strecken des Schweizer Fliessgewässernetzes betroffen sind (Kapitel 4 und Strahm et al. 2013). Eine konsistente Abschätzung der erwarteten Konzentrationsbereiche für das gesamte Fliessstreckennetz fehlt jedoch. Hinzu kommt, dass nicht zu allen als relevant identifizierten Stoffen und Quellen (Kapitel 2) Messungen vorliegen und deshalb eine umfassende Priorisierung der Stoffe und Quellen schwierig ist. Um diese Lücken zu schliessen, wurde von Strahm et al. (2014) ein einfaches Modell zur Abschätzung der Gewässerbelastung durch diffuse Mikroverunreinigungen entwickelt. Eine detaillierte Beschreibung des Modellansatzes, der verwendeten Inputdaten sowie weitere Informationen zum Vergleich der Modellergebnisse mit Messdaten finden sich im Expertenbericht von Strahm et al. (2014).

Modell, um schweizweite Belastung abzuschätzen

5.1 Modellansatz und ausgewählte Stoffe

Das Modell schätzt in einem ersten Schritt jährliche Emissionen (Frachten) in das Gewässer eines spezifischen Einzugsgebietes ab. Im zweiten Schritt werden Jahresdurchschnittskonzentrationen berechnet, indem die Frachten durch Jahresabflüsse geteilt werden. Die Frachten werden entweder basierend auf einzugsgebietspezifischen Einsatzmengen und allgemeinen Verlustraten berechnet (z. B. 2% Verlust für alle Pflanzenschutzmittel) oder basierend auf gemessenen Konzentrationen und dazugehörigen Abfluss eines diffusen Eintrags (z. B. der Konzentration von Kupfer im Strassenabwasser und der Menge des anfallenden Strassenabwassers). Die einzugsgebietspezifischen Abflüsse und Einsatzmengen wurden aufgrund der Landnutzungsanalyse (Kapitel 3) berechnet. Zu den schweizweit eingesetzten oder zur Verfügung stehenden Stoffmengen lagen je nach Einsatz unterschiedlich gute Daten vor. So standen für die Pflanzenschutzmittel nationale Verkaufsstatistiken in groben Kategorien (z. B. 0–1 t, 1–5 t) zur Verfügung (BLW 2010), für Tier- und Humanarzneimittel teilweise Verkaufsdaten (Swissmedic) und für Biozide Expertenabschätzungen (Burkhardt und Dietschwiler 2013; FriedliPartner et al. 2007; Kupper 2013). Für die natürlichen Toxine wurden Produktionsraten aus Feldstudien der Schweiz verwendet (Hartmann et al. 2007; Hoerger et al. 2011; Schenzel et al. 2012).

Abgeschätzte Stofffrachten geteilt durch Jahresabflüsse

Die berechneten Konzentrationen wurden mit chronischen Qualitätskriterien (CQK) verglichen, indem die Konzentration durch den Wert des CQK geteilt wurde. Werte grösser eins zeigen dabei ein potenzielles Risiko an.

Vergleich mit chronischen Qualitätskriterien

Für das Modell wurden 180000 Gewässerabschnitte und korrespondierende Einzugsgebiete definiert (Strahm et al. 2013, Kapitel 3). Somit wurden auch die kleinen Gewässer berücksichtigt. Für jeden der entsprechenden 180000 Gewässerabschnitte wurden die Konzentrationen aller ausgewählten Stoffe berechnet.

Berechnung der Konzentration auch für kleine Gewässer

Für die Modellierung wurden Stoffe ausgewählt, die in den Datensammlungen und Fachartikeln von Experten als gewässerrelevant beurteilt worden waren (siehe Kapitel 2.1) und für die eine genügende Datengrundlage vorhanden war (Strahm et al. 2014). Insgesamt wurden 158 Einzelstoffe aus den Quellen Landwirtschaft, Siedlung, Verkehr und Deponien berücksichtigt. Darunter sind 99 Pflanzenschutzmittel, 21 Tierarzneimittel, neun Biozide, drei natürliche Toxine, vier Hormone aus dem Siedlungsbereich, elf Schwermetalle, zehn Humanarzneimittel und zehn weitere Stoffe, welche in den Datensammlungen als für die Wasserphase relevant erachtet wurden (man beachte, dass einzelne Stoffe zu mehreren Stoffgruppen gehören können).

Stoffauswahl basierend auf Expertenwissen

Stoffspezifische Eigenschaften wurden insofern im Modell nicht berücksichtigt, dass beispielsweise für alle Pflanzenschutzmittel die gleiche Verlustrate definiert wurde. Bei einigen Stoffen ist jedoch aufgrund der Stoffeigenschaften ein relevanter Gewässereintrag, abgesehen von Direkteinträgen (z. B. via Hofablauf bei der Gerätereinigung), sehr unwahrscheinlich. Daher wurden Pflanzenschutzmittel- und Biozidwirkstoffe, die sich sehr schnell abbauen (Halbwertszeit $DT_{50} < 1$ Tag) oder extrem stark sorbieren (K_{oc} -Wert > 10000 oder $\text{Log}K_{ow} > 5$), ausgeschlossen.

Stoffspezifische Eigenschaften nur teilweise berücksichtigt

5.2 Resultate

5.2.1 Gültigkeit des Modells

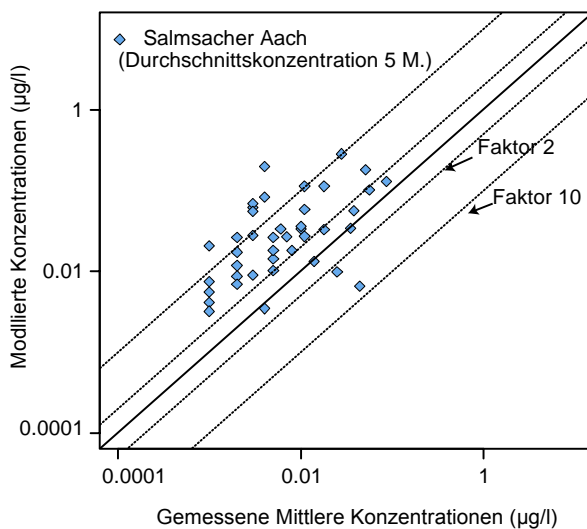
Aufgrund der teils grossen Unsicherheiten bei den Inputdaten und im Modellansatz, ist eine Plausibilisierung und Einordnung der Modellresultate wichtig. Im Modell werden Jahresmittelkonzentrationen berechnet. Es wurden deshalb in einem ersten Schritt die Modelresultate mit den Mittelwerten der gemessenen Konzentrationen des Nawa SPEZ Screenings in der Salmsacher Aach verglichen, wo während rund fünf Monaten kontinuierlich verschiedene Stoffe gemessen wurden (Abb. 15a). Der Vergleich zeigt, dass bei den allermeisten Stoffen die modellierten Konzentrationen um weniger als einen Faktor 10 von den gemessenen Konzentrationen abweichen, wobei deutlich mehr Stoffe überschätzt als unterschätzt werden. Dies bedeutet, dass die Modellierung eher einer Worst-Case Situation eines mittelgrossen Gewässers entspricht aber durchaus in einem realen Bereich liegt.

Modell zeigt Worst-Case-Konzentrationen

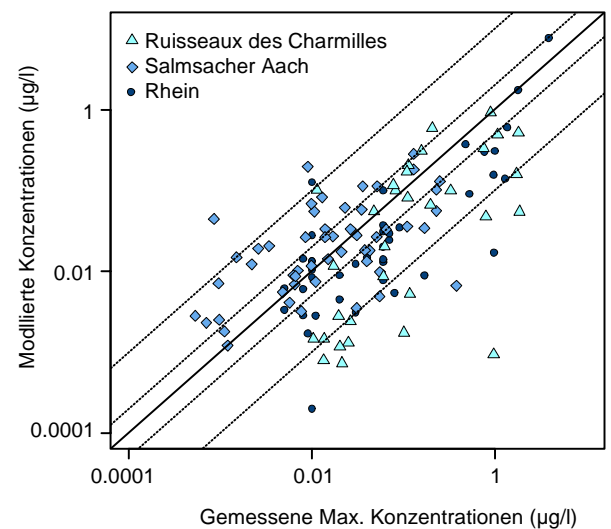
Abb. 15 > Vergleich von gemessenen mit modellierten Konzentrationen und Maximalkonzentrationen in verschiedenen grossen Gewässern

a) Vergleich von gemessenen 5 Monats-Durchschnittskonzentrationen (Werte < Bestimmungsgrenze wurden als 0 angenommen) und modellierten Jahresdurchschnittskonzentrationen. b) Vergleich mit Maximalkonzentrationen in verschiedenen grossen Gewässern: grosses Fließgewässer, Rhein bei Basel; mittleres Fließgewässer, Salsmischer Aach; kleines Fließgewässer, Ruisseau des Charmilles.

a) Vergleich mit gemessenen mittleren Konzentrationen



b) Vergleich mit gemessenen Maximalkonzentrationen



Messdaten: Rhein: RÜS 2012, organische Mikroverunreinigungen: Tagesmischproben, Schwermetalle: Zweiwochenmischproben;
Salsmischer Aach: Zweiwochenmischproben, 2012;
Ruisseau des Charmilles: Stich-, Tages- und Wochenmischproben, 2012

Um zu prüfen, ob die Modellierung bei verschiedenen Gewässergrößen gültig ist, wurden die Datensätze von drei umfassend untersuchten Fließgewässern unterschiedlicher Größe mit den modellierten Resultaten verglichen. Dazu wurden Messdaten vom Rhein bei Basel (grosses Gewässer), der Salsmischer Aach (mittleres Gewässer) und der Ruisseau des Charmilles (kleines Gewässer) verwendet. Das mittlere und das kleine Gewässer sind nur durch diffuse Einträge und der Rhein bei Basel zusätzlich durch Einträge aus Punktquellen (ARA) belastet. Diese wurden für die Überprüfung ebenfalls berücksichtigt.

