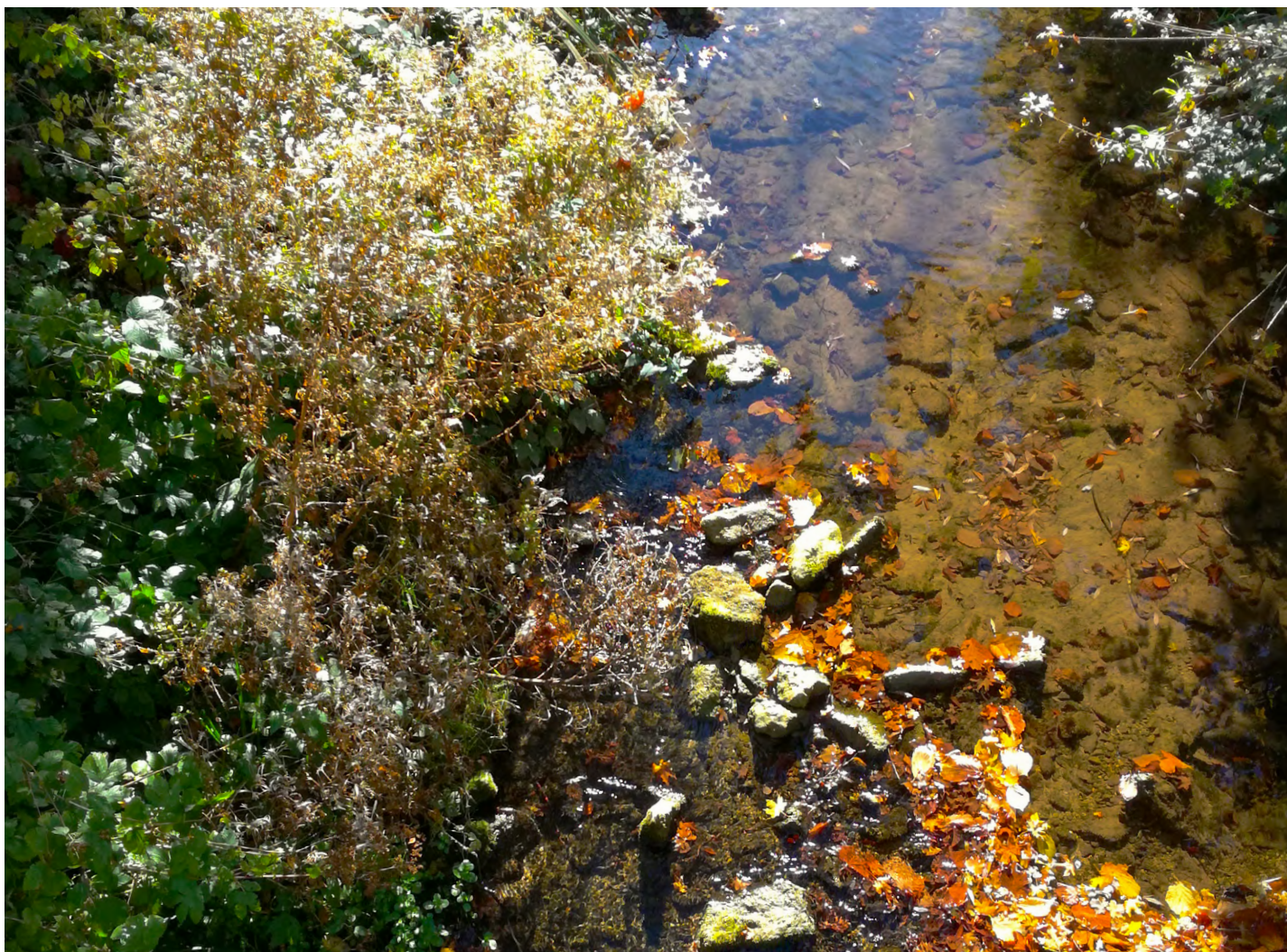


# INTERKANTONALES LABOR

LEBENSMITTELKONTROLLE APPENZEL AUSSERRHODEN APPENZEL INNERRHODEN SCHAFFHAUSEN  
UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN

## Zustand Oberflächengewässer im Kanton Schaffhausen

Mikroverunreinigungen (2018-2019)



## Impressum

### Herausgeber

Interkantonales Labor (IKL)  
Mühlentalstrasse 188  
8200 Schaffhausen

Telefon +41 52 632 74 80  
interkantlab@sh.ch

### Autoren

Christoph Moschet  
Jacqueline Waldvogel  
Luca Deola

### Layout

Katrin Welti

### Bildnachweis

Alle Abbildungen, Tabellen, Karten und Fotos stammen von den Autoren.

### Herausgabedatum

April 2021

## Zusammenfassung

Saubere Gewässer sind die Grundlage aquatischer Ökosysteme. Um die Gewässer vor Verunreinigungen zu schützen, ist es erforderlich den Gewässerzustand zu kennen. Neben der Belastung der Schaffhauser Fliessgewässer mit Nährstoffen (Bericht des Interkantonalen Labors 2019) untersucht das Interkantonale Labor seit dem Jahr 2018 vier Fliessgewässer kontinuierlich auf Mikroverunreinigungen. Dabei handelt es sich um Rückstände von Arzneimitteln, Pestiziden und Industriechemikalien, die bereits in sehr geringen Konzentrationen negative Auswirkungen auf Lebewesen in einem Gewässer haben können. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Untersuchungen im Beggingerbach bei Beggingen, im Zwärenbach bei Schleithelm, im Landgraben bei Trasadingen und in der Biber bei Buch und Bibermühle zwischen 2018 und 2019 zusammen.

In den vier Gewässern wurden kontinuierlich 14-Tagesmischproben entnommen und mittels Massenspektrometrie auf ca. 100 verschiedene Mikroverunreinigungen untersucht. Die gemessenen Konzentrationen wurden mit ökotoxikologischen Qualitätskriterien verglichen um das Risiko der einzelnen Substanzen sowie das Mischungsrisiko auf die Gewässerorganismen beurteilen zu können. Zudem konnte mit Hilfe des Mischungsrisikos eine wirkungsbasierte Beurteilung der Wasserqualität der einzelnen Fliessgewässer vorgenommen werden. Die Qualitätskriterien wurden durch das Ökotoxzentrum nach EU Richtlinien hergeleitet und sind teilweise in der Gewässerschutzverordnung verankert.

Die umfassenden Untersuchungen zeigen deutlich, dass Mikroverunreinigungen ein Problem für die Wasserqualität im Kanton Schaffhausen darstellen. 32 Substanzen überschritten ihre chronischen Qualitätskriterien in mindestens einer Probe, vereinzelt um über einen Faktor 100. Neun Substanzen überschritten in 14-Tagesmischproben sogar das akute Qualitätskriterium, teilweise um mehr als einen Faktor 10. Dies ist besonders kritisch zu beurteilen, da in den Mischproben die Konzentrationsspitzen geglättet werden. Der Beggingerbach, der Zwärenbach und der Landgraben hatten dadurch über mehrere Monate durchgehend eine mässige bis schlechte Wasserqualität und es bestand ein Risiko für Fische, Invertebraten und Pflanzen. Mit diesem Problem steht der Kanton Schaffhausen nicht alleine da: Die Ergebnisse decken sich mit Ergebnissen aus anderen Kantonen im Schweizer Mittelland.

In der Belastung der Fliessgewässer manifestiert sich die Landnutzung im Einzugsgebiet. Fliessgewässer mit hohem Abwasseranteil (insbesondere der Landgraben)

wiesen eine hohe Belastung durch Arzneimittel und Industriechemikalien auf. Ökotoxikologisch am kritischsten war dabei mit Abstand das Schmerzmittel Diclofenac, gefolgt vom Antibiotika Azithromycin. Weitere, ökotoxikologisch weniger bedenkliche Substanzen mit hohen gemessenen Konzentrationen umfassten die Korrosionsschutzmittel Benzotriazol und 4-/5-Methylbenzotriazol, das Antidiabetikum Metformin und den künstlichen Süsstoff Acesulfam.

In Fliessgewässern mit intensiver Landwirtschaft im Einzugsgebiet (Beggingerbach, Zwärenbach, Landgraben) wurde eine starke Belastung durch Pflanzenschutzmittel nachgewiesen. Zum einen trugen Insektizide, insbesondere die Pyrethroide Cypermethrin und lambda-Cyhalothrin sowie die Organophosphate Chlorpyrifos und Chlorpyrifos-methyl zur schlechten Beurteilung der Wasserqualität bei. Diese Befunde sind hauptsächlich auf den Einsatz im Raps- und Kartoffelbau zurückzuführen. Zum anderen waren Herbizide, z.B. Diuron, Metazachlor, Nicosulfuron und Propyzamid, für die schlechte Beurteilung der Wasserqualität verantwortlich. Diese Befunde sind auf diverse Anwendungen im Ackerbau zurückzuführen. Im Landgraben bei Trasadingen konnten zudem einzelne Fungizide in ökotoxikologisch kritischen Konzentrationen nachgewiesen werden. Dies ist unter anderem auf den Einsatz im Rebbau zurückzuführen (z.B. Cyprodinil, Carbendazim). An den Daten kann man auch erkennen, dass Pflanzenschutzmittel-Abbauprodukte (z.B. Chloridazonesphenyl), welche regelmässig erhöhte Konzentrationen im Grundwasser aufweisen, auch in Fliessgewässern in hohen Konzentrationen gemessen werden. Dies kann mit einem Depot im Boden und der Exfiltration des Grundwassers ins Fliessgewässer erklärt werden.

Die Messungen an den vier untersuchten Fliessgewässern werden in ähnlicher Form weitergeführt werden. Für die korrekte Beurteilung der Wasserqualität ist entscheidend, dass das gemessene Substanzspektrum laufend angepasst wird und dass verlässliche ökotoxikologische Qualitätskriterien für weitere Mikroverunreinigungen hergeleitet werden. Ziele der weiteren Untersuchungen sind den Zeitverlauf der Belastung besser einordnen zu können und den Erfolg von getroffenen Massnahmen beurteilen zu können. Massnahmen können dabei national (z.B. Ausrüstung ARA mit vierter Reinigungsstufe, Verbot kritischer Wirkstoffe, Aktionsplan Pflanzenschutzmittel), kantonal (z.B. Gewässerschutzkontrollen auf Landwirtschaftsbetrieben) oder lokal (z.B. Reduktion von Einträgen über diffuse bzw. Punktquellen) getroffen werden. Mögliche Massnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität werden in der geplanten Fortführung des Wasserwirtschaftsplans des Kantons Schaffhausen integriert und laufend umgesetzt.