Vergleich mit verschiedenen
grossen Gewässern

Für den Vergleich wären wiederum gemessene Jahresmittelkonzentrationen am besten. Aus den vorliegenden Messdatensätzen lassen sich jedoch nur bei der Salsmischer Aach aussagekräftige 5-Monatsmittelkonzentrationen bestimmen. Es wurden deshalb für den Vergleich der Gewässer unterschiedlicher Größe an allen Stationen gemessene Maximalkonzentrationen verwendet. Beim Rhein bei Basel basieren die gemessenen Konzentrationen auf Tagesmischproben, in der Salsmischer Aach auf Zweiwochenmischproben und im Ruisseau des Charmilles auf Proben von unterschiedlicher Dauer (Stichproben, Tagesmischproben, Wochenmischproben).

Vergleich mit gemessenen
Maximalkonzentrationen

Die meisten modellierten Jahresdurchschnittskonzentrationen des Rhein bei Basel und der Salmsacher Aach weichen um weniger als einen Faktor 10 von den gemessenen Maximalwerten ab (Abb. 15b). Die modellierten Konzentrationen liegen an diesen Standorten sowohl über als auch unter den Maximalkonzentrationen. Die gemessenen Maximalkonzentrationen im Ruisseau des Charmilles, ein kleines Gewässer, liegen aber zum Teil deutlich über den modellierten Konzentrationen.

Modellierte Jahresdurchschnittskonzentrationen im Bereich der gemessenen Maximalwerte

Der Vergleich zeigt, dass die Modellkonzentrationen in Bezug auf Halbjahresmittelkonzentrationen erhöht sind (Abb. 15a), dass sie jedoch im Bereich der Maximalkonzentrationen von Zweiwochenmischproben liegen (Abb. 15b, Salmsacher Aach). Dies zeigt, dass ein Vergleich mit chronischen Qualitätskriterien sinnvoll ist (Wittmer et al. 2014a) beziehungsweise ein Vergleich mit akuten Qualitätskriterien nicht zweckmässig ist, da das Modell keine absoluten Spitzenkonzentrationen, wie dies die Daten des Ruisseau des Charmilles darstellen, abbildet.

Vergleich mit chronischen Qualitätskriterien ist sinnvoll

Ob die Konzentrationen einer Stoffgruppe systematisch unter- oder überschätzt wurde, wurde mit Messungen im Rhein bei Basel untersucht, welche in Bezug auf die Stoffvielfalt und Messfrequenz am umfangreichsten sind. Es zeigte sich, dass keine der betrachteten Stoffgruppen systematisch über- oder unterschätzt wird (Strahm et al. 2014).

Keine Stoffgruppe wird systematisch über- oder unterschätzt

Die Plausibilisierung zeigte, dass das Modell einen guten Überblick über die Belastungssituation des 65 000 km langen Gewässernetzes gibt. Bei der Interpretation einzelner Stoffe und einzelner Gebiete ist jedoch grosse Vorsicht geboten. Eine solche macht nur mit Zusatzinformationen über die Stoffe und die Gebiete Sinn. Dabei fallen die Ungenauigkeiten bei kleinen Gebieten mehr ins Gewicht als bei grossen. Zudem sind die Abschätzungen für diffuse Stoffquellen mit grossen Unterschieden in der Stoffanwendung und vielen verschiedenen Stoffen wie in der Landwirtschaft heikler als beispielsweise bei Strassen, wo nur einige wenige Stoffe vorkommen.

Modell gibt guten Überblick, doch Vorsicht auf Stoff- und Einzugsgebietsebene

5.2.2 Überschreitungen von Qualitätskriterien

5.2.2.1 Verbreitung der Belastung

Die Modellierung deutet darauf hin, dass in grossen Teilen des Schweizer Fließgewässernetzes Überschreitungen der chronischen Qualitätskriterien (Fall B in Abb. 8) durch eine Vielzahl von Stoffen aus unterschiedlichen Quellen nicht ausgeschlossen werden können. Hohe Belastungen sind besonders in der tieferliegenden Hälfte der Schweiz (unterhalb 1080 m ü. Meer), also dem Mittelland und den Talebenen, zu erwarten. Die Fließstrecke, für welche mindestens eine Überschreitung berechnet wurde, beträgt rund 19 000 km, was etwas mehr als einem Viertel des gesamten Gewässernetzes entspricht (Abb. 16).

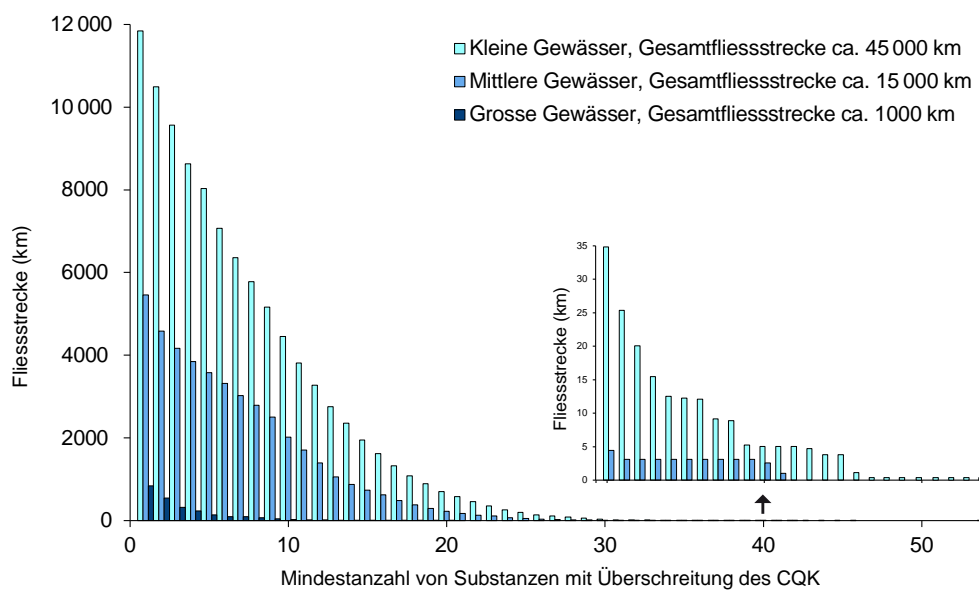
Auf >25 % des Gewässernetzes mind. eine Überschreitung des CQK

Mit bis zu 50 Stoffen ist die maximale Anzahl an Überschreitungen des CQK in kleinen Fließgewässern am höchsten (Abb. 16). Aber auch in Gewässerabschnitten von mittleren und grossen Fließgewässern muss mit mehreren Stoffen gerechnet werden, die das CQK überschreiten. Neben der grösseren Anzahl an Stoffen mit Überschreitungen ist in kleinen Fließgewässern auch die gesamte Fließstrecke länger, in der jeweils mit derselben Anzahl an Überschreitungen gerechnet werden muss. Gemäss Modell überschreitet in kleinen Fließgewässern auf rund 12 000 km (25 % der Gesamtlänge der kleinen Gewässern) mindestens ein Stoff sein CQK. Bei mittleren Fließgewässern sind es noch etwa 6000 km (40 % der Gesamtlänge der mittleren Gewässern) und in grossen Fließgewässern knapp 1000 km (fast 100 % der Gesamtlänge der grossen Gewässer).

Anzahl Stoffe mit
Überschreitungen in kleinen
Gewässern am höchsten

Abb. 16 > Berechnete Überschreitungen von chronischen Qualitätskriterien (CQK) in unterschiedlich grossen Fließgewässern

Die Grafik liest sich wie folgt: auf rund 12 000 km Fließstrecke kleiner Fließgewässer überschreitet mindestens ein Stoff, auf 10 500 km mindestens zwei Stoffe, das CQK.



5.2.2.2 Durch einzelne Stoffgruppen beeinflusste Fließstreckenlängen

Vergleicht man die Stoffgruppen untereinander, so zeigt sich, dass für einzelne Stoffe aus den Gruppen «Pflanzenschutzmittel», «Schwermetalle» und «Biozide» die längsten beeinflussten Strecken berechnet werden. Insgesamt machen Pflanzenschutzmittel mehr als 80 % der Stoffe aus, die auf mehr als 100 km Fließstrecke das CQK überschreiten (Tab. 11).