## Inhalt

<b>Impressum</b>	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1 Ausgangslage	5
1.2 Gesetzliche Grundlagen	5
1.3 Mikroverunreinigungen	6
1.3.1 Pestizide	7
1.3.2 Human- und Tierarzneimittel	7
1.3.3 Industriechemikalien	7
<b>2 Methodik</b>	<b>8</b>
2.1 Untersuchungsgebiet	8
2.1.1 Beggingerbach bei Beggingen	9
2.1.2 Zwärenbach bei Schleithelm	9
2.1.3 Landgraben bei Trasadingen	9
2.1.4 Biber bei Bibermühle / bei Buch	10
2.2 Probenahme	10
2.3 Analysenumfang	11
2.4 Analyse	11
2.5 Auswertung	12
2.5.1 Herleitung von chronischen und akuten Qualitätskriterien	12
2.5.2 Risikobewertung der Wasserqualität bezüglich Mikroverunreinigungen	12
<b>3 Resultate</b>	<b>13</b>
3.1 Substanzen mit höchsten bzw. ökotoxikologisch kritischsten Konzentrationen	13
3.1.1 Substanzen mit höchsten Konzentrationen	13
3.1.2 Substanzen mit Überschreitungen von chronischen Qualitätskriterien	17
3.1.3 Substanzen mit Überschreitungen von akuten Qualitätskriterien	19
3.2 Ergebnisse nach Standorten	20
3.2.1 Beggingerbach bei Beggingen	20
3.2.2 Zwärenbach bei Schleithelm	22
3.2.3 Landgraben bei Trasadingen	24
3.2.4 Biber bei Bibermühle / bei Buch	26
<b>4 Fazit und Ausblick</b>	<b>28</b>
<b>Dank</b>	<b>29</b>
<b>5 Literatur, Verzeichnisse und Anhang</b>	<b>30</b>
5.1 Literatur	30
5.2 Abkürzungsverzeichnis	31
5.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	31
5.4 Substanztabelle	32

## 1 Einleitung

Gewässer werden durch den Menschen vielfältig für Fischerei, Erholung, Schifffahrt, Energienutzung, Bewässerung und als wichtige Trinkwasserressourcen genutzt. Zudem bieten sie Lebensraum für unzählige Tier- und Pflanzenarten. Saubere Gewässer sind die Grundlage aquatischer Ökosysteme. Bereits geringe Verunreinigungen können negative Auswirkungen auf Lebewesen in einem Gewässer haben. Um die Gewässer vor Verunreinigungen zu schützen, ist es erforderlich den Gewässerzustand zu kennen. Dazu untersuchen Bund und Kantone die Gewässer regelmässig. Anfangs 2020 hat das Interkantonale Labor (IKL) einen Bericht über die Wasserqualität hinsichtlich chemisch-physikalischer Parameter und Nährstoffe von Messungen der letzten 20 Jahre veröffentlicht [1]. Der vorliegende Bericht beschreibt den Gewässerzustand hinsichtlich Mikroverunreinigungen.

### 1.1 Ausgangslage

Verschiedene Berichte des Bundes und der Kantone der letzten Jahre haben gezeigt, dass kleine und mittelgrosse Bäche in der Schweiz stark mit Mikroverunreinigungen belastet sind [2]-[6]. Das IKL untersucht seit dem Jahr 2011 Mikroverunreinigungen in diversen Fließgewässern im Kanton. Im Jahr 2017 war der Hoobach, ein Seitenbach des Halbbachs im Klettgau, zudem Teil einer Forschungsarbeit der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) [7]. Seit Anfang 2018 läuft in Zusammenarbeit mit dem Bund ein Langzeit-Monitoringprogramm. Dabei handelt es sich um die auf organische Mikroverunreinigungen ausgeweitete Nationale Beobachtung Oberflächenwasserqualität (NAWA). Ziel dieses Programmes ist es, den Zustand und die Entwicklung der Oberflächenwasserqualität in der Schweiz nicht nur langfristig und einheitlich zu beobachten, sondern auch die Wirkung von Massnahmen zu überprüfen. Der vorliegende Bericht informiert über die Aktivitäten des Kantons Schaffhausen im Bereich Monitoring von Mikroverunreinigungen in Fließgewässern in den Jahren 2018-2019.

### 1.2 Gesetzliche Grundlagen

Der Schutz der Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen ist im eidgenössischen Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20) verankert. Neben der Sicherstellung der Nutzung als Trink- und Brauchwasser wird auch die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen geschützt. Dafür sollen unter anderem keine künstlichen, langlebigen Stoffe in die Fließgewässer eingetragen werden. In der Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) sind ökologische Ziele sowie Anforderungen an die Wasserqualität der Gewässer definiert. Darunter fallen auch numerische Anforderungen bezüglich Schwermetallen, organischen Pestiziden und seit dem 01.04.2020 auch bezüglich Arzneimitteln. Bis zum 01.04.2020 galt für alle organischen Pestizide ein Anforderungswert von 0.1 Mikrogramm pro Liter. Seit dem 01.04.2020 gilt ausserdem für 19 ausge-

wählte organische Pestizide ein wirkungsbasierter Anforderungswert zwischen 0.00003 und 6.4 Mikrogramm pro Liter (Tabelle 1). Zusätzlich wurden für drei ausgewählte Arzneimittel wirkungsbasierte Anforderungswerte aufgenommen (Tabelle 1). Weitere Mikroverunreinigungen werden bisher nicht geregelt. Neu wird auch zwischen Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen und anderen Gewässern unterschieden. Im Bericht werden nur Anforderungswerte von Gewässern dargestellt, die nicht der Trinkwassernutzung dienen, da die untersuchten Gewässer keine Trinkwasserressourcen sind.

Substanz	Numerische Anforderung in der GSchV [ $\mu\text{g/l}$ ] <sup>1</sup>	Numerische Anforderung (andauernd) in der GSchV [ $\mu\text{g/l}$ ] <sup>2</sup>
<b>Pestizide</b>		
Azoxystrobin	0.55	0.2
Chlorpyrifos	0.0044	0.00046
Cypermethrin	0.00044	0.00003
Cyprodinil	3.3	0.33
Diazinon	0.02	0.012
Diuron	0.25	0.07
Epoxiconazol	0.24	0.2
Imidacloprid	0.1	0.013
Isoproturon	1.7	0.64
MCPA	6.4	0.66
Metazachlor	0.28	0.02
Metolachlor	3.3	0.69
Metribuzin	0.87	0.058
Nicosulfuron	0.23	0.0087
Pirimicarb	1.8	0.09
Terbutylazin	1.3	0.22
Terbutryn	0.34	0.065
Thiacloprid	0.08	0.01
Thiamethoxam	1.4	0.042
<b>Arzneimittel</b>		
Azithromycin	0.18	0.019
Clarithromycin	0.19	0.12
Diclofenac <sup>3</sup>	-	0.05

<sup>1</sup> entspricht dem akuten Qualitätskriterium (AQK) (Kapitel 2.5.1).

<sup>2</sup> entspricht dem chronischen Qualitätskriterium (CQK) (Kapitel 2.5.1).

<sup>3</sup> für Diclofenac konnte nur ein Anforderungswert für die andauernde Belastung hergeleitet werden.

**Tabelle 1:** Auflistung der Substanzen, die in der Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201, Stand 01.04.2020) mit substanzspezifischen numerischen Anforderungen geregelt sind (Gewässer, die nicht der Trinkwassernutzung dienen). Die andauernde Anforderung gilt gemittelt über einen Zeitraum von zwei Wochen.

### 1.3 Mikroverunreinigungen

Mikroverunreinigungen, auch Spurenstoffe genannt, sind Stoffe, die in Gewässern im Bereich von Nanogramm pro Liter (ng/l) bis Mikrogramm pro Liter ( $\mu\text{g/l}$ ) vorkommen. 1000 ng/l entsprechen dabei  $1 \mu\text{g/l}$ . Zur besseren Vorstellung: 1 ng/l entspricht 50 kg eines Stoffes im Bodensee oder 4 kg im Zürichsee. Zu den Mikroverunreinigungen gehören synthetisch hergestellte Chemikalien wie Pestizide, Arzneimittel und Industriechemikalien (s. unten) sowie natürlich vorkommende Stoffe, z.B. Hormone, Schwermetalle oder Toxine. Mikroverunreinigungen sind teilweise bereits in diesen tiefen Konzentrationen hoch wirksam und können negative Effekte auf Wasserorganismen haben. Obwohl diese Stoffe alle zu den Mikroverunreinigungen gehören, haben nicht alle die gleiche toxische Wirkung auf Gewässerorganismen. Als Beispiel: Während beim Insektizid Cypermethrin bereits ab einer Konzentration von  $0.00003 \mu\text{g/l}$  ein negativer Einfluss auf Gewässerorganismen nicht mehr ausgeschlossen werden kann, liegt dieser Wert beim Herbizid Metolachlor erst bei  $0.69 \mu\text{g/l}$  (Tabelle 1).

Mikroverunreinigungen gelangen auf unterschiedlichen Wegen in Gewässer (Abbildung 1). Einige davon werden punktuell über die Abwasserreinigungsanlage (ARA) eingetragen [8]. Die heutigen ARA entfernen in erster Linie

Nährstoffe aus dem Abwasser; Mikroverunreinigungen werden nicht oder nur teilweise abgebaut. Die Aufrüstung von ausgewählten ARA mit einer vierten Reinigungsstufe (z.B. Ozonierung, Pulveraktivkohle) hat zum Ziel, Mikroverunreinigungen aus punktuellen Einträgen in Zukunft zu reduzieren (Kapitel 4). Andere Stoffe gelangen über diffuse Quellen in die Gewässer. Unter diffusen Quellen werden alle Einträge bezeichnet, die nicht über die ARA erfolgen. Wichtige diffuse Quellen sind die Abschwemmung von unversiegelten Flächen (z.B. Wiesen, Gärten, Äcker), die Auswaschung über Drainageleitungen, die Abdrift während der Ausbringung von Pestiziden und die Abschwemmung von versiegelten Flächen (z.B. Strassen, Plätze) [9].

Neben der zum Teil hohen Toxizität und den unterschiedlichen Eintragungswegen in die Gewässer gilt ihre grosse Vielfalt als zusätzliche Herausforderung. In der Schweiz werden zurzeit über 30 000 synthetische Stoffe verwendet [10]. Zudem können Wirkstoffe durch chemische oder biologische Prozesse umgewandelt beziehungsweise abgebaut werden. Dabei können unzählige Metaboliten, auch Abbauprodukte genannt, entstehen. Die wichtigsten Klassen von Mikroverunreinigungen werden in den folgenden Abschnitten etwas genauer beschrieben.



Abbildung 1: Übersicht wichtiger Quellen und Eintragungspfade (rot) von Mikroverunreinigungen in die Gewässer [9].

#### 1.3.1 Pestizide

Pestizide sind Stoffe, die zur Bekämpfung von Schädlingen, Pilzen, Unkräutern, Algen oder Mikroorganismen eingesetzt werden. Der Begriff Pestizid wird rechtlich unterteilt in die beiden Begriffe Pflanzenschutzmittel (PSM) und Biozide. Die Zulassung der Pflanzenschutzmittel läuft über das Bundesamt für Landwirtschaft, die Zulassung der Biozide über die Gemeinsame Anmeldestelle Chemikalien des Bundes. Dabei können dieselben Wirkstoffe als PSM und als Biozid zugelassen sein.

#### Pflanzenschutzmittel

PSM sind Stoffe, die zum Schutz von Pflanzen verwendet werden. Durch die Bekämpfung von Krankheiten, Schädlingen oder Unkräutern erhalten sie die Gesundheit der zu schützenden Pflanze. Sie werden in der Land- und Forstwirtschaft, im Zierpflanzenbau und in Privatgärten eingesetzt. Abhängig vom Zielorganismus können sie in Herbizide (Unkrautvernichtungsmittel), Fungizide (Pilzvernichtungsmittel), Insektizide (Schädlingsbekämpfungsmittel) und weitere eingeteilt werden. PSM können zum Beispiel durch Abschwemmung, Drainagenleitungen, Abdrift, oder Hofplatzentwässerungen in die Gewässer gelangen. Neben den diffusen Einträgen gibt es aber auch punktuelle Einträge via ARA.

#### Biozide

Biozide sind Chemikalien, die zur Bekämpfung von Schädlingen, Pilzen oder Algen verwendet werden, ohne dass sie dabei eine Pflanze schützen. Sie dienen hauptsächlich dem Schutz der Gesundheit und der Produkte des Menschen. Biozide werden unterteilt in die vier Hauptgruppen Desinfektionsmittel, Schutzmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel und sonstige Biozidprodukte. Beispiele sind Fassadenschutzmittel, Holzschutzmittel, Spinnensprays und Insekten-Repellents. Je nach Einsatzort kann der Eintrag von Bioziden über diffuse Quellen oder punktuell via ARA erfolgen.

#### 1.3.2 Human- und Tierarzneimittel

Human- und Tierarzneimittel sind Stoffe, die zur Heilung oder Verhütung menschlicher beziehungsweise tierischer Krankheiten eingesetzt werden. Arzneimittel werden durch die Swissmedic zugelassen. Humanarzneimittel gelangen hauptsächlich punktuell über eine ARA in die Gewässer. Tierarzneimittel gelangen entweder direkt ins Gewässer oder indirekt über die Ausbringung von Gülle auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen.