Pflanzenschutzmittel verant-
wortlich für die meisten
Überschreitungen

Tab. 11 > Anzahl modellierte Stoffe, davon mit chronischem Qualitätskriterium (CQK) sowie die Anzahl Stoffe, die auf mehr als 100 km Fließstrecke das CQK überschreiten

Stoffgruppe	Anzahl modellierte Stoffe	Anzahl Stoffe mit CQK	Anzahl Stoffe, Konz.> CQK auf mehr als 100 km
Metalle ¹	11	8	8
PSM ²	95	90	53
PSM/Biozide ³	3	3	3
Biozide ²	6	5	4
Humanarzneimittel ⁴	9	8	6
Tierarzneimittel ⁴	20	6	0
Hormone	4	4	4
natürliche Toxine	3	0	0
Weitere	6	4	0

PSM: Pflanzenschutzmittel

¹ ohne geogenen Anteil

² ohne Kupfer

³ Ebenfalls in dieser Kategorie ist Mecoprop, welches nicht in der Biozidproduktverordnung zugelassen ist, aber als Materialschutz verwendet wird

⁴ ohne Sulfamethoxazol, welches als Human- und Tierarzneimittel zugelassen ist

Pflanzenschutzmittel

Für mehr als die Hälfte der modellierten Pflanzenschutzmittel werden CQK-Überschreitungen auf unterschiedlich langen Fließstrecken abgeschätzt. Wobei gewisse Stoffe ihr CQK auf bis zu 20 % der gesamten Fließstrecke überschreiten. Die hohe potenzielle Belastung der Gewässer durch eine Vielzahl von Pflanzenschutzmitteln wird durch Messdaten verschiedenster Monitoringprogramme bestätigt (vgl. Kapitel 4). Die Auswertungen der Stoffe, welche keine CQK Überschreitungen aufwiesen, zeigen, dass diese entweder schweizweit nur in sehr kleinen Mengen verwendet werden oder für Wasserlebewesen nicht sehr toxisch sind.

>50 % der modellierten Pflanzenschutzmittel überschreiten CQK

Insbesondere hochtoxische Insektizide zeigen auf grossen Strecken eine hohe potenzielle Gewässerbelastung an. Da Insektizide zum Teil analytisch schwierig zu erfassen sind, bzw. die Nachweisgrenzen weit oberhalb der CQK liegen, gibt es kaum aussagekräftige Messdaten zu diesen Stoffen. Hier liegt ein grosser Vorteil des Modells, aber gleichzeitig auch ein gewisser Nachteil: Für einige Stoffe zeigt das Modell eine reale Belastung an, die mit Messdaten nicht fassbar ist. Jedoch ist die Belastung durch gewisse Stoffe mit niedrigen Anwendungsmengen (<1000 kg) und sehr niedrigen Qualitätskriterien, wie das bei einigen hochtoxischen Insektiziden der Fall ist, höchstwahrscheinlich massiv überschätzt. Der Grund für diese Überschätzung liegt in der Unsicherheit der Inputdaten. Die zur Verfügung stehenden Verkaufsstatistiken pro Stoff weisen die verkaufte Menge in Kategorien aus. Die kleinste Kategorie reicht von >0–1 t. Dies kann im ungünstigsten Fall zu einer Überschätzung von mehr als Faktor 1000 führen. Eine solche Überschätzung ist bei den grösseren Kategorien (z. B. maximal Faktor 5 bei 1t – 5 t) nicht möglich.

Hochtoxische Insektizide

Neben Insektiziden werden auch für Herbizide und Fungizide relativ lange Fließstrecken mit Überschreitungen des CQK durch das Modell vorausgesagt.

Schwermetalle

Für die Schwermetalle Kupfer und Zink werden CQK-Überschreitungen wie für gewisse Pflanzenschutzmittel auf bis zu 20 % der Fliegsstecken abgeschätzt. Es ist zu beachten, dass Fliegsgeässer zusätzlich zur modellierten diffusen Belastung eine geogene Belastung aufweisen können. Diese zusätzliche Belastung könnte die tatsächlich beinträchtigte Fliegsstrecke erhöhen.

Viele Überschreitungen durch Schwermetalle

Biozide, Pflanzenschutzmittel/Biozide

Die Stoffe der Gruppen «Biozide» und «Pflanzenschutzmittel/Biozide» überschreiten gemäss Modell auf bis zu 9 % der Fliegsstrecken das CQK. Die Anzahl der Stoffe ist hier jedoch deutlich geringer als bei den Pflanzenschutzmitteln.

Anzahl Biozide geringer als Pflanzenschutzmittel

Hormone/Tier- und Humanarzneimittel

Mischwasserüberläufe führen laut Modell nur auf kurzen Strecken zu Hormon- und Arzneimittelkonzentrationen über dem CQK. Für reine Tierarzneimittel wurden keine Konzentrationen oberhalb ihres CQK berechnet. Aufgrund der ungenügenden Datenlage wurden die durch Viehhaltung auf der Weide bzw. durch Gülleausbringung verursachten Belastungen mit natürlichen Hormonen im Modell nicht berücksichtigt.

Nur kurze Strecken durch Hormone und Arzneimittel belastet

Weitere

Die unter die Gruppe «Weitere» fallenden Stoffe, wie beispielsweise das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol, führen trotz der zum Teil hohen abgeschätzten Konzentrationen in keinem der modellierten Gewässerabschnitte zu Überschreitungen des CQK.

Ein Spezialfall unter den «Weiteren» sind die PAK, ein Stoffgemisch, für welches sehr hohe Konzentrationen berechnet wurden. Einzelne PAK, beispielsweise Benzo(a)pyren sind karzinogen und zum Teil auch sehr toxisch für Wasserlebewesen. Je nach Quelle ist die Stoffzusammensetzung der PAK jedoch anders, was eine Beurteilung des Summenparameters PAK mit einem CQK schwierig macht. Hinzu kommt, dass viele PAK stark sorbieren und es daher schwierig ist vorauszusagen, wie hoch der Anteil der PAK im Wasser und im Sediment ist. Das 2013 eingeführte CQK der EU für Benzo(a)pyren, ein Stoff des PAK-Stoffgemisches, ist mit $1,7 \times 10^{-4} \mu\text{g/l}$ sehr niedrig (European Commission 2013, siehe auch Kapitel 1.2.3). Nimmt man vereinfacht an, dass ca. 10 % des PAK-Stoffgemisches aus Benz(a)pyren bestehen (BAG 2012), wäre das CQK der EU auf rund 14 000 km überschritten. Damit wäre Benzo(a)pyren unter den Top-drei-Stoffen, welche auf den längsten Strecken zu Überschreitungen führen. Wie oben erwähnt, ist eine abschliessende Beurteilung aufgrund der unterschiedlichen Stoffzusammensetzung der PAK und der starken Sorption von Benzo(a)pyren jedoch schwierig und wurde deshalb nicht in die allgemeinen Auswertungen der Modellierung integriert.

Möglicherweise viele Überschreitungen durch PAK

Da für die natürlichen Toxine keine CQK vorliegen, können diese nicht beurteilt werden.

5.2.2.3 Quellen

Die Abb. 17a-g zeigen für unterschiedliche Quellen, in welchen Gewässerabschnitten eine bestimmte Anzahl Stoffe potenziell das CQK überschreitet. Generell sind die Belastungen in der tieferliegenden Hälfte der Schweiz, also im Mittelland und in den Talebenen am höchsten.

Höhere Belastung in der tieferliegenden Schweiz

Die Quelle mit der höchsten Belastung in Bezug auf regionale Verbreitung und die Anzahl Stoffe über dem CQK ist das Ackerland (Abb. 17a). Die am stärksten betroffenen Gebiete sind demnach die Gebiete mit hohem Ackerlandanteil (Thurgau, Berner Seeland, Waadt, Unterwallis, Abb. 14).

Ackerland führt am verbreitetsten zu QK Überschreitungen

Die Siedlungskarte zeigt, dass potenzielle Überschreitungen durch diffuse Einträge nicht nur in Gewässern in der Nähe von grösseren Städten auftreten, sondern auch in den Agglomerationen und ganz allgemein im gesamten, dicht besiedelten Mittelland (Abb. 17e). Überschreitungen treten ähnlich verbreitet auf wie bei der Quelle Ackerland, der Anteil Gewässerabschnitte mit einer hohen Anzahl an Stoffen mit Überschreitungen ist jedoch deutlich niedriger.

Ebenfalls verbreitete QK Überschreitungen durch Eintrag aus Siedlungen

Bei der Quelle Grünland sind es maximal vier Stoffe, vor allem Kupfer und Zink, die in der Modellierung zu Überschreitungen führen (Abb. 17d). Besonders Gewässer in Gebieten mit intensiver Nutztierhaltung sind durch Mikroverunreinigungen aus Grünland potenziell stark belastet. Wie bereits weiter oben erwähnt, wurde die durch Viehhaltung verursachte Belastung mit Hormonen im Modell nicht berücksichtigt.

Grünland führt zu QK Überschreitungen durch Kupfer und Zink

Der Obstanbau kann laut Modellresultaten zu einer CQK-Überschreitung für bis zu 24 Stoffe in einem einzelnen Gewässerabschnitt führen (Abb. 17b). Fliessgewässerabschnitte mit einer erhöhten Anzahl an Stoffen mit Überschreitungen befinden sich hauptsächlich in den intensiven Obstanbaugebieten (Thurgau, Aargau, Luzern, Unterwallis). Für einige wenige Insektizide, deren CQK sehr tief ist, wurden aber im gesamten Mittelland potenzielle Überschreitungen abgeschätzt. Diese häufigen Überschreitungen könnten jedoch deutlich überschätzt sein, einerseits aufgrund der ungenauen Inputdaten (Kapitel 5.1), aber auch aufgrund der im Modellansatz gleich behandelten Hochstammkulturen und intensiven Obstbauanlagen. Laut Experten haben die im Mittelland verbreiteten Hochstammkulturen mit grösster Wahrscheinlichkeit einen geringeren Insektizid-Einsatz als die intensiven Kulturen.