#### 1.3.3 Industriechemikalien

Industriechemikalien können in mehrere Untergruppen aufgeteilt werden. In Oberflächengewässern werden bisher hauptsächlich Korrosionsschutzmittel und künstliche Süsstoffe untersucht. Korrosionsschutzmittel werden sehr vielseitig eingesetzt und gelangen so über unterschiedliche Wege ins Gewässer. Künstliche Süsstoffe werden durch den Menschen ausgeschieden und gelangen fast ausschliesslich über das Abwasser in die Gewässer.

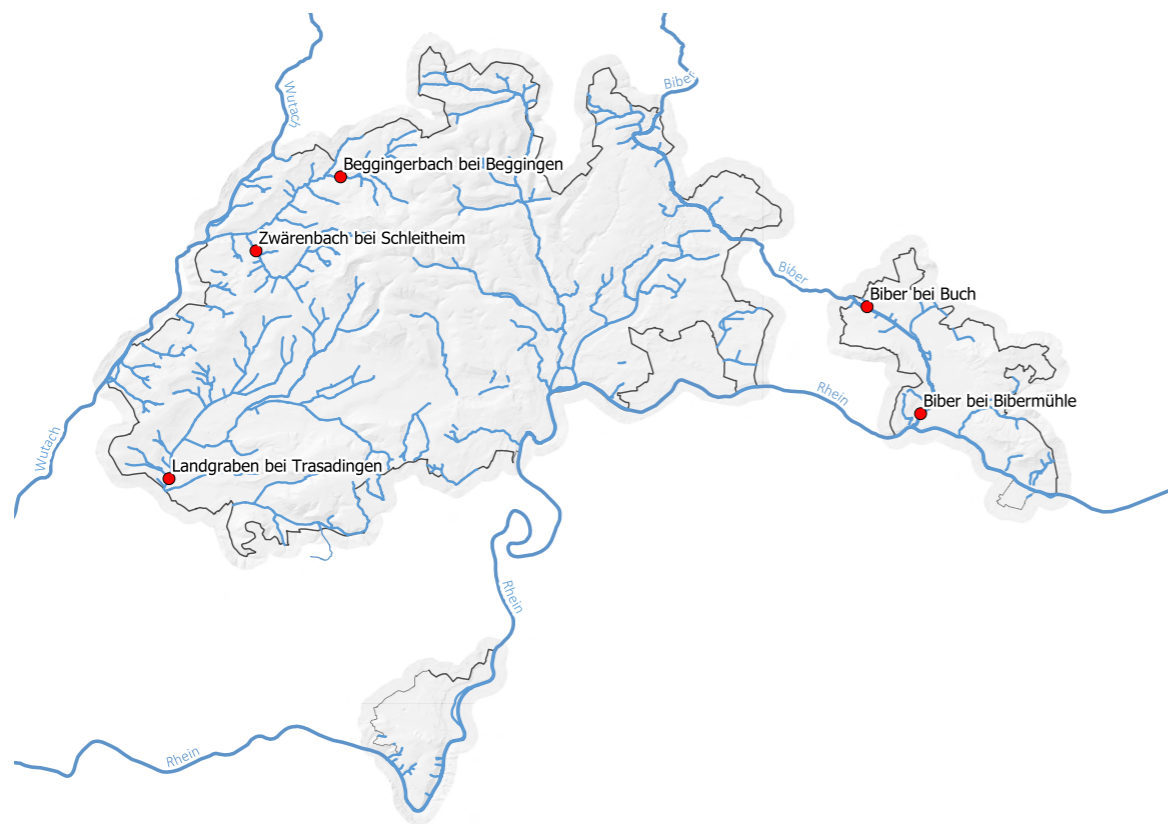


Abbildung 2: Messstellen für die Untersuchungen von Mikroverunreinigungen in Fließgewässern im Kanton Schaffhausen

## 2 Methodik

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Im Kanton Schaffhausen wurden in den Jahren 2018-2019 an drei Bächen permanente Messstellen installiert. Dabei handelt es sich um den Beggingerbach bei Beggingen, den Zwärenbach bei Schleitheim und den Landgraben bei Trasadingen (Abbildung 2). Alle drei Messstellen sind Teil des schweizweiten Monitoring-Programms NAWA Trend welches das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Zusammenarbeit mit den Kantonen durchführt [11]. Die Messstelle am Zwärenbach ist zusätzlich Teil der Erweiterung des NAWA Trend Programmes, welches im Rahmen der Erfolgskontrolle des Aktionsplanes Pflanzenschutzmittel (AP PSM) durchgeführt wird [12].

Im Rahmen der kantonalen Gewässerüberwachung wurden ausserdem zwei Messstellen in der Biber bei Buch und bei Bibernühle eingerichtet (Abbildung 2).

Die Abbildung 3 zeigt die Abflussdaten für die Jahre 2018 und 2019 der untersuchten Fließgewässer. Im Beggingerbach betrug der durchschnittliche Abfluss  $0.055 \text{ m}^3/\text{s}$ , im Zwärenbach  $0.080 \text{ m}^3/\text{s}$ , im Landgraben  $0.340 \text{ m}^3/\text{s}$  und in der Biber  $0.88 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das Jahr 2018 war aufgrund des Hitzesommers überdurchschnittlich trocken, im Jahr 2019 war insbesondere der Herbst sehr trocken.

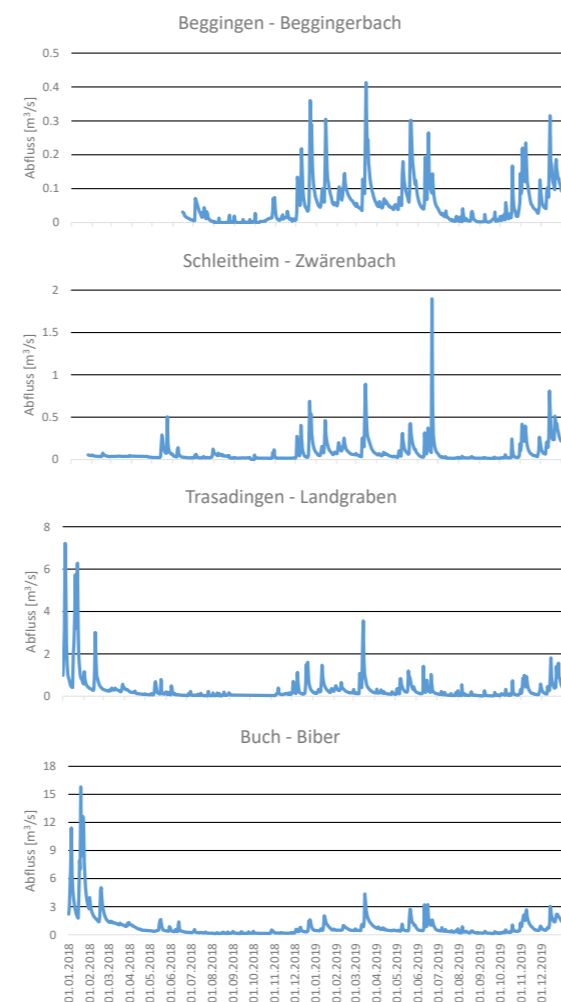


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Abflusses (in  $\text{m}^3/\text{s}$ ) der untersuchten Fließgewässer in den Jahren 2018-2019. Lücken in der Datenreihe sind Messlücken.



Landgraben

#### 2.1.1 Beggingerbach bei Beggingen

Der Beggingerbach beim Standort ARA Beggingen ist ein kleiner Bach mit einem Einzugsgebiet von ungefähr  $10 \text{ km}^2$ . Das Einzugsgebiet ist geprägt durch Ackerbau und Wald (Abbildung 4). Die Messstelle wurde bewusst direkt oberhalb der Einleitung der ARA Beggingen gewählt, um die Einflüsse der Landwirtschaft möglichst getrennt von Einflüssen der Siedlung bewerten zu können. Im Einzugsgebiet liegt das Dorf Beggingen mit ca. 500 Einwohnern. Eine Belastung durch das Siedlungsgebiet ist lediglich durch Mischabwassereinleitung oder Strassenentwässerung während Regenereignissen sowie durch Einträge von Privatgärten zu erwarten.



Beggingerbach

#### 2.1.2 Zwärenbach bei Schleitheim

Der Zwärenbach kurz vor Mündung in den Schleitheimerbach ist bezüglich Grösse und Einzugsgebiet vergleichbar mit dem Beggingerbach. Es handelt sich ebenfalls um einen kleinen Bach mit einem Einzugsgebiet von etwa  $11 \text{ km}^2$ , das durch Ackerbau und Wald (Abbildung 4) geprägt ist. Im Einzugsgebiet des Baches liegt keine ARA und keine Siedlung (abgesehen von einzelnen Höfen).



Zwärenbach

#### 2.1.3 Landgraben bei Trasadingen

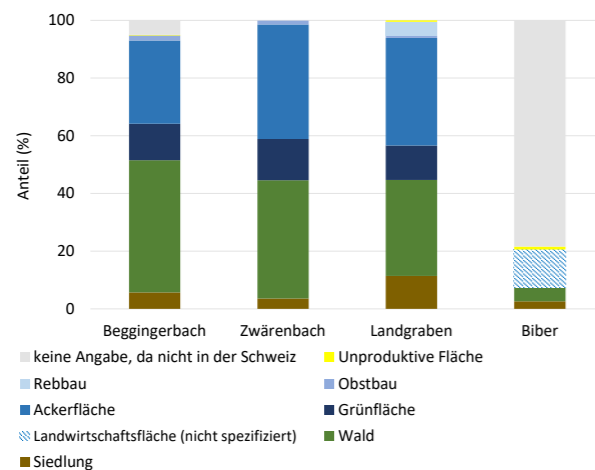
Der Landgraben bei Trasadingen ist ein mittelgrosser Bach mit einem Einzugsgebiet von rund  $50 \text{ km}^2$ . Dieses ist sehr heterogen und geprägt durch Ackerbau, Rebbau und Wald (Abbildung 4). Die ARA Hallau, an die ungefähr 15 000 Einwohner angeschlossen sind, entwässert in den Landgraben. Dadurch sind an der Messstelle beachtliche Anteile an gereinigtem Abwasser im Bach enthalten. Während dieser Anteil zwischen Herbst und Frühling bei 15-40% liegt, kann er im Sommer auf 80-100% ansteigen.



Biber

#### 2.1.4 Biber bei Bibermühle / bei Buch

Die Biber, mit einem Einzugsgebiet von rund 170 km<sup>2</sup> ist nach dem Rhein das zweitgrösste Gewässer im Kanton Schaffhausen. Ihre Quelle liegt in Watterdingen (Deutschland). Sie überquert während ihrem 31 km langen Flusslauf fünfmal die schweizerisch-deutsche Grenze. Das Einzugsgebiet, welches folglich zu einem grossen Teil (rund 80%) in Deutschland liegt, ist sehr heterogen und geprägt von Ackerbau und Wald (Abbildung 4). Zudem leitet die ARA Oberes Bibertal mit rund 5 500 angeschlossenen Einwohnern gereinigtes Abwasser in die Biber. Der Abwasseranteil in der Biber ist aufgrund der Grösse des Flusses relativ tief. Die beiden Probenahmestellen wurden so gewählt, dass die gesamte Belastung der Biber (inkl. Einzugsgebiet in Deutschland) mit der Belastung aus dem oberen Kantonsteil des Kantons Schaffhausen verglichen werden kann.



**Abbildung 4:** Anteilsmässige Landnutzung im Einzugsgebiet der untersuchten Messstellen. Einzugsgebiete, die in Deutschland liegen, wurden nicht charakterisiert. Die Daten der NAWA-Messstellen (Beggingerbach, Zwärenbach, Landgraben) wurden durch das BAFU bestimmt und stammen aus der Arealstatistik. Die präsentierten Anteile für die kantonale Messstelle Biber bei Bibermühle stammen aus der Arealstatistik (geo.admin.ch, 15.07.2020).

#### 2.2 Probenahme

Um eine möglichst repräsentative Beurteilung der Belastung von Mikroverunreinigungen in Fließgewässern zu erreichen, ist die Erhebung von Mischproben nötig [9]. An den drei NAWA-Messstellen im Beggingerbach, im Zwärenbach und im Landgraben wurden die Proben deshalb mit einem automatischen, gekühlten Probenehmer gesammelt (Abbildung 5A). Dieser hat jede Stunde ein voreingestelltes Volumen aus dem Bach entnommen und in ein Probenahmegefäss aus Glas gegeben. Das Gefäss wurde automatisch alle 3.5 Tage gewechselt. Somit wurde eine zeitproportionale 3.5-Tagesmischprobe erstellt. Alle zwei Wochen wurden vier 3.5-Tagesmischproben eingesammelt, ins Labor gebracht und dort zu einer 14-Tagesmischprobe zusammengeführt. Diese 14-Tagesmischprobe wurde im Labor untersucht. Im Beggingerbach und Landgraben erfolgte die Probenahme seit Januar 2018. Im Zwärenbach erfolgte die Probenahme seit Februar 2019. Im Beggingerbach wurde zwischen April und Juli 2019 die Probenahmefrequenz erhöht. Die gesammelten 3.5-Tagesmischproben wurden nicht zu 14-Tagesmischproben zusammengeführt, sondern direkt im Labor untersucht. Damit konnte ein besserer Überblick über den zeitlichen Verlauf der Belastung erhalten werden.

An den zwei Messstellen in der Biber waren passive Wassersammler im Fluss installiert (Abbildung 5B). Dieser sammelte eine pegelstands-proportionale 14-Tagesmischprobe. Die Proben wurden dabei durch das umströmende Wasser des Baches gekühlt. Alle zwei Wochen wurden die Proben eingesammelt und in das Labor gebracht. Die Probenahme in der Biber erfolgte nur im Jahr 2018.



**Abbildung 5:** A) Fest installierter, automatischer Probenehmer, wie er an den NAWA-Standorten (Beggingerbach, Zwärenbach, Landgraben) verwendet wurde. B) Passiver Wassersammler, der in der Biber installiert war.

#### 2.3 Analysenumfang

Damit der Zustand der Schweizer Gewässer bezüglich Mikroverunreinigungen schweizweit harmonisiert beurteilt werden kann, wurde der Umfang der zu überwachenden Parameter im Rahmen von NAWA definiert. Dafür haben verschiedene Experten des BAFU, des Kompetenznetzwerkes Lab'Eaux, der Eawag, des Ökotoxizentrums und des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) zusammengearbeitet. Die Substanzen wurden spezifisch für die Schweiz risikobasiert ausgewählt. Ziel war es zudem, Stoffe auszuwählen, die die wichtigsten Einträge abdecken. Es sollten sowohl die numerisch höchsten, sowie die ökotoxikologisch relevantesten Konzentrationen erfasst werden, sodass eine möglichst genaue Risikoabschätzung möglich ist. Dabei wurden 52 Pflicht- und 25 optionale Substanzen definiert. Für die Erfolgskontrolle des AP PSM wurden ab 2019 zusätzlich 13 Pflicht- und 4 optionale Substanzen definiert [11].

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass sowohl östrogene Stoffe, wie auch Glyphosat und seine Abbauprodukte nicht auf der Substanzliste stehen, obwohl diese Stoffgruppen regelmässig öffentlich thematisiert werden. Östrogene Stoffe stellen gemäss jüngsten Studien in der Schweiz und in Europa ein geringes Risiko für Gewässerorganismen in Fließgewässern dar. Untersuchungen mit Biotests haben gezeigt, dass die meisten europäischen Fließgewässer keine östrogenen Stoffe in kritischen Konzentrationen enthalten [13]. Glyphosat, das weltweit am häufigsten eingesetzte Herbizid, wird in Oberflächengewässern häufig in erhöhten Konzentrationen gefunden. Die ökotoxikologischen Qualitätskriterien liegen aber bei vergleichsweise hohen Konzentrationen (CQK = 120 µg/l, vgl. auch Kapitel 2.5.1), so dass die Gewässerorganismen durch Glyphosat kaum einem Risiko ausgesetzt sind. Da



die Analyse von östrogenen Stoffen sowie von Glyphosat und seinen Abbauprodukten eine zeitlich und finanziell aufwändige Spezialanalytik benötigen würde, wurde auf diese Analysen verzichtet.

#### 2.4 Analyse

Die Proben wurden ganzjährig mittels Flüssigchromatographie gekoppelt an ein Tandem-Massenspektrometer (LC-MS/MS) auf insgesamt 92 Mikroverunreinigungen untersucht (Tabelle 7 im Anhang). 21 dieser Substanzen wurden erst ab 2019 analysiert. Zusätzlich wurden während der Hauptapplikationszeit von PSM zwischen März und Oktober zehn für Gewässerorganismen besonders toxische Insektizide mittels Gaschromatographie gekoppelt an die Tandem-Massenspektrometrie (GC-MS/MS) gemessen (Tabelle 7 im Anhang). Dabei handelte es sich um eine aufwendige Spezialanalytik, mit der auch sehr tiefe Bestimmungsgrenzen erreicht werden konnten [14]. Diese Analysen wurden ab dem Jahr 2019 an allen Standorten durch das IKL durchgeführt. 2018 erfolgte die GC-MS/MS Analyse der Proben aus dem Beggingerbach durch die Eawag [15]. Bei den insgesamt ca. 100 analysierten Substanzen waren alle Pflichtsubstanzen aus dem NAWA Programm, ein Grossteil der optionalen Substanzen, sowie weitere Mikroverunreinigungen enthalten. Davon waren 74 Pestizide, 15 Arzneimittel, 3 Industriechemikalien und 10 Abbauprodukte.

Für die Analytik mittels LC-MS/MS wurden alle Proben zentrifugiert, um Sink- und Schwebestoffe zu entfernen. Danach wurden die Proben im Kühlschrank gelagert und innerhalb von vier Wochen analysiert. Da für diese Analyse kein Anreicherungsschritt nötig war, konnten die Proben direkt injiziert werden. Dabei wurden Bestimmungsgrenzen von 0.008-0.040 µg/l erreicht (Tabelle 7 im Anhang). Für die Analyse der für Gewässerorganismen

sehr toxischen Pyrethroide und Organophosphate mittels GC-MS/MS war ein Anreicherungsprozess notwendig. Die Proben wurden mit dem Lösungsmittel Hexan extrahiert und die Extrakte wurden durch Verdampfung aufkonzentriert. Nur so konnten die tiefen Bestimmungsgrenzen von bis zu 0.00002 µg/l erreicht werden (Tabelle 7 im Anhang). Weil einige dieser Substanzen im Wasser nur wenige Tage stabil sind, wurden die Proben innerhalb von vier Tagen extrahiert. Die Extrakte konnten dann für mehrere Monate im Tiefkühler gelagert werden.

Für die Quantifizierung wurden Referenzmaterialien und nach Möglichkeit isotope markierte interne Standards benutzt. Das IKL ist für die Analyse dieser Parameter akkreditiert (ISO 17025), nimmt regelmässig an Ringversuchen teil und führt ein kontinuierliches Qualitätsmanagement.

## 2.5 Auswertung

### 2.5.1 Herleitung von chronischen und akuten Qualitätskriterien

Wie im Kapitel 1.2 beschrieben, gelten seit dem 01.04.2020 in der GSchV für 19 ausgewählte organische Pestizide, sowie für drei Arzneimittel wirkungsbasierte numerische Anforderungen. Diese Anforderungen wurden durch das Ökotoxzentrum nach Richtlinien der EU hergeleitet [16]. Zusätzlich zu diesen 22 Mikroverunreinigungen hat das Ökotoxzentrum für weitere 75 organische Substanzen verlässliche Qualitätskriterien veröffentlicht [17]. Für die Herleitung der Qualitätskriterien müssen ökotoxikologische Studien mit Pflanzen (P), Invertebraten (I, Wirbellose wie Krebstiere und Insekten) und Vertebraten (V, Wirbeltiere wie Fische) vorliegen. Das hergeleitete Qualitätskriterium entspricht der tiefsten Konzentration aus den

Studien, bei welcher ein negativer Einfluss auf die untersuchten Gewässerorganismen beobachtet wurde, geteilt durch einen Sicherheitsfaktor. Je besser die Datenlage für eine Substanz ist, desto geringer ist der Sicherheitsfaktor. In den meisten Fällen liegt der Sicherheitsfaktor zwischen 10 und 100. Es wird auch bestimmt, welche Organismenklassen (P, I oder V) am empfindlichsten auf die Substanz reagieren.

Das Ökotoxzentrum unterscheidet bei den Qualitätskriterien zwischen akuten Qualitätskriterien (AQK) und chronischen Qualitätskriterien (CQK). Das AQK schützt die Organismen vor akuter Toxizität und darf nie überschritten werden. Das CQK schützt die Organismen vor Langzeitschäden (chronische Toxizität) und darf gemittelt über zwei Wochen nicht überschritten werden.

### 2.5.2 Risikobewertung der Wasserqualität bezüglich Mikroverunreinigungen

Die Beurteilung der Wasserqualität wurde gemäss dem Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen [9] vorgenommen. Dabei werden die AQK für die Beurteilung von 3.5-Tagesmischproben (akutes Risiko) und die CQK für die Beurteilung von 14-Tagesmischproben (chronisches Risiko) benutzt. Die gemessenen Konzentrationen von 3.5-Tagesmischproben im Beggingerbach zwischen April und Juli 2019 wurden für die Beurteilung des chronischen Risikos rechnerisch zu 14-Tagesmischproben gemittelt.

Für die Risikobewertungen wurden die gemessenen Konzentrationen jeder einzelnen Substanz mit dem jeweiligen Qualitätskriterium verglichen. Das Verhältnis aus der gemessenen Konzentration und dem Qualitätskriterium

wird Risikoquotient (RQ) genannt. Ist die gemessene Konzentration grösser als das Qualitätskriterium ( $RQ > 1$ ), kann eine Beeinträchtigung von Lebewesen (Tiere, Pflanzen oder Mikroorganismen) im Gewässer nicht ausgeschlossen werden.

Für eine wirkungsbasierte Beurteilung der Wasserqualität in einem Gewässer hinsichtlich Mikroverunreinigungen müssen die Risiken der einzelnen Substanzen zusammengefasst werden. Das heisst, es muss das Mischungsrisiko bestimmt werden. Das Ökotoxzentrum schlägt vor, die Beurteilung des Mischungsrisikos für Pflanzen (P), Invertebraten (I) und Vertebraten (V) getrennt durchzuführen [4],[18]. Dazu werden die RQ aller Substanzen addiert, deren empfindlichste Organismenklasse dieselbe ist. Die Mischungsrisiken werden angelehnt an das Modulstufenkonzept (MSK) des BAFU [19] in fünf Beurteilungsklassen von sehr gut bis schlecht eingestuft (Abbildung 6).

## 3 Resultate

### 3.1 Substanzen mit höchsten bzw. ökotoxikologisch kritischsten Konzentrationen

Um zu beurteilen, welche Substanzen den grössten Einfluss auf die Wasserqualität der untersuchten Fließgewässer im Kanton Schaffhausen haben, wurden die gemessenen Substanzen sowohl hinsichtlich höchsten Konzentrationen als auch der ökotoxikologisch kritischsten Konzentrationen ausgewertet. Die Top 10 der Substanzen aus den Jahren 2018 und 2019 aus den Messungen der 14-Tagesmischproben sind in den Tabellen 2 bis 6 zusammengefasst und in den nächsten drei Kapiteln ausführlich diskutiert.

#### 3.1.1 Substanzen mit höchsten Konzentrationen

In den Tabellen 2 und 3 sind die Substanzen mit den höchsten gemessenen Konzentrationen in den Jahren 2018 und 2019 dargestellt. Es gilt zu beachten, dass der für die Auswertung gewählte Wert von 0.1 µg/l gesetzlich nur für Pestizide gilt, welche in der GSchV nicht abweichend geregelt sind. Für alle anderen Substanzen steht der gewählte Wert nur indikativ für Konzentrationen, die auffällig hoch sind.