Obstanbau und Rebbau können regional zu vielen QK Überschreitungen führen

Die Belastung durch Rebbau ist ebenfalls nur regional erhöht. Die Anzahl Stoffe, die in diesen Gebieten zu Überschreitungen des CQK führen können, ist jedoch mit bis zu 16 Stoffen gemäss Modell relativ hoch (Abb. 17c).

Stoffe, die von Strassen und Eisenbahntrassees in Fliessgewässer eingetragen werden, überschreiten potenziell nur in wenigen Gewässerabschnitten das CQK, obwohl sie zu den weitverbreitetsten Quellen in Fliessgewässern gehören (Abb. 17f, Abb. 9). Hier muss beachtet werden, dass die PAK für die ökotoxikologische Beurteilung (siehe 5.2.2.2) nicht berücksichtigt wurden, diese aber ebenfalls zu verbreiteten Überschreitungen führen könnten.

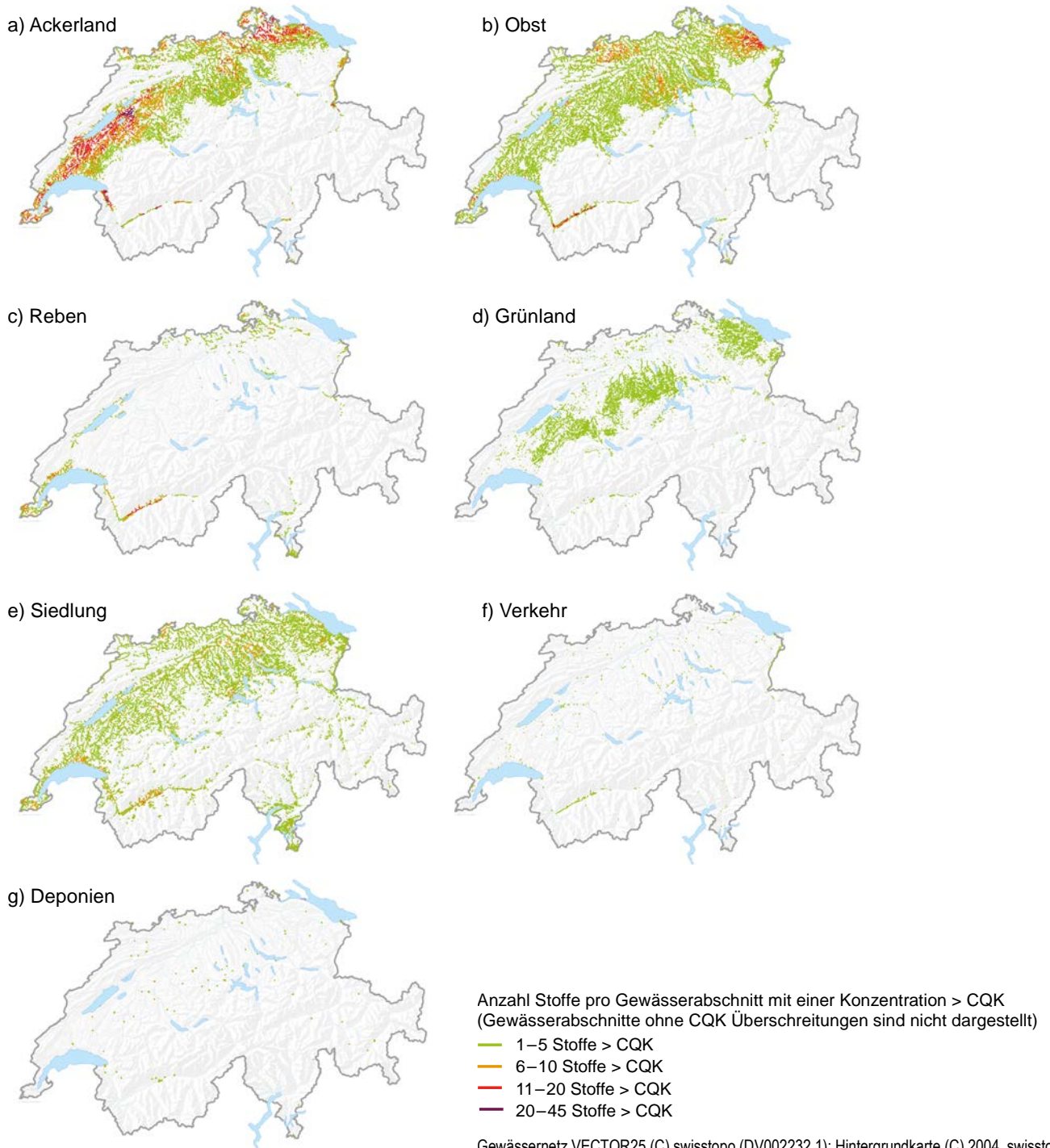
Nur wenige Überschreitungen durch Verkehrswege

Aufgrund der geringeren Verbreitung der Deponien, führt diese Quelle ebenfalls nur zu wenigen Fliessgewässerabschnitten mit CQK-Überschreitungen und dies nur für wenige Stoffe (Abb. 17). Bei Deponien muss aber bedacht werden, dass im Modell nur eine geringe Anzahl an Stoffen berücksichtigt wurde, da die Stoffe oft Standort spezifisch sind. Obwohl die schweizweite Verbreitung als gering eingeschätzt wurde, können Deponien lokal zu sehr grossen Belastungen führen (siehe Kapitel 2.1.4)

Jede Deponie ist ein Einzelfall

Über alle Quellen gesehen zeigt sich deutlich, dass Ackerland schweizweit den grössten Einfluss auf die Gewässerqualität hat. Die Quellen Siedlung und Obst führen gemäss Modell ebenfalls zu grossen Überschreitungen in Bezug auf Anzahl Stoffe und die Gesamtfließstrecke. Weniger wichtig sind die Quellen Reben, Grünland und Verkehr.

Abb. 17 > Anzahl Stoffe pro Gewässerabschnitt mit Konzentrationen > CQK für unterschiedliche Quellen diffuser Mikroverunreinigungen



5.3

Fazit der Modellabschätzungen

Die Modellabschätzungen bestätigen die in Kapitel 4 zusammengefassten Messdaten sowie die Landnutzungsanalysen und zeigen, dass diffuse Einträge von Mikroverunreinigungen in Schweizer Fließgewässern verbreitet in ökotoxikologisch kritischen Konzentrationen vorkommen können. Die Belastung der Gewässer mit Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen ist also, fokussiert auf das Mittelland, die Hügelzone und die intensiv genutzten Talebenen, ein weit verbreitetes Problem. Verbreitete Belastungen mehrerer Stoffe auf längeren Fließstrecken werden im Modell hauptsächlich durch die Quellen Ackerland, Siedlung und Obst vorausgesagt. Für die Quelle Obst müsste aufgrund der besonders grossen Unsicherheiten bei den hochtoxischen Insektiziden mit geringen Anwendungsmengen, diese Aussage mit Messungen überprüft werden. Strassen und landwirtschaftlich genutztes Grünland scheinen trotz grosser Verbreitung weniger relevant. Dabei muss bedacht werden, dass die potenziell problematischen, natürlichen Hormone aus der Nutztierhaltung sowie die PAK von Strassen in diesem Modellansatz nicht beurteilt werden konnten. Für jede Emissionsquelle wurde allerdings mindestens ein Gewässerabschnitt gefunden, in welchem eine Überschreitung des CQK durch Stoffe dieser Emissionsquelle modelliert wurde.

Als wichtigste Stoffgruppe wurden die Pflanzenschutzmittel, gefolgt von Schwermetallen und Bioziden, identifiziert. Insbesondere bei den zum Teil hochtoxischen Insektiziden zeigte das Modell eine hohe Belastung an, die bisher nicht durch Messdaten bestätigt werden kann. Dieser Befund wird aber bei einzelnen Stoffen relativiert, da die Einsatzmengen überschätzt wurden.

Das Modell erlaubt trotz grosser Unsicherheiten, alle wichtigen Aspekte diffuser Einträge (Stoffvielfalt, schweizweite Ausdehnung der Quellen, Verlustraten, eingesetzte Mengen, Kombination verschiedener Quellen) konsistent und schweizweit zu betrachten. So ergibt sich ein grober, schweizweiter Überblick über alle Stoffgruppen und deren Quellen. Das Modell eignet sich aber nicht für die vertiefte Interpretation einzelner Stoffe oder einzelner Gebiete.

Verbreitete Verunreinigungen

Pflanzenschutzmittel führt zu meisten Überschreitungen

Modell gibt groben, schweizweiten Überblick

6 > Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

6.1 Belastungslage der Schweizer Fließgewässer durch Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen

Sowohl Messdaten wie auch die Landnutzungsanalyse und modellbasierte Abschätzungen zeigen, dass viele Fließgewässer durch Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen belastet sind. Dadurch können Wasserlebewesen beeinträchtigt werden. Im Gegensatz zu den kontinuierlichen Einträgen von Mikroverunreinigungen aus ARA, schwanken die meisten diffusen Einträge von Mikroverunreinigungen zeitlich stark. Spitzenkonzentrationen treten meist während bzw. nach Regenereignissen in Fließgewässern auf. Diese können je nach Quelle ganzjährig auftreten (z. B. Verkehr) oder nur saisonal (z. B. Landwirtschaft, gebunden an Applikationsperioden). Die Einleitung von häuslichem Abwasser aus Mischwasserüberläufen führt während stärkeren Regenereignissen ausserdem dazu, dass auch Stoffe, welche normalerweise in der ARA gut eliminiert werden, trotzdem kurzzeitig in höheren Konzentrationen in Oberflächengewässern auftreten können.

Viele Fließgewässer sind belastet

Insbesondere in kleinen Gewässern schwanken die Spitzenkonzentrationen von diffus eingetragenen Stoffen stark. In kleinen Fließgewässern sind zudem die Spitzenkonzentrationen generell um ein Vielfaches höher als in grossen. Diese kleinen Fließgewässer machen rund 75 % des gesamten Schweizer Fließgewässernetzes aus und sind ökologisch von grosser Bedeutung. In grossen Fließgewässern sind die Konzentrationen generell niedrig, die Gesamtfrachten von Mikroverunreinigungen sowohl aus diffus eingetragenen wie auch aus ARA sind jedoch hoch. Da die Schweiz als Wasserschloss Europas eine Oberliegerverantwortung hat, ist sie bestrebt, auch diese Gesamtfracht an Mikroverunreinigungen tief zu halten.

Belastung v. a. in kleinen Gewässern hoch

Die grössten diffusen Emissionen von Mikroverunreinigungen kommen aus der Landwirtschaft und in geringerem Mass aus der Siedlung. Beide Quellen sind über grosse Flächen der Schweiz, insbesondere im Mittelland und in den Talebenen, verteilt. Daher ist es plausibel, dass Stoffe aus diesen Quellen in grosse Teile des Schweizer Gewässernetzes eingetragen werden. Aus dem Verkehr, den Aktivitäten im und am Wasser (z. B. Boote, Badegäste) sowie der Atmosphäre sind kleinere Mengen zu erwarten. Belastete Standorte sind lokal begrenzt, eine schweizweit abschliessende Analyse ist aufgrund der Vielzahl an Stoffen und teils unbekanntem Geschichtchen jedoch schwierig. Sowohl Messwerte als auch Abschätzungen zeigen, dass für keine Quelle ausgeschlossen werden kann, dass sie lokal zu kritischen Konzentrationen für Wasserorganismen führt.

Grösste Emissionen aus Landwirtschaft, gefolgt von Siedlung

Aufgrund einfacher Abschätzungen lassen sich für viele der betrachteten Stoffe, wie zum Beispiel Tierarzneimittel oder natürliche Toxine, kritische Konzentrationen für Wasserlebewesen in einzelnen kleinen Fließgewässern nicht ausschliessen. Es kann jedoch mit Sicherheit festgehalten werden, dass im Bereich der diffus eingetragenen

Relevanteste Stoffe: Viele Pflanzenschutzmittel und einige Biozide und Schwermetalle

Mikroverunreinigungen und mit Fokus auf die Wasserphase viele Pflanzenschutzmittel, einige Biozide und die Schwermetalle Kupfer und Zink zu den relevantesten Stoffen gehören. Zu diesen Stoffen existieren zudem verhältnismässig viele Messwerte und die Eintragspfade sind relativ gut bekannt. Bei gewissen Stoffen, wie z. B. PAK ist eine abschliessende Einschätzung schwierig.

Stoffe, die extrem stark sorbieren und sich daher weniger in der Wasserphase befinden sondern eher an den Sedimenten anlagern oder in Organismen akkumulieren, wurden in dieser Situationsanalyse nicht berücksichtigt. Stoffe, die typischerweise aus Industrie und Gewerbe und somit nicht über einen diffusen Eintragspfad eingetragen werden, waren ebenfalls nicht Teil dieser Studie.

Nicht betrachtete Stoffe

6.2 Neuausrichtung der Gewässerzustandsüberwachung

Die gezielte Wasserqualitätserhebung ist ein wichtiges gewässerpolitisches Instrument, da daraus der Handlungsbedarf für neue Massnahmen abgeleitet werden kann (wie z. B. Ausbau der ARA zur Elimination der Mikroverunreinigungen; Grundlage für einen Aktionsplan Pflanzenschutzmittel). Zudem können die aktuellen Gewässerschutzmassnahmen aufgrund von Erhebungen evaluiert werden.

Wasserqualitätserhebungen
wichtig

Die Qualität der Schweizer Gewässer hat sich in den letzten Jahrzehnten massiv verbessert. Es wurden grosse Fortschritte bezüglich der Reduktion von Nährstoffeinträgen erzielt. Nebst anderen Massnahmen führte vor allem auch die Aufrüstung von verschiedenen kommunalen ARA mit einer biologischen Stufe zu einer deutlichen Reduktion der Nährstoffeinträge. Im Zuge der Erfassung dieser Problematik und der Evaluierung der getroffenen Massnahmen wurden verschiedene chemische und auch biologische Messprogramme (Methoden und Messnetze) entwickelt und auf die Nährstoffproblematik ausgerichtet. Dadurch konnten die Erfolge und die noch offenen Probleme (z. B. Seenüberdüngung) erfasst und verfolgt werden.

Seit einigen Jahren werden durch die Kantone und den Bund auch Mikroverunreinigungen erfasst (z. B. kantonale Messungen, NAWA SPEZ). Die bisherigen Monitoringkonzepte wurden aus verschiedensten Gründen vor allem an mittleren und grossen Einzugsgebieten durchgeführt. Zukünftig sollten zur Erfassung von diffusen Verunreinigungen vermehrt auch kleine Fließgewässer umfassend untersucht werden. Dieses Jahr (2015) wird bereits ein entsprechendes NAWA SPEZ-Programm in Zusammenarbeit von Bund, Kantonen und der Eawag durchgeführt.

NAWA SPEZ

Die Monitoringstrategie (Einzugsgebietsauswahl, Probenahmefrequenz), die Messungen und die Interpretation aller gemessener Parameter, inklusive den ökotoxikologischen und biologischen Interpretationen, sind eine grosse Herausforderung. Zur Interpretation der Daten müssen auch weitere Grössen wie zum Beispiel die Landnutzung, angebaute Kulturen oder eingesetzte Pestizide erfasst werden. Es braucht daher einen grossen fachlichen Austausch und Unterstützung bei der Einführung neuer Mess- und Beurteilungsverfahren. Vielversprechende Ansätze dazu sind in den Beurteilungs- und Erhebungskonzepten für organische Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen und aus ARA enthalten (Götz et al. 2010; Wittmer et al. 2014a).

Beurteilungs- und
Erhebungskonzept

Nebst den Nährstoffen und den Mikroverunreinigungen wird zukünftig auch die Erfassung und Beurteilung der Sedimente, der Temperatur, der Biologie und der Biota (Schadstoffgehalt in Organismen) sowie in geringerem Ausmass der Nanopartikel und Mikroplastiks sowie die Erfassung des Zusammenspiels all dieser Faktoren eine immer grössere Rolle spielen. Zudem ist weitere Grundlagenforschung zu den aus der Nutztierhaltung stammenden Hormonen, in der Analytik und Probenahmen von stark sorbierenden Substanzen sowie hoch-toxischen Stoffe, die Wasserlebewesen bereits unterhalb der derzeit gängigen analytischen Bestimmungsgrenze schädigen, nötig.

Weitere Grundlagenforschung

6.3 Massnahmen zur Belastungsreduktion

Um die Gesamtbelastung der Gewässer durch Mikroverunreinigungen zu verringern, sind Massnahmen bei ARA und bei den diffusen Einträgen nötig. Das revidierte Gewässerschutzgesetz sieht eine Finanzierung des Ausbaus von ausgewählten ARA zur Elimination von Spurenstoffen vor. Durch diesen Ausbau wird der Eintrag von Mikroverunreinigungen aus ARA halbiert und die Gesamtfracht an Mikroverunreinigungen aus der Schweiz deutlich reduziert (Bundesrat 2013).

Ausbau der ARA

Um die Belastung der Gewässer durch Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen zu vermindern, sind im Gegensatz zu der End-of-Pipe-Lösung bei den ARA verschiedenste Massnahmen an den Quellen nötig. Zur Verfügung stehen Massnahmen wie Stoffverbote, Einschränkungen der Verwendung, Risikoreduktionsmassnahmen bei der Produktion, Anwendung oder Entsorgung sowie kommunikative Massnahmen zur Beeinflussung von Verhaltensmustern, Verbesserung des Gewässerschutzes und der Wissensgrundlagen. Insbesondere in der Landwirtschaft sind neue und wirkungsvolle Massnahmen nötig, um die Gewässerbelastung deutlich zu reduzieren.

Verschiedene Massnahmen im Bereich diffus eingetragene Mikroverunreinigungen

Der Bundesrat hat Mitte 2014 dem Bundesamt für Landwirtschaft den Auftrag erteilt, gemeinsam mit BAFU, BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen) und SECO (Staatssekretariat für Wirtschaft) einen Aktionsplan zur Risikoverminderung bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu erarbeiten. Dieser Aktionsplan soll bis Ende 2016 vorliegen. Mit der Umsetzung des Aktionsplans soll somit der Eintrag aus der ausserhalb der Siedlungsgebiete bedeutendste Quelle von Mikroverunreinigungen reduziert werden.