In den Top 10 der Substanzen befanden sich 2018 acht Substanzen mit Siedlungsherkunft und zwei Pflanzenschutzmittel-Metaboliten. 2019 waren es sieben Substanzen mit Siedlungsherkunft, zwei Pflanzenschutzmittel-Metaboliten und ein Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff (Tabellen 2 und 3).

Die Substanzen mit Siedlungsherkunft sind zwei Korrosionsschutzmittel (Benzotriazol, 4- und 5- Methylbenzotriazol), fünf Arzneimittel (Metformin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol, Carbamazepin) und ein künstlicher Süsstoff (Acesulfam). Hohe Konzentrationen dieser Stoffe wurden grösstenteils im Landgraben gemessen, seltener auch in der Biber. Diese Befunde sind in beiden Fällen grösstenteils auf die ARA zurückzuführen, über welche gereinigtes Abwasser in die Fließgewässer gelangt. Im Landgraben ist der Anteil an gereinigtem Abwasser deutlich höher, weswegen auch die Belastung durch diese Substanzen höher war als in der Biber (Kapitel 2.1). Die in Tabellen 2 und 3 erwähnten Konzentrationen lagen mit Ausnahme von Diclofenac unterhalb des jeweiligen CQK.

Acesulfam kommt in vielen Lebensmitteln und Getränken vor. Es wird vom Körper unverändert ausgeschieden, in konventionellen ARA schlecht abgebaut und ist in der

Beurteilung	Bedingung/Beschreibung ( $RQ = MEC / QK$ )		Einhaltung Qualitätskriterium (QK)
sehr gut	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist mehr als 10 mal kleiner als das Qualitätskriterium (QK)	$RQ < 0.1$	QK eingehalten
gut	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist weniger als 1 und bis zu 10 mal kleiner als das Qualitätskriterium (QK)	$0.1 \leq RQ < 1$	
mässig	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist kleiner als das doppelte Qualitätskriterium (QK)	$1 \leq RQ < 2$	QK überschritten (nicht eingehalten)
unbefriedigend	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist kleiner als das zehnfache Qualitätskriterium (QK)	$2 \leq RQ < 10$	
schlecht	die gemessene Umweltkonzentration (MEC) ist gleich wie oder grösser als das zehnfache Qualitätskriterium (QK)	$RQ \geq 10$	

Abbildung 6: Wirkungsbasierte Beurteilung der Wasserqualität für Mikroverunreinigungen angelehnt an das MSK des BAFU [9].

Nr.	Substanz	Total Befunde > 0.1 µg/l	Anteil [%]	Maximal-Konzentration [µg/l]	Substanzklasse
1	Chloridazon-desphenyl	55	75	0.55	Herbizid-Metabolit
2	Benzotriazol	48	65	5.3	Korrosionsschutzmittel
3	Metformin	43	59	2.0	Arzneimittel (Antidiabetikum)
4	Acesulfam	30	41	0.66	künstlicher Süsstoff
5	4- und 5- Methylbenzotriazol	27	37	1.3	Korrosionsschutzmittel
6	Diclofenac <sup>1</sup>	25	34	2.1	Arzneimittel (Schmerzmittel)
7	Metoprolol	22	30	0.61	Arzneimittel (Betablocker)
8	Metolachlor-ESA	21	29	0.23	Herbizid-Metabolit
9	Sulfamethoxazol	15	21	0.39	Arzneimittel (Antibiotika)
10	Carbamazepin	14	19	0.28	Arzneimittel (Antikonvulsivum)

<sup>1</sup> Überschreitung des Anforderungswertes gemäss GSchV (Tabelle 1)

Tabelle 2: Top 10 der Substanzen mit Konzentrationen über 0.1 µg/l im Jahr 2018, in welchem die Messstellen im Beggingerbach, Landgraben und Biber (bei Bibermühle) untersucht wurden. Die Substanzen der NAWA-Erweiterung im Rahmen der Erfolgskontrolle des AP PSM wurden nicht gemessen. Pyrethroide und Organophosphate wurden nur im Beggingerbach von April bis Oktober untersucht. Der aufgeführte Anteil bezieht sich auf die Anzahl der Proben, in der die Konzentration über 0.1 µg/l vorlag, im Verhältnis zu allen auf diese Substanz untersuchten Proben.

Umwelt sehr stabil. Aus diesen Gründen ist der künstliche Süsstoff ein sehr guter Indikator für Abwasser in Oberflächenwasser [20]. Unter der Annahme, dass der Konsum von Acesulfam in der Schweiz gleichmässig verteilt ist und dass im jeweiligen Einzugsgebiet keine zusätzliche Quelle liegt, gibt es einen proportionalen Zusammenhang zwischen der Acesulfam-Konzentration in einem Gewässer und dessen Abwasseranteil. Gleiches gilt für Arzneimittel. Industriechemikalien, wie beispielsweise Benzotriazol können auf unterschiedlichen Wegen in die Gewässer gelangen, so auch punktuell über die ARA. Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der Acesulfam-Konzentration und der Benzotriazol-Konzentration im Landgraben. Es ist ein klarer Anstieg der Konzentration im trockenen Sommer 2018, sowie im trockenen Herbst 2019 erkennbar, welcher eindeutig auf den erhöhten Abwasseranteil zurückzuführen ist.

Weiter wiesen die PSM-Metaboliten Chloridazon-desphenyl, Metazachlor-ESA und Metolachlor-ESA regelmässige Konzentrationen über 0.1 µg/l in den untersuchten Bächen auf. Diese Metaboliten werden auch häufig im Grund- und Trinkwasser nachgewiesen [21], [22]. Durch die Exfiltration von Grundwasser können diese Substanzen wieder in die Oberflächengewässer gelangen [23]. Die Abbildung 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der Konzentration von Chloridazon-desphenyl und Metolachlor-ESA im Landgraben.

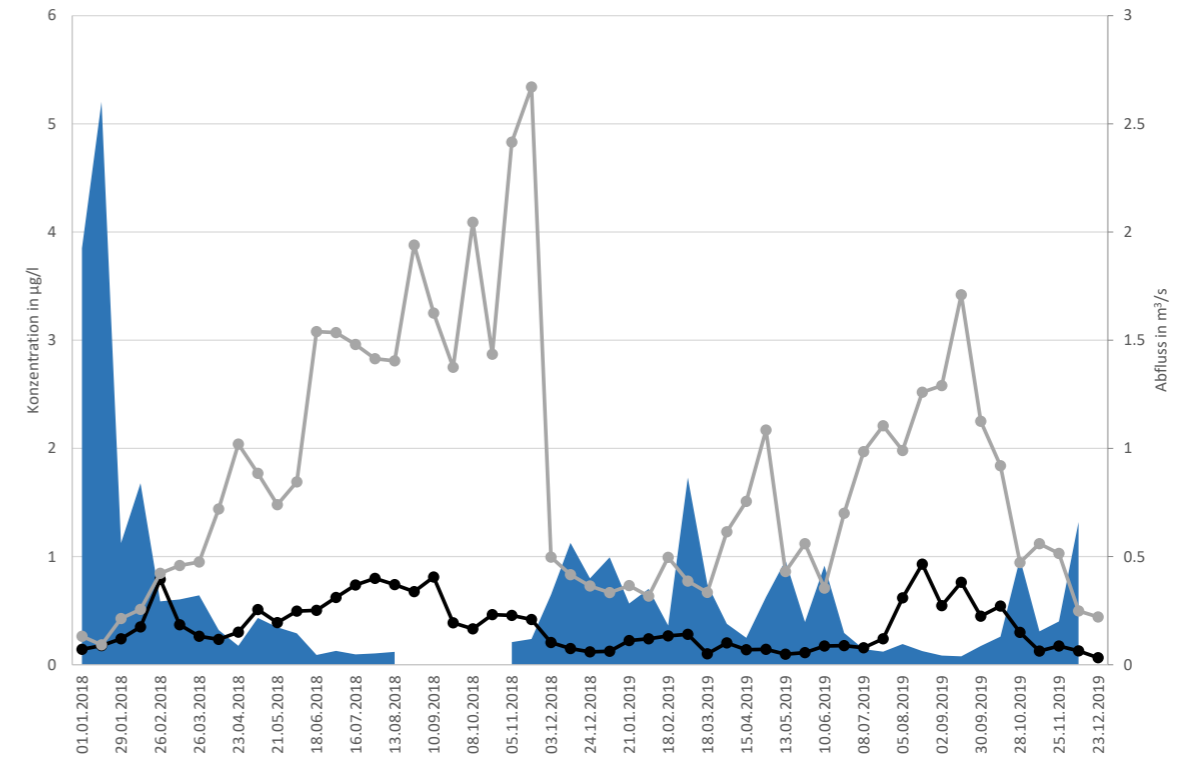
Eine deutliche Korrelation mit dem Abfluss ist erkennbar. Pestizid-Wirkstoffe wurden nur gelegentlich über 0.1 µg/l gemessen. In den Top 10 der Substanzen mit den höchsten Konzentrationen ist lediglich Metamitron zu finden. Mit einer jährlichen Verkaufsmenge von 40 bis 80 Tonnen ist das Herbizid das derzeit drittmeist verkaufte synthetische Pflanzenschutzmittel in der Schweiz. Ein Grossteil des Einsatzes findet bei Zuckerrüben statt, aber auch für Anwendungen im Obst-, Gemüse- und Beerenbau ist der Wirkstoff zugelassen. Es überrascht deshalb nicht, dass der Wirkstoff an allen Untersuchungsstandorten über 0.1 µg/l gemessen wurde. Bemerkenswert ist der beobachtete Konzentrationsverlauf von Metamitron im Landgraben: Die Konzentration stieg wiederholt im April steil an und flachte im Juni wieder ab (Abbildung 9). Dies ist typisch für regengetriebene Einträge, wie Abschwemmung bzw. via Drainagen von landwirtschaftlichen Ackerflächen [9]. Der Zeitpunkt des Auftretens passt mit der Anwendung bei Zuckerrüben überein. Das chronische Qualitätskriterium für Metamitron liegt bei 4 µg/l und somit deutlich höher als die höchst gemessenen Konzentrationen. Da für Metamitron in der GSchV kein wirkungsbasierter Höchstwert definiert wurde, gilt der gesetzliche Anforderungswert von 0.1 µg/l. Weitere Pestizid-Wirkstoffe mit häufigen Konzentrationen über 0.1 µg/l waren die Herbizide Mecoprop, Propyzamid und Isoproturon.