Aktionsplan Pflanzenschutzmittel

Im Rahmen der Beantwortung des Postulates von Ständerat Hêche (SR 12.3090 – Mikroverunreinigungen im Wasser. Verstärkung der Massnahmen an der Quelle) wird zudem geprüft, inwieweit Massnahmen gegen Mikroverunreinigungen an der Quelle verstärkt werden können. Dazu wird eine Analyse und Synthese bestehender und weitergehender Massnahmen durchgeführt und weitergehende Handlungsoptionen aufgezeigt.

Weitere Massnahmen an der Quelle

Für den dargestellten Handlungsbedarf bezüglich der Belastungsreduktion durch Mikroverunreinigungen stellen die Erkenntnisse in dieser Situationsanalyse eine fundierte Grundlage dar.

> Literatur

- Abegglen C., Siegrist H. 2012: Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser – Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- AltIV 1998: Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) (Stand am 1. August). 2012 SR 814.680.
- Ashauer R. 2012: Ökotoxikologische Bewertung – Schwankende Stoffkonzentrationen und wiederholte Konzentrationsspitzen in Gewässern. *Aqua & Gas* 11:24–31.
- AWEL 2012: Zürcher Gewässer 2012, Entwicklung-Zustand-Ausblick. Kurzfassung. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Baudirektion Zürich.
- BAFU-BAG-SECO 2014: Inoffizielle Liste der notifizierten Wirkstoffe. Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern. Gemeinsame Anmeldestelle Chemikalien des BAFU – BAG – SECO www.bagu.admin.ch/anmeldestelle/13604/13869/13883/indexhtml?lang=de
- BAFU 2013a: Bundesamt für Umwelt: Gewässerabschnittsbasierte Einzugsgebietsgliederung der Schweiz GAB-EZGG-CH.
- BAFU 2013b: Gewässernetz: Flussordnungszahlen für das digitale Gewässernetz 1:25 000 der Schweiz, www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/02118/02120/index.html?lang=de
- BAFU 2013c: Online-Kataster von Kantonen und Bundesstellen. www.bafu.admin.ch/altlasten/12163/12178/12304/indexhtml?lang=de
- BAG 2012: Bundesamt für Gesundheit: Factsheet Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).
- Béguin J., Smola S. 2010: Stand der Drainagen in der Schweiz. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- BFS 2009: Bundesamt für Statistik, Arealstatistik 2004/2009.
- Blanchoud H., Farrugia F., Mouchel J.M. 2004: Pesticide uses and transfers in urbanized catchments. *Chemosphere* 55(6):905–913.
- Blanchoud H., Moreau-Guigon E., Farrugia F., Chevreuil M., Mouchel J.M. 2007: Contribution by urban and agricultural pesticide uses to water contamination at the scale of the Marne watershed. *Science of the Total Environment* 375(1–3):168–179.
- BLW 2010: Verkaufte Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe 2008–2010; Kategorien von Anwendungsmengen. Bundesamt für Landwirtschaft.
- BLW 2013: Agrarbericht 2013 des Bundesamtes für Landwirtschaft.
- BMG 2012: Datensammlung: Aktivitäten im und am Wasser.
- BMLFUW 2007: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: CHEM – NEWS XVI. www.bmlfuw.gv.at/greentec/chemikalien/chem-news/chem_news.html
- Bogdal C., Scheringer M., Schmid P., Blauenstein M., Kohler M., Hungerbühler K. 2010: Levels, fluxes and time trends of persistent organic pollutants in Lake Thun, Switzerland: Combining trace analysis and multimedia modeling. *Science of the Total Environment* 408(17): 3654–3663.
- Braun C., Gälli R. 2011: Gewässerschutz an Bahnanlagen – Untersuchung von Gleisabwasser. Schlieren: BMG.
- Braun C., Gälli R. 2014: Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe. Erste Grundlagenerhebung mittels Umfrage bei den Kantonen zu vorhandenen Informationen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) BMG Engineering AG, Schlieren.
- Braun C., Gälli R., Kammer C. 2013: Belastung durch Gleisabwasser – Emissionen von Mikroverunreinigungen aus dem Bahnverkehr. *Aqua & Gas* 7/8: 40-49.
- Bucheli T.D., Wettstein F. 2013: Natürliche Toxine – Übersehene Mikroverunreinigungen unserer Gewässer. *Aqua & Gas* 5.
- Bundesrat 2013: Botschaft zur Änderung des Gewässerschutzgesetzes. www.admin.ch/opc/de/federal-gazette/2013/5549pdf
- Burkhardt M., Dietschwiler C. 2013: Mengenabschätzung von Bioziden in Schutzmitteln in der Schweiz – Bautenfarben und -putze (PA 7), Holz (PA 8), Mauerwerk (PA 10) und Antifouling (PA 21). Hochschule für Technik Rapperswil.
- Burkhardt M., Stamm C., Waul C., Singer H., Müller S. 2005: Surface runoff and transport of sulfonamide antibiotics and tracers on manured grassland. *J Environ Qual* 34(4):1363–1371.
- Burkhardt M., Zuleeg S., Vonbank R., Schmid P., Hean S., Lamani X., Bester K., Boller M. 2011: Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff. *Water Sci Technol* 63(9).
- Chèvre N., Guignard C., Rossi L., Pfeifer H.R., Bader H.P., Scheidegger R. 2011: Substance flow analysis as a tool for urban water management. *Water Sci Technol* 63(7):1341–1348.
- Doppler T., Camenzuli L., Hirzel G., Krauss M., Lück A., Stamm C. 2012: Spatial variability of herbicide mobilisation and transport at catchment scale: insights from a field experiment. *Hydrology and Earth System Sciences* 16:1947–1967.
- European Commission 2008: Priority Substances and Certain Other Pollutants according to Annex II of Directive 2008/105/EC. http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/priority_substances.htm

- European Commission 2013: Richtlinie 2013/39/EU zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:0017:DE:PDF>
- Fischnetz 2004: Projekt Fischnetz: Dem Fischrückgang auf der Spur. Eawag, BUWAL.
- FIV 1995: Fremd- und Inhaltsstoffverordnung vom 26. Juni 1995 (Stand am 1. Januar 2014). 817.021.23.
- FriedliPartner, BAFU, ERZ 2007: Projekt Biomik – Biozide als Mikroverunreinigungen in Abwasser und Gewässer.
- Gälli R., Schmid-Kleikemper J., Ort C., Schärer M. 2009: Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung. Bern: Bundesamt für Umwelt. 103 p.
- Gerecke A.C., Schärer M., Singer H.P., Müller S.R., Schwarzenbach R.P., Sägesser M., Ochsenbein U., Popow G. 2002: Sources of pesticides in surface waters in Switzerland: pesticide load through wastewater treatment plants – current situation and reduction potential. *Chemosphere* 48:307–315.
- Götz C. 2012a: Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen – atmosphärische Deposition.
- Götz C. 2012b: Mikroverunreinigungen aus Nutztierhaltung. *Aqua & Gas* 11:52–59.
- Götz C., Kase R., Hollender J. 2010: Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Dübendorf: Eawag.
- Götz C., Scheringer M., MacLeod M., Wegmann F., Hungerbühler K. 2008: Regional differences in gas-particle partitioning and deposition of semivolatile organic compounds on a global scale. *Atmos Environ* 42(3):554–567.
- GSchG 1991: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) vom 24. Januar 1991 (Stand 1.1.2011). SR 814.20.
- GschV 1998: Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (Stand 1.6.2011). 814.201.
- Hartmann N., Erbs M., Wettstein F.E., Schwarzenbach R.P., Bucheli T.D. 2007: Quantification of estrogenic mycotoxins at the ng/L level in aqueous environmental samples using deuterated internal standards. *Journal of chromatography A* 1138(1–2):132–140.
- Hoerger C.C., Wettstein F.E., Bachmann H.J., Hungerbühler K., Bucheli T.D. 2011: Occurrence and Mass Balance of Isoflavones on an Experimental Grassland Field. *Environmental Science & Technology* 45(16):6752–6760.
- Hollender J. 2007: Mikroverunreinigungen – Vorkommen in Gewässern der Schweiz und Bewertung. *Gas, Wasser, Abwasser, GWA* 11: 843-852.
- Huntscha S. 2013: Fate of polar organic micropollutants during riverbank filtration: Insights from complementary analytical techniques. Diss ETH No 20972.
- Hürdler J, Prasuhn V, Spiess E. 2015. Abschätzung von Schwermetalleinträgen über Gülleabschwemmung in die Oberflächengewässer der Schweiz. MODIFFUS 3.0. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt.
- Hürlimann J., Fässler S., Wyss S. 2011: Auswirkungen von Strassenabwasser auf Oberflächengewässer – Gewässerökologische Beurteilung. *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 11:793–801
- IKSR 2003: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. Rhein: Bestandsaufnahme der Emissionen prioritärer Stoffe 2000. Braun M, Hrsg. Koblenz.
- IKSR 2013: 15. Rhein-Ministerkonferenz – Ministerkommuniqué. www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Kommunikues/Ministerkonferenz_2013pdf
- IMS Health 2004: Nationale Verkaufsdaten.
- Johnson A.C., Williams R.J., Matthiessen P. 2006: The potential steroid hormone contribution of farm animals to freshwaters, the United Kingdom as a case study. *Science of the Total Environment* 362 (1–3): 166–178.
- Junghans M., Di Paolo C., Homazava N., Kase R., Häner A., Gälli R., Eggen R.I.L., Perazzolo C., Gregorio V., Chèvre N. 2011: Aquatic Risks of Plant Protection Products: A Comparison of Different Hazard Assessment Strategies for Surface Waters in Switzerland.
- Junghans M., Kunz P., Werner I. 2013: Toxizität von Mischungen: Aktuelle, praxisorientierte Ansätze für die Beurteilung von Gewässerproben. *Aqua & Gas* 5:54–61.
- Kammer C. 2012: Datensammlung Verkehr Strasse.
- Konstantinou I.K., Albanis T.A. 2004: Worldwide occurrence and effects of antifouling paint booster biocides in the aquatic environment: a review. *Environment International* 30(2):235–248.
- Krebs R., Hartmann F., Scherrer D. 2008: Pflanzenschutzmittel im gewerblichen Gartenbau. Pilotstudie über die Anwendung. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Kupper T. 2013: Biozid-Produkte für die Hygiene im Veterinärbereich. Berner Fachhochschule.
- Leib V. 2015: Makrozoobenthos in kleinen Fließgewässern – Schweizweite Auswertung. *Aqua & Gas* 4:66–75.