Nr.	Substanz	Total Befunde > 0.1 µg/l	Anteil [%]	Max-Konz. [µg/l]	Substanzklasse
1	Chloridazon-desphenyl	64	83	0.87	Herbizid-Metabolit
2	4- und 5- Methylbenzotriazol	28	36	1.0	Korrosionsschutzmittel
3	Metformin	27	35	1.4	Arzneimittel (Antidiabetikum)
4	Benzotriazol	27	35	3.4	Korrosionsschutzmittel
5	Diclofenac <sup>1</sup>	25	32	1.6	Arzneimittel (Schmerzmittel)
6	Acesulfam	22	29	0.76	künstlicher Süsstoff
7	Metoprolol	22	29	0.46	Arzneimittel (Betablocker)
8	Metazachlor-ESA	18	23	0.86	Herbizid-Metabolit
9	Sulfamethoxazol	16	21	0.48	Arzneimittel (Antibiotika)
10	Metamitron <sup>2</sup>	13	17	1.4	Herbizid

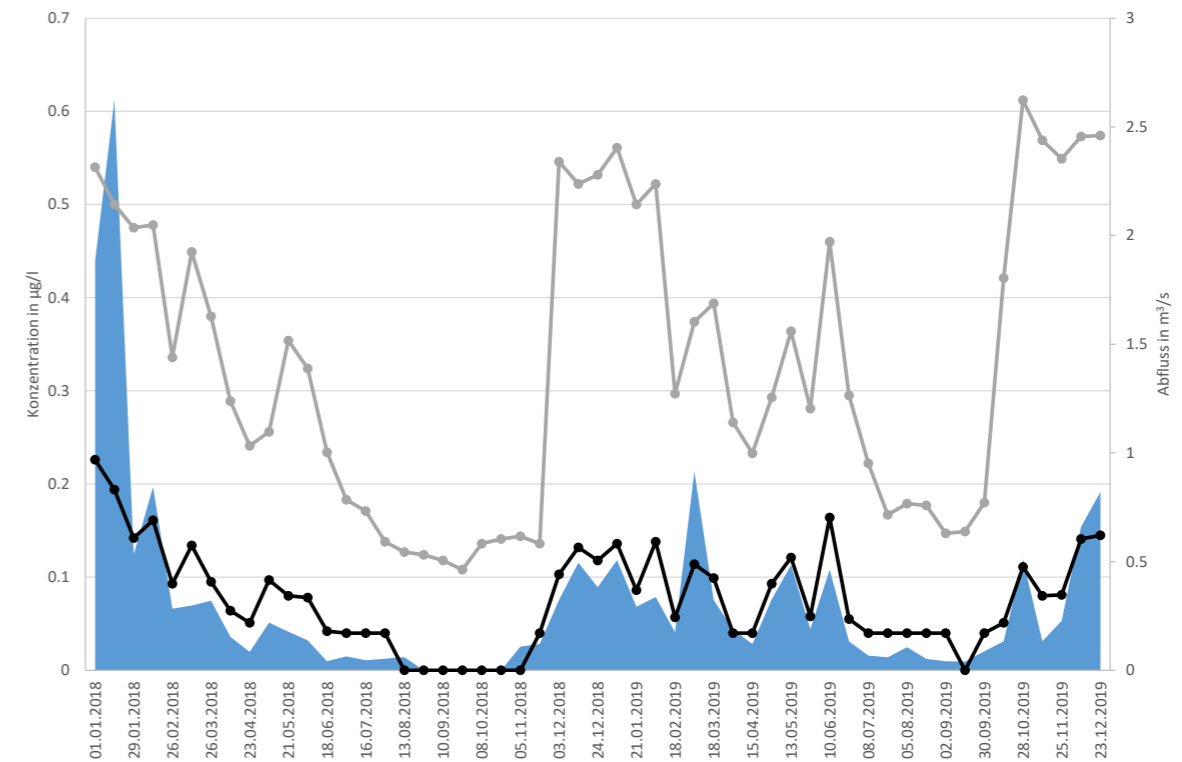
<sup>1</sup> Überschreitung des Anforderungswertes gemäss GSchV (Tabelle 1)

<sup>2</sup> Überschreitung des Anforderungswertes von 0.1 µg/l gemäss GSchV (Pestizide, die nicht abweichend geregelt sind)

**Tabelle 3:** Top 10 der Substanzen mit Konzentrationen über 0.1 µg/l im Jahr 2019, in welchem die Messstellen im Beggingerbach, Zwärenbach und Landgraben untersucht wurden. Die Proben im Zwärenbach wurden erst ab Februar gemessen. Pyrethroide und Organophosphate wurden von April bis Oktober an allen Standorten gemessen. Der aufgeführte Anteil bezieht sich auf die Anzahl der Proben, in der die Konzentration über 0.1 µg/l vorlag, im Verhältnis zu allen auf diese Substanz untersuchten Proben.

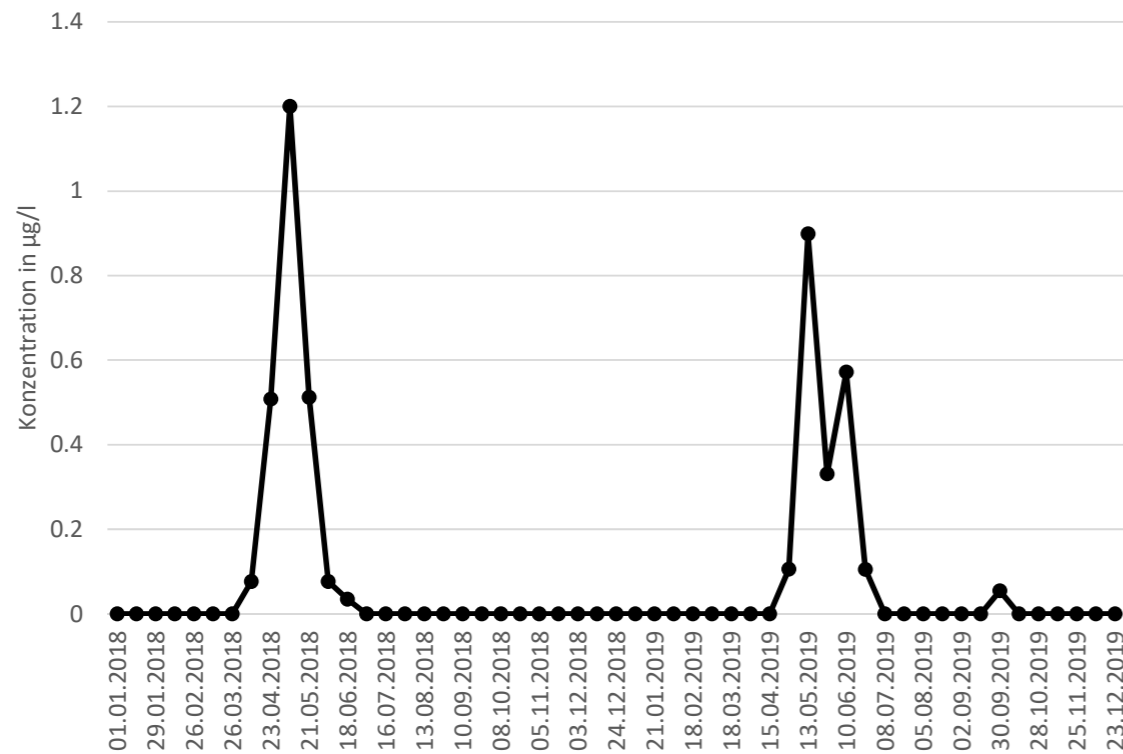


**Abbildung 7:** Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Acesulfam (schwarz) und Benzotriazol (grau) im Landgraben bei Trasadingen in den Jahren 2018 und 2019 verglichen mit dem Abfluss (blau). Die x-Achse steht für das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Die gezeigten Abflüsse wurden auf die Sammelzeiten der Mischproben normiert. Zwischen dem 27.08.2018 und dem 04.11.2018 gibt es keine Abflussmessdaten.



**Abbildung 8:** Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Metolachlor-ESA (schwarz) und Chloridazon-desphenyl (grau) im Landgraben bei Trasadingen in den Jahren 2018 und 2019 verglichen mit dem Abfluss (blau). Die x-Achse steht für das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Zur besseren Darstellung wurden für Proben ohne Befund eine Konzentration von 0 µg/l gezeigt. Die gezeigten Abflüsse wurden auf die Sammelzeiten der Mischproben normiert. Zwischen dem 27.08.2018 und dem 04.11.2018 gibt es keine Abflussmessdaten.





**Abbildung 9:** Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Metamitron im Landgraben bei Trasadingen in den Jahren 2018 und 2019. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen 14-Tagesmischprobe. Zur besseren Darstellung wurden für Proben ohne Befund eine Konzentration von 0 µg/l gezeigt. Die Qualitätskriterien wurden nicht eingezeichnet, da sie weit über den gemessenen Konzentrationen liegen (CQK = 4 µg/l, AQK = 39 µg/l).

Nr.	Substanz	Total Befunde mit RQ > 1	Anteil [%]	CQK [µg/l]	Max RQ	Substanzklasse
1	Cypermethrin <sup>1,2</sup>	13	93	0.00003	127	Insektizid (Pyrethroid)
2	Diclofenac <sup>2</sup>	30	41	0.05	42	Arzneimittel (Schmerzmittel)
3	lambda-Cyhalothrin <sup>1</sup>	5	36	0.000022	20	Insektizid (Pyrethroid)
4	Imidacloprid <sup>2</sup>	16	22	0.013	6.1	Insektizid (Neonicotinoid)
5	Chlorpyrifos <sup>2</sup>	3	21	0.00046	1.7	Insektizid (Organophosphat)
6	Metazachlor <sup>2</sup>	10	14	0.02	92	Herbizid
7	Diuron <sup>2</sup>	10	14	0.07	2.9	Herbizid
8	Nicosulfuron <sup>2</sup>	8	11	0.0087	11	Herbizid
9	Azithromycin <sup>2</sup>	6	8	0.019	4.7	Arzneimittel (Antibiotika)
10	Isoproturon <sup>2</sup>	4	5%	0.64	17	Herbizid

<sup>1</sup> wurde nur im Beggingerbach von März bis Oktober gemessen, darum ist der Anteil deutlich höher als im Jahr 2019 (Tabelle 5)

<sup>2</sup> Überschreitung des Anforderungswertes gemäss GSchV (Tabelle 1)

**Tabelle 4:** Top 10 der Substanzen nach Anzahl der Überschreitungen des CQK im Jahr 2018, in welchem die Messstellen im Beggingerbach, im Landgraben und in der Biber (bei Bibermühle) untersucht wurden. Die Substanzen der NAWA-Erweiterung im Rahmen der Erfolgskontrolle des AP PSM wurden nicht gemessen. Pyrethroide und Organophosphate wurden nur im Beggingerbach von April bis Oktober untersucht. Der aufgeführte Anteil bezieht sich auf die Anzahl der Proben, in der die gezeigte Überschreitung vorlag, im Verhältnis zu allen auf diese Substanz untersuchten Proben. CQK: chronisches Qualitätskriterium, RQ: Risikoquotient

### 3.1.2 Substanzen mit Überschreitungen von chronischen Qualitätskriterien

Die Tabellen 4 und 5 zeigen die 10 Substanzen, welche in den Jahren 2018 und 2019 die meisten Überschreitungen des CQK aufwiesen. Es gilt zu beachten, dass nur die Substanzen beurteilt werden konnten, für welche auch Qualitätskriterien verfügbar waren (Kapitel 4 und Tabelle 7 im Anhang). Unter den 10 Substanzen mit den häufigsten Überschreitungen des CQK befanden sich im Jahr 2018 acht Pestizide (vier Insektizide, vier Herbizide) und zwei Human-Arzneimittel (Tabelle 4). Im Jahr 2019 waren es sieben Pestizide (drei Insektizide, vier Herbizide), zwei Human-Arzneimittel und der Wirkstoff Diazinon, welcher nur noch als Tierarzneimittel zugelassen ist, aber bis 2011 eine Zulassung als Pestizid hatte (Tabelle 5).

#### Insektizide

Viele und auch hohe Überschreitungen der Qualitätskriterien wurden durch Insektizide verursacht, vor allem durch das Organophosphat Chlorpyrifos und das Pyrethroid Cypermethrin. Diese Insektizide wirken bereits bei sehr tiefen Konzentrationen, welche früher analytisch nicht erfasst werden konnten. Erst die Entwicklung einer Spezialmethodik mittels GC-MS/MS ermöglichte es, die Belastung dieser Insektizide korrekt zu erfassen [14].

Die Auswertung der Analyseergebnisse von Chlorpyrifos zeigt, dass es sowohl Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Bächen als auch im zeitlichen Verlauf gab (Abbildung 10). Die Konzentration von Chlorpyrifos im Beggingerbach war im Jahr 2019 vor allem von April bis Juni hoch (teilweise RQ > 5). Von Juni bis Oktober war die Konzentration relativ stabil, jedoch immer noch um den CQK. Im Landgraben war Chlorpyrifos im Jahr 2019 hin-

gegen von Juni bis Juli in den höchsten Konzentrationen vorhanden (teilweise RQ > 10). Während der restlichen Untersuchungszeit von März bis Oktober waren die Konzentration auch hier hoch (RQ = 3-5) Diese zeitliche Verschiebung könnte durch die unterschiedlichen Anwendungen in den verschiedenen Einzugsgebieten erklärt werden (Kapitel 2.1). Chlorpyrifos wurde sehr vielfältig in der Landwirtschaft und im Privatgarten eingesetzt. Da seit dem 31.07.2020 ein breites Anwendungsverbot für Chlorpyrifos besteht, kann damit gerechnet werden, dass die Konzentrationen von Chlorpyrifos ab dem Jahr 2021 sinken werden.