- Leu C., Schneider M.K., Stamm C. 2010: Estimating Catchment Vulnerability to Diffuse Herbicide Losses from Hydrograph Statistics. *Journal of Environmental Quality* 39(4):1441–1450.
- Leu C., Singer H., Müller S.R., Schwarzenbach R.P., Stamm C. 2005: Comparison of atrazine losses in three small headwater catchments. *Journal of Environmental Quality* 34(5):1873–1882.
- Leu C., Singer H., Stamm C., Müller S.R., Schwarzenbach R.P. 2004a: Variability of Herbicide Losses from 13 Fields to Surface Water within a Small Catchment after a Controlled Herbicide Application. *Environmental Science & Technology* 38(14):3835–3841.
- Leu C., Singer H., Stamm C., Müller S.R., Schwarzenbach R.P. 2004b: Simultaneous assessment of sources, processes, and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment. *Environmental Science & Technology* 38(14):3827–3834.
- Liess M., Schäfer R., Schriever C. 2008: The footprint of pesticide stress in communities: Species traits reveal community effects of toxicants. *Science of the Total Environment* 406:484–490.
- Liess M., van der Ohe P. 2005: Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(4):954–965.
- Madliger M., Niederer C. 2012: Datensammlung: Deponien und belastete Standorte.
- Mahler N., Moschet C. 2008: Pflanzenschutz in Privatgärten; Abschätzung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln im privaten Gebrauch. Zürich: ETH.
- Maurer M., Chawla F., von Horn J., Stauffer P. 2012: Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz. Dübendorf: Eawag, im Auftrag des Bafu.
- Moschet C. 2011: Faktenblatt Insektizide und Fungizide aus landwirtschaftlichen Nutzflächen. Dübendorf: Eawag.
- Moschet C., Wittmer I., Stamm C., Singer H., Hollender J. 2015: Insektizide und Fungizide in Fließgewässern – Wichtig für die Beurteilung der Gewässerqualität. *Aqua & Gas* 4:54-65.
- Müller C.E., Spiess N., Gerecke A.C., Scheringer M., Hungerbühler K. 2011: Quantifying diffuse and point inputs of perfluoroalkyl acids in a nonindustrial river catchment. *Environmental Science & Technology* 45.
- Müller S. 2007: Herausforderungen beim Management der Ressource Wasser und Gewässer. *Gas, Wasser, Abwasser, GWA* 11:829–830.
- Munz N., Leu C., Wittmer I. 2012: Pestizidmessungen in Fließgewässern – Schweizweite Auswertung. *Aqua & Gas* 11:32–41.
- NAWA SPEZ 2012: Vollständiges Pestizidscreening in fünf repräsentativen Einzugsgebieten im Schweizer Mittelland. BAFU/Eawag.
- NFP50 2008: Hormonaktive Stoffe: Ein Risiko für Mensch und Umwelt? Zusammenfassender Bericht des Nationalen Forschungsprogramms 50, Hormonaktive Stoffe: Bedeutung für Menschen, Tiere und Ökosysteme. Schweizerischer Nationalfonds.
- Nystrom B., Becker-van Slooten K., Berard A., Grandjean D., Druart J.C., Le Boulanger C. 2002: Toxic effects of Irgarol 1051 on phytoplankton and macrophytes in Lake Geneva. *Water Research* 36(8):2020–2028.
- Ochsenbein U., Berset J.-D., Scheiwiller, E. 2015: Mikroverunreinigungen in bernischen Gewässern – Belastungssituation und neue ökotoxikologische Beurteilung der Risiken. *Aqua & Gas* 2: 56-66.
- Ochsenbein U., Berset J.-D., Scheiwiller E., Guthruf K. 2012: Mikroverunreinigungen in Aaretalgewässern – ein Risiko? *Aqua & Gas* 11:68–79.
- Ochsenbein U., Scheiwiller E., Wehse H. 2008: Starke Belastung der Urtenen bei Regenwetter. *GSA Info* 2/2008.
- Oekotoxzentrum 2014: Proposals for acute and chronic quality criteria. www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege
- PSMV 2010: Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV, SR-916.161) vom 12. Mai 2010 (Stand am 1. Juli 2015).
- Ruff M., Singer H., Ruppe S., Mazacek J., Dolf R., Leu C. 2013: 20 Jahre Rheinüberwachung – Erfolge und analytische Neuausrichtung in Weil am Rhein. *Aqua & Gas* 5:16-25.
- Schäfer R.B., Caquet T., Siimes K., Mueller R., Lagadic L., Liess M. 2007: Effects of pesticides on community structure and ecosystem functions in agricultural streams of three biogeographical regions in Europe. *Sci Total Environ* 382(2–3):272–285.
- Schenzel J., Forrer H.-R., Vogelgsang S., Hungerbühler K., Bucheli T.D. 2012: Mycotoxins in the Environment: I. Production and Emission from an Agricultural Test Field. *Environmental Science & Technology* 46(24):13067–13075.
- Scheringer M. 2009: Long-Range Transport of Organic Chemicals in the Environment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28(4): 677–690.
- Schmid P., Zennegg M., Holm P., Pietsch C., Brüscheiler B., Kuchen A., Staub E., Tremp J. 2010: Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Gewässern der Schweiz. Daten zur Belastung von Fischen und Gewässern mit PCB und Dioxinen, Situationsbeurteilung. *Umwelt-Wissen* Nr 1002, Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Schönborn A. 2012: Datensammlung: Eintrag östrogenen Aktivität aus dem Hofdünger über landwirtschaftliche Drainagen in Oberflächengewässern.

- Schwarzenbach R.P., Escher B.I., Fenner K., Hofstetter T.B., Johnson C.A., von Gunten U., Wehrli B. 2006: The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science* 313(5790):1072–1077.
- SKW 2014: Schweizer Kosmetik- und Waschmittelverband: Verkaufsstatistik 2013, Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel.
- Stamm C., Doppler T., Prasuhn V., Singer H. 2012a: Standortgerechte Landwirtschaft bezüglich der Auswirkung von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen auf Oberflächengewässer. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Stamm C., Siber R., Singer H., Ochsenbein U., Berset J.-D., Scheiwiller E., Muff D. 2012b: Ereignisbezogenes Pestizidmonitoring – Am Beispiel der Gürbe (Kanton Bern). *Aqua & Gas* 4:24–32
- Stauer P., Ort C. 2012a: Diffuse Einträge aus Siedlungen – Ergebnisse einer Situationsanalyse. *Aqua & Gas* 11:42–50.
- Stauer P., Ort C. 2012b: Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen (DIMES). Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Eawag, Dübendorf.
- Stoob K., Singer H., Müller S., Schwarzenbach R.P., Stamm C. 2007: Dissipation and transport of veterinary sulfonamide antibiotics after manure application to grassland in a small catchment. *Environ Sci Technol* 41 (21):7349–7355.
- Strahm I., Munz N., Leu C., Gälli R., Braun C., Stamm C., Wittmer I. 2014: Modellbasierte Abschätzung der Gewässerbelastung durch diffus emittierte Mikroverunreinigungen in Schweizer Fließgewässer – Expertenbericht.
- Strahm I., Munz N., Leu C., Wittmer I., Stamm C. 2013: Landnutzung entlang des Gewässernetzes – Quellen für Mikroverunreinigungen. *Aqua & Gas* 5:36–44.
- Swissmedic 2013: Stoffliste Human- und Tierarzneimittel, www.swissmedic.ch/Arzneimittel/00156/00221/00222/00223/00232/index.html?lang=de
- TVA 1990: Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (Stand am 1. Juli 2011). 814.600.
- VKos 2005: Verordnung des EDI über kosmetische Mittel vom 23. November 2005. Stand am 1. Juli 2015.
- von Arx U. 2006: Kupfer. Verbrauch, Umwelteinträge und -vorkommen. Umwelt-Wissen Nr 0601 Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Wittmer I., Junghans M., Stamm C., Singer H. 2014a: Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Dübendorf: Eawag.
- Wittmer I., Moschet C., Simovic J., Singer H., Stamm C., Hollender J., Junghans M., Leu C. 2014b: Über 100 Pestizide in Fließgewässern – mit vielen Pestiziden belastet – nachgewiesene Wirkstoffe im Rahmen von NAWA SPEZ. *Aqua & Gas* 3:32–43.
- Wittmer I., Scheidegger R., Bader H.P., Singer H., Stamm C. 2011: Loss rates of urban biocides can exceed those of agricultural pesticides. *Science of the Total Environment* 409:920–932.
- Wittmer I.K., Bader H.P., Scheidegger R., Singer H., Luck A., Hanke I., Carlsson C., Stamm C. 2010: Significance of urban and agricultural land use for biocide and pesticide dynamics in surface waters. *Water Research* 44(9):2850–2862.
- Wittmer A., Gubser C. 2010: Umsetzung des Verbots von Pflanzenschutzmitteln. Untersuchung zum Stand der Umsetzung des Anwendungsverbots von Unkrautvertilgungsmitteln auf und an Strassen, Wegen und Plätzen. Umwelt-Wissen Nr 1014 Bundesamt für Umwelt.