Das Pyrethroid Cypermethrin wurde insbesondere im Beggingerbach in beiden Jahren zwischen März und Mai sowie im Oktober regelmässig in ökotoxikologisch kritischen Konzentrationen nachgewiesen (Abbildung 11). Die maximale Konzentration, die Ende Mai 2018 gemessen wurde, lag mehr als 100-fach über dem CQK und fast 10-fach über dem AQK (Kapitel 3.1.3). Das Insektizid wird nicht nur vielfältig in der Landwirtschaft eingesetzt. Es wird auch als Pflanzenschutzmittel in der Forstwirtschaft, in Gärtnereien und Privatgärten, als Biozid in Holzschutzmitteln und in Schädlingsbekämpfungsmitteln verwendet. Aufgrund der Befunde im durch Landwirtschaft geprägten Beggingerbach und des zeitlichen Konzentrationsverlaufs muss davon ausgegangen werden, dass die Einträge primär aus der Landwirtschaft – im Frühling durch den Anbau von Zuckerrüben und im Herbst durch den Anbau von Raps – stammten.

Im Jahr 2018 gehörte zudem Imidacloprid zu den Top 10 der Substanzen mit den häufigsten Überschreitungen des CQK. Das Insektizid gehört zur Substanzklasse der Neonicotinoide. Neonicotinoid-Anwendungen auf offe-

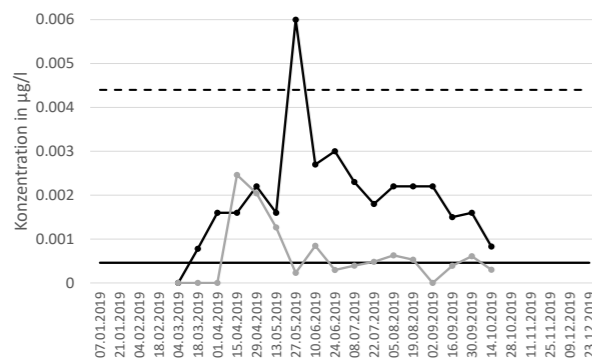
Nr.	Substanz	Total Befunde mit RQ > 1	Anteil [%]	CQK [µg/l]	Max RQ	Substanzklasse
1	Chlorpyrifos <sup>1</sup>	29	57	0.00046	13	Insektizid (Organophosphat)
2	Diclofenac <sup>1</sup>	25	32	0.05	31	Arzneimittel (Schmerzmittel)
3	Cypermethrin <sup>1</sup>	8	16	0.00003	73	Insektizid (Pyrethroid)
4	Metazachlor <sup>1</sup>	11	14	0.02	29	Herbizid
5	Propyzamid <sup>2</sup>	9	12	0.063	19	Herbizid
6	Diazinon <sup>1</sup>	7	9	0.012	136	Tierarzneimittel/ Insektizid (verboten)
7	Azithromycin <sup>1</sup>	7	9	0.019	2.8	Arzneimittel (Antibiotika)
8	Flufenacet <sup>2</sup>	6	8	0.048	7.1	Herbizid
9	Chlorpyrifos-methyl	3	6	0.001	4.7	Insektizid (Organophosphat)
10	Diflufenican <sup>2</sup>	4	5	0.01	5.0	Herbizid

<sup>1</sup> Überschreitung des Anforderungswertes gemäss GSchV (Tabelle 1)

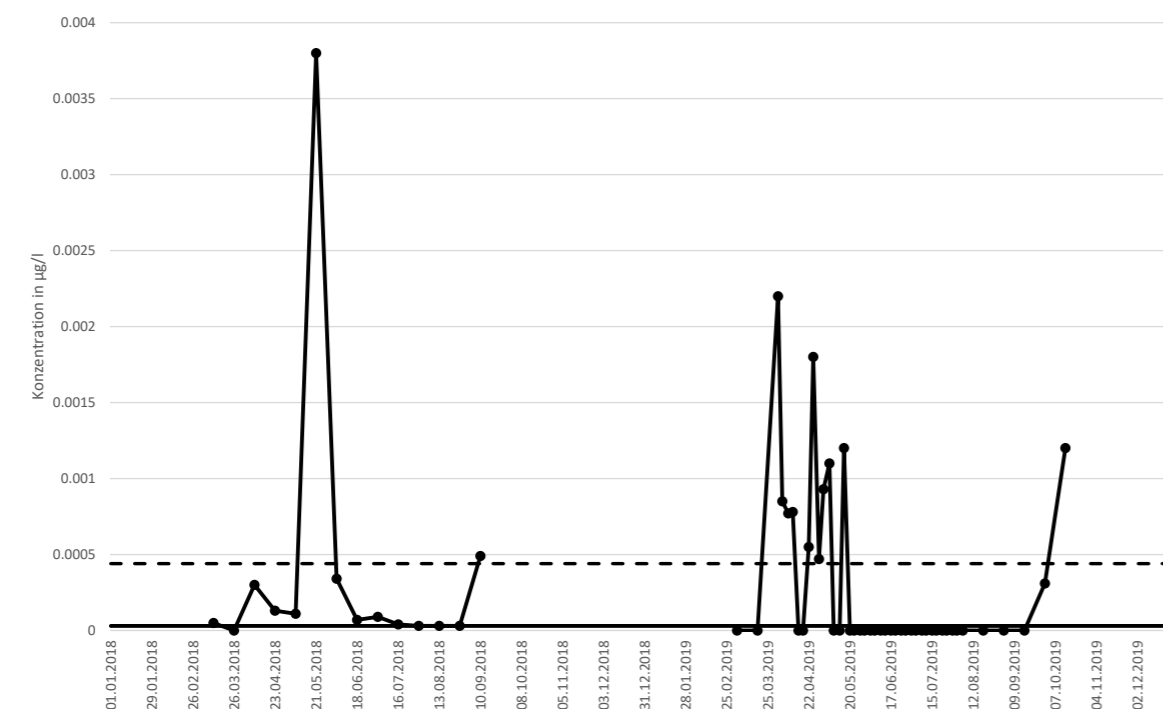
<sup>2</sup> Messung erst ab 2019

**Tabelle 5:** Top 10 der Substanzen nach Anzahl der Überschreitungen des CQK im Jahr 2019, in welchem die Messstellen im Beggingerbach, Zwärenbach und Landgraben untersucht wurden. Die Proben im Zwärenbach wurden erst ab Februar gemessen. Pyrethroide und Organophosphate wurden von März bis Oktober an allen Standorten gemessen. Der aufgeführte Anteil bezieht sich auf die Anzahl der Proben, in der die gezeigte Überschreitung vorlag, im Verhältnis zu allen auf diese Substanz untersuchten Proben. CQK: chronisches Qualitätskriterium, RQ: Risikoquotient

ner Fläche sind in der Schweiz seit dem 01.01.2019 stark eingeschränkt. Grund dafür sind Bedenken wegen der Toxizität gegenüber Bienen. Die Auswirkungen dieses Anwendungsverbotes sind auch in den Ergebnissen zu sehen: Während 2018 Neonicotinoide wie Imidacloprid, Thiamethoxam und Thiacloprid häufig das CQK überschritten, war das 2019 selten der Fall. Seit dem Verbot von Neonicotinoiden als Saatbeizmittel werden vermehrt Pyrethroide gegen Schädlinge eingesetzt. Da Pyrethroide meist über eine Spritzapplikation und nicht als Saatbeizmittel angewendet werden, ist das Risiko, dass sie durch Abschwemmung oder Drift ins Gewässer gelangen, höher. Pyrethroide sind zudem für Wasserorganismen 100- bis 1000-fach giftiger als Neonicotinoide.



**Abbildung 10:** Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Chlorpyrifos im Landgraben (schwarz) und im Beggingerbach (grau) im Jahr 2019. Die Analyse auf Chlorpyrifos erfolgte nur von März bis Oktober. Zur besseren Darstellung wurden das AQL (gestrichelt) und das CQL (durchgezogen) eingezeichnet und für Proben ohne Befunde eine Konzentration von 0 µg/l gezeigt. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe.



**Abbildung 11** Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Cypermethrin im Beggingerbach in den Jahren 2018 und 2019. Fehlende Punkte stehen für Proben, die nicht analysiert wurden. Zur besseren Darstellung wurden das AQL (gestrichelt) und das CQL (durchgezogen) eingezeichnet und für Proben ohne Befunde eine Konzentration von 0 µg/l gezeigt. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe.

### Herbizide

Herbizide mit den häufigsten Überschreitungen des CQK im Jahr 2018 waren Metazachlor, Diuron, Nicosulfuron und Isoproturon (Kapitel 3.2). Metazachlor wird vor allem im Sommer und Herbst bei Winterraps appliziert, was die hohen Konzentrationen in allen Gewässern in dieser Jahreszeit erklärt. Insbesondere die Konzentrationen im Beggingerbach im Jahr 2018 waren sehr hoch (Kapitel 3.2.1). Diuron hat eine Zulassung als PSM im Rebbau und ist als Biozid im Fassadenschutz zugelassen. Es konnte hauptsächlich im Landgraben zwischen April und November nachgewiesen werden (Kapitel 3.2.3). Nicosulfuron wird im Maisbau angewendet und konnte im Zwärenbach, Landgraben und in der Biber jeweils im Juni in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen werden. Isoproturon war im Getreideanbau zugelassen und durfte in der Schweiz bis ins Jahr 2020 angewendet werden. Die höchsten Konzentrationen im Beggingerbach, Zwärenbach und Landgraben wurden jeweils im Oktober / November gemessen, was auf eine Anwendung im Wintergetreide hindeutet. In Deutschland wurde die Anwendung von Isoproturon bereits ab 2017 verboten. Dies erklärt, dass in der Biber keine erhöhten Konzentrationen von Isoproturon gemessen wurden.

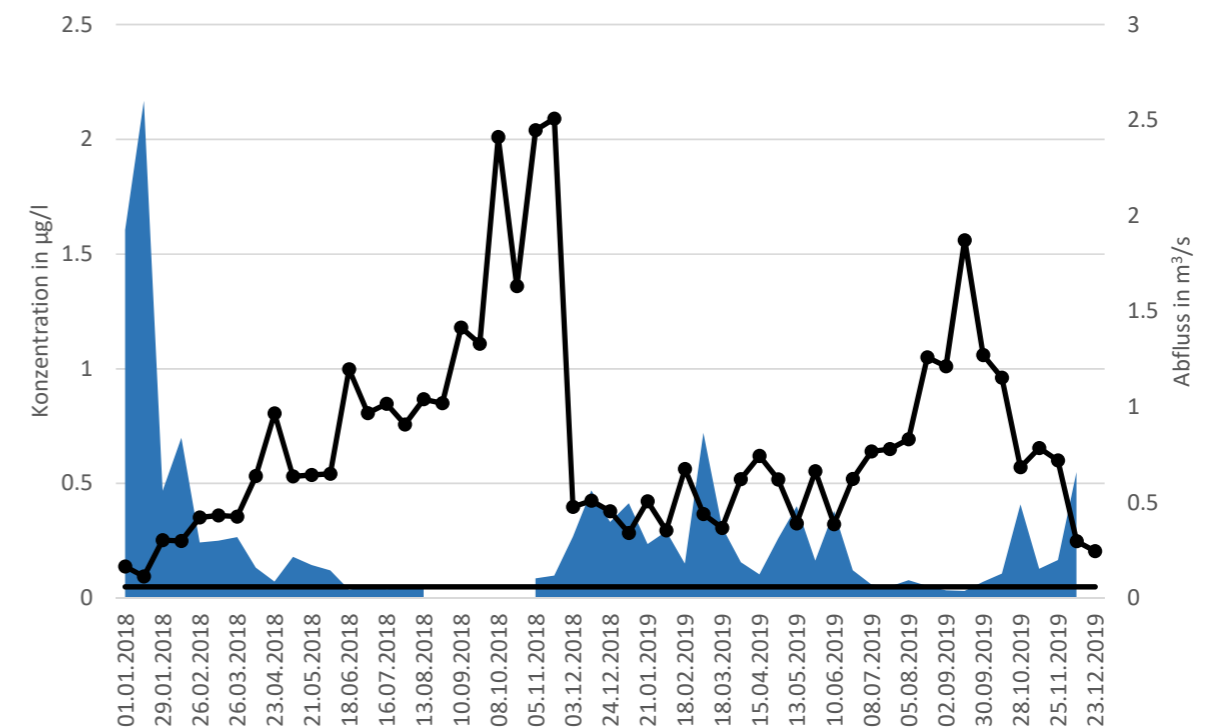
Im Jahr 2019 kamen mit Propyzamid, Flufenacet und Diflufenican drei weitere Herbizide in die Top 10. Diese drei Herbizide wurden im Jahr 2018 noch nicht gemessen. Für die Anwendung von Propyzamid im Rapsbau braucht es eine Sonderbewilligung. Gemäss Kantonalem Landwirtschaftsamt wurden die meisten Sonderbewilligungen in den Gemeinden Beggingen und Schleitheim vergeben, was mit den erhöhten Befunden im Beggingerbach und

Zwärenbach zusammenfasst (Kapitel 3.2.1 und 3.2.2). Auch Flufenacet und Diflufenican wurden im Oktober und November im Beggingerbach und Zwärenbach in den höchsten Konzentrationen gemessen. Dies deutet auf eine Anwendung im Winterraps hin.