> Verzeichnisse

Abkürzungen

ARA

Abwasserreinigungsanlage

AQK

akutes Qualitätskriterium (→ Glossar)

BAFU

Bundesamt für Umwelt

BLW

Bundesamt für Landwirtschaft

BG

Bestimmungsgrenze

CQK

chronisches Qualitätskriterium (→ Glossar)

EZG

Einzugsgebiet

EU-WRRL

Europäische Wasserrahmenrichtlinie

FLOZ

Flussordnungszahl nach Strahler (BAFU 2013b)

GSchG

Gewässerschutzgesetz

GSchV

Gewässerschutzverordnung

HAM

Humanarzneimittel

IKSR

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

K_{oc}

Verteilungskoeffizienten zwischen dem organischen Kohlenstoff im Boden und Wasser (→ Glossar)

K_{ow}

Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient (→ Glossar)

NAWA

Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (→ Glossar)

PAK

polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PCB

Polychlorierte Biphenyle

PSM

Pflanzenschutzmittel

TAM

Tierarzneimittel

Abbildungen

Abb. 1

Quellen und Eintragspfade von Mikroverunreinigungen 14

Abb. 2

Eintragsdynamik von Mikroverunreinigungen aus landwirtschaftlichen Anwendungen 20

Abb. 3

Schematischer Verlauf der Fließverhältnisse bei Trenn- bzw. Mischwasserkanalisationssystemen 25

Abb. 4

Konzentrationen von zwei Mikroverunreinigungen in einem Fließgewässer ohne ARA im Einzugsgebiet, verursacht durch zwei Regenereignisse 26

Abb. 5

Zink-Konzentration in einem kleinen Fließgewässer verursacht durch Einleitung von Strassenabwasser 28

Abb. 6

Verlauf der Glyphosatkonzentration 29

Abb. 7

Atrazin-Konzentrationen im Jahr 1999 37

Abb. 8

Beispielhafte Konzentrationsverläufe und Vergleich mit chronischen (CQK) und akuten Qualitätskriterien (AQK) 38

Abb. 9

Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungen 42

Abb. 10

Analyse der Landnutzung entlang zweier Gewässerabschnitte und ihrer zugehörigen Einzugsgebiete 43

Abb. 11

Anteil Fließstrecke am gesamten Gewässernetz der Schweiz nach Flussordnungszahl (FLOZ) 44

<p>Abb. 12 Anteil der potenziell durch eine bestimmte Landnutzung beeinflussten Fließstrecke an der gesamten Fließstreckenlänge der topografisch tieferliegenden Hälfte der Schweiz (<1080 m ü. M.)</p> <p>Abb. 13 Lage von ausgewählten Messstellen und deren Einzugsgebiete</p> <p>Abb. 14 Links: Flächenanteile der spezifischen Landnutzung an den Einzugsgebieten. Rechts: Kumulative Verteilungen der gesamten Schweizer Fließstrecke (<1080 m ü. M) in Bezug auf die Landnutzungsanteile im Einzugsgebiet.</p> <p>Abb. 15 Vergleich von gemessenen mit modellierten Konzentrationen und Maximalkonzentrationen in verschieden grossen Gewässern</p> <p>Abb. 16 Berechnete Überschreitungen von chronischen Qualitätskriterien (CQK) in unterschiedlich grossen Fließgewässern</p> <p>Abb. 17 Anzahl Stoffe pro Gewässerabschnitt mit Konzentrationen CQK für unterschiedliche Quellen diffuser Mikroverunreinigungen</p>	<p>45</p> <p>47</p> <p>48</p> <p>61</p> <p>63</p> <p>67</p>	<p>Tabellen</p> <hr/> <p>Tab. 1 Datensammlungen und Fachartikel zu den verschiedenen Quellen und Eintragungspfaden von Mikroverunreinigungen</p> <p>Tab. 2 Zuordnung der betrachteten Mikroverunreinigungen zu den relevanten diffusen Quellen und den Haupteintragungspfaden</p> <p>Tab. 3 Abschätzungen zur Anzahl der Stoffe sowie der jeweiligen eingesetzten Stoffmengen</p> <p>Tab. 4 Zuordnung der Quellen von Mikroverunreinigungen und deren Haupteintragungspfade zu spezifischen Landnutzungen</p> <p>Tab. 5 Überblick über die stoffliche Verunreinigung im Rhein bei Basel im Jahr 2012 und deren Beurteilung mit chronischen Qualitätskriterien</p> <p>Tab. 6 Durch die IKSR abgeschätzte geogene Hintergrundbelastung für Schwermetalle in unbeeinflusstem Flusswasser</p> <p>Tab. 7 Charakterisierung der Einzugsgebiete (EZG) der fünf Untersuchungsstandorte an mittleren Fließgewässern (NAWA SPEZ 2012)</p> <p>Tab. 8 Überblick über die stoffliche Verunreinigung in den fünf mittleren Fließgewässern (NAWA SPEZ 2012)</p> <p>Tab. 9 Überblick über die stoffliche Verunreinigung ausgewählter, umfassend untersuchter, kleiner Fließgewässer und Charakterisierung ihrer Einzugsgebiete</p> <p>Tab. 10 Mittlere und maximale Schwermetallkonzentrationen in Wochenmischproben von vier Standorten im Jahr 2013</p> <p>Tab. 11 Anzahl modellierte Stoffe, davon mit chronischem Qualitätskriterium (CQK) sowie die Anzahl Stoffe, die auf mehr als 100 km Fließstrecke das CQK überschreiten</p>	<p>18</p> <p>35</p> <p>36</p> <p>41</p> <p>50</p> <p>51</p> <p>52</p> <p>53</p> <p>55</p> <p>57</p> <p>64</p>
---	---	--	---

> Glossar

Akutes Qualitätskriterium (AQK)

Umweltqualitätskriterium für einen bestimmten Stoff, bei dessen kurzfristiger Überschreitung eine Schädigung empfindlicher Organismen nicht ausgeschlossen werden kann (= engl. MAC-EQS, Maximum Allowable Concentration – Environmental Quality Standard)

Biozid

Produkte, die dazu bestimmt sind, auf andere Art als durch blosse physikalische oder mechanische Einwirkung Schadorganismen zu zerstören, abzuschrecken, unschädlich zu machen, Schädigungen durch sie zu verhindern oder sie in anderer Weise zu bekämpfen (Biozidprodukteverordnung, SR 813.12)

Chronisches Qualitätskriterium (CQK)

Umweltqualitätskriterium für einen bestimmten Stoff, bei dessen langfristiger Überschreitung eine Schädigung empfindlicher Organismen nicht ausgeschlossen werden kann (= engl. AA-EQS, Annual Average – Environmental Quality Standard)

DT₅₀

Halbwertszeit (Zeit, in der 50 % eines Stoffes abgebaut wird)

K_{oc}

Verteilungskoeffizienten zwischen dem organischen Kohlenstoff im Boden und Wasser. Gibt an, wie gut ein Stoff an organischen Kohlenstoff im Boden sorbiert

K_{ow}

Verhältnis der Konzentrationen eines Stoffes in einem Zweiphasensystem aus 1-Octanol und Wasser. Gibt an, ob ein Stoff eher fettlöslich oder wasserlöslich ist

Metabolit

Chemischer Stoff, der durch einen chemischen und/oder biologischen Abbau einer Ausgangssubstanz entsteht

Mikroverunreinigung

Sammelbegriff für verschiedenste organische und anorganische Stoffe, die in tiefen Konzentrationen auftreten

NAWA

Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Die Erhebungen erfolgen in enger Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen und werden durch das BAFU koordiniert

NAWA TREND

Basismessnetz zur langfristigen Dauerbeobachtung im Rahmen von NAWA

NAWA SPEZ

Problembezogene Spezialbeobachtungen im Rahmen von NAWA

Ökotoxikologie

Wissenschaft, die sich mit den Auswirkungen von Stoffen auf die belebte Umwelt befasst

Organische Stoffe

Chemische Verbindungen mit einem Kohlenstoffgerüst (Ausnahmen: z. B. Carbonate, CO, CO₂)

Pestizid

Oberbegriff für Pflanzenschutzmittel und Biozid

Pflanzenschutzmittel

Produkt, welches Pflanzen oder Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen schützt, das Wachstum von Pflanzen reguliert oder unerwünschte Pflanzen oder Pflanzenteile vernichtet (Pflanzenschutzmittelverordnung, SR 916.161)