### Arzneimittel

Diclofenac ist das aus ökotoxikologischer Sicht mit Abstand kritischste Arzneimittel in den untersuchten Bächen. Im Landgraben bei Trasadingen überschritt das Schmerzmittel in allen untersuchten Proben das CQK um einen Faktor 2-40 (Abbildung 12). Insbesondere in den trockenen Sommermonaten 2018 und im trockenen Herbst 2019, in welchen der Abwasseranteil des Landgrabens auf über 90 % stieg, wurden Diclofenac-Konzentrationen von über 1 µg/l gemessen. Dass Diclofenac vor allem bei trockener Witterung sehr kritisch für Gewässerorganismen sein kann, ist bekannt: Es konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass die Konzentration von Diclofenac in knapp der Hälfte aller Zuflüsse des Bodensees bei Trockenwetter das CQK überschreitet [24]. Diclofenac wurde auch in der Biber nachgewiesen. Die gemessenen Konzentrationen waren zwar deutlich tiefer, was mit dem tieferen Abwasseranteil der Biber einhergeht, aber auch in der Biber wurde das CQK zeitweise überschritten.

Weitere kritische Substanzen für die Gewässerorganismen waren Diazinon und Azithromycin. Diazinon war früher als PSM in der Landwirtschaft und als Biozid in der Siedlung zugelassen, beides wurde jedoch im Jahr 2011 verboten.



**Abbildung 12:** Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Diclofenac im Landgraben bei Trasadingen in den Jahren 2018 und 2019 verglichen mit dem Abfluss (blau). Zur besseren Darstellung wurden das CQL (durchgezogen) eingezeichnet. Für Diclofenac konnte kein AQL hergeleitet werden (Tabelle 1). Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Die gezeigten Abflüsse wurden auf die Sammelzeiten der Mischproben normiert. Zwischen dem 27.08.2018 und dem 04.11.2018 gibt es keine Abflussmessdaten.

Der Stoff besitzt immer noch eine Zulassung als Tierarzneimittel (z. B. Insektizid-Halsbänder für Katzen und Hunde). Ökotoxikologisch kritische Befunde von Diazinon wurden nur im Landgraben gemessen. Ob es sich dabei um den Einsatz von Tierarzneimittel oder um unerlaubte Anwendungen als PSM oder Biozid handelt, kann nicht beurteilt werden. Das Antibiotika Azithromycin hat in knapp 10 % der Proben das CQK überschritten und war somit das zweit-kritischste Humanarzneimittel und wurde ebenfalls hauptsächlich im Landgraben gemessen.

### 3.1.3 Substanzen mit Überschreitungen von akuten Qualitätskriterien

Die Ergebnisse der 14-Tagesmischproben wurden zusätzlich mit den AQK verglichen. In diesem Fall wird eine chronische Exposition mit einem akuten Qualitätsziel verglichen. Eine Überschreitung des AQK ist somit besonders kritisch zu beurteilen, da die Konzentrationsspitzen über 14 Tage geglättet werden. Insgesamt überschritten neun Substanzen in mindestens einer 14-Tagesmischprobe das AQK (Tabelle 6). Wiederum waren die Insektizide (Cypermethrin, Diazinon, Lambda-Cyhalothrin, Chlorpyrifos, Deltamethrin) für einen Grossteil der Überschreitungen verantwortlich. Zusätzlich überschritten zwei Herbizide (Metazachlor, Isoproturon) und zwei Fungizide (Carben-dazim, Spiroxamin) das AQK in einer 14-Tagesmischprobe.

Nr.	Substanz	Total Befunde mit RQ>1	AQK [ $\mu\text{g/l}$ ]	RQ Max	Substanzklasse	Betroffene Standorte
1	Cypermethrin <sup>1</sup>	7	0.00044	11	Insektizid (Pyrethroid)	Beggingerbach
2	Diazinon <sup>1</sup>	5	0.02	7.6	Tierarzneimittel/ Insektizid (verboten)	Landgraben, Zwärenbach
3	Lambda-Cyhalothrin	3	0.00019	2.5	Insektizid (Pyrethroid)	Landgraben, Beggingerbach
4	Metazachlor <sup>1</sup>	4	0.28	14	Herbizid	Beggingerbach, Zwärenbach
5	Isoproturon <sup>1</sup>	3	1.7	14	Herbizid	Beggingerbach, Landgraben
6	Carbendazim	2	0.7	1.2	Fungizid	Landgraben
7	Spiroxamin	1	0.063	5.2	Fungizid	Beggingerbach
8	Chlorpyrifos <sup>1</sup>	1	0.0044	1.4	Insektizid (Organophosphat)	Landgraben
9	Deltamethrin	1	0.000017	130	Insektizid (Pyrethroid)	Zwärenbach

<sup>1</sup> Überschreitung des Anforderungswertes gemäss GSchV (Tabelle 1)

**Tabelle 6:** Neun Substanzen mit Überschreitungen des AQK ( $RQ > 1$ ) in 14-Tagesmischproben in den Jahren 2018 und 2019 an allen gemessenen Standorten. Pyrethroide und Organophosphate wurden 2018 nur im Beggingerbach analysiert und generell nur von März bis Oktober gemessen. Die Substanzerweiterung im Rahmen der Erfolgskontrolle des Aktionsplanes Pflanzenschutzmittel wurde erst ab 2019 gemessen. AQK: akutes Qualitätskriterium, RQ: Risikoquotient

### 3.2 Ergebnisse nach Standorten

Um die Wasserqualität bezüglich Mikroverunreinigungen der einzelnen Fließgewässer beurteilen und miteinander vergleichen zu können, wurde das Mischungsrisiko aller gemessenen Substanzen, für welche ein Qualitätskriterium verfügbar war, ermittelt (Kapitel 2.5.2). Die Abbildungen 13, 16, 17 und 20 zeigen die chronische Mischungstoxizität für Vertebraten, Invertebraten und Pflanzen an den vier Fließgewässern während des untersuchten Zeitraumes zwischen 2018 und 2019. Die Ergebnisse werden in den nächsten vier Unterkapiteln detailliert diskutiert.

#### 3.2.1 Beggingerbach bei Beggingen

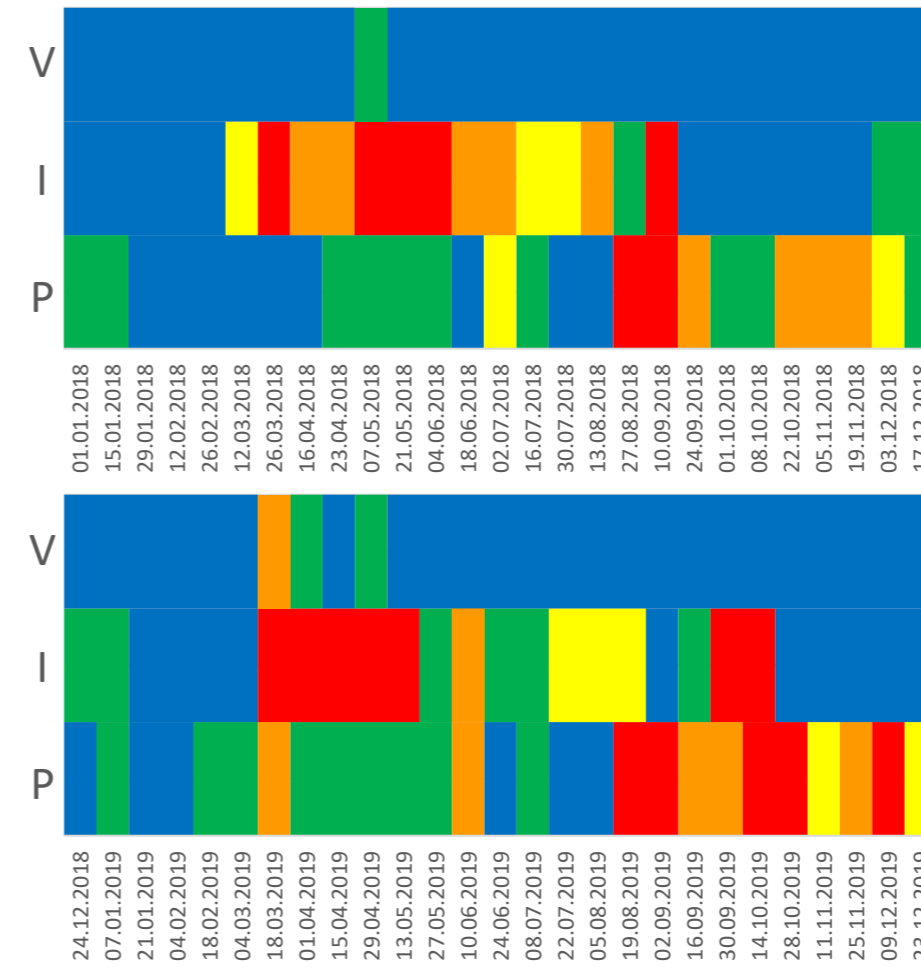
##### Chronisches Mischungsrisiko

42 der insgesamt 53 14-Tagesmischproben (79%) wiesen ein chronisches Mischungsrisiko von grösser eins auf (Abbildung 13). In 34 Proben (64%) überschritt mindestens eine Substanz das CQK. Insgesamt war das Risiko für Fische (V) am kleinsten und die Wasserqualität bezüglich Fischen erwies sich fast immer als gut bis sehr gut. Das grösste Risiko hatten in beiden Jahren die Invertebraten (I) im Zeitraum von März bis September. In diesem Zeitraum erwies sich die Wasserqualität beinahe durchgehend als unbefriedigend bis schlecht. Grund dafür waren hauptsächlich Pyrethroide und Organophosphate (Kapitel 3.1.2). Das Risiko für Pflanzen (P) war vor allem zwischen August und Dezember hoch. In diesem Zeitraum erwies sich die Wasserqualität in beiden Jahren praktisch durchgehend als mässig bis schlecht. Grund dafür waren hauptsächlich die Herbizide Metazachlor, Propyzamid und Isoproturon, welche häufig im Raps- und Getreidebau eingesetzt werden (Abbildung 14). Der Konzentrationsverlauf von Metazachlor im Jahr 2018 ist typisch für Vorlaufanwendungen von PSM. Die erste Konzentrationsspitze kann mit dem Abschwemmen direkt nach der Anwen-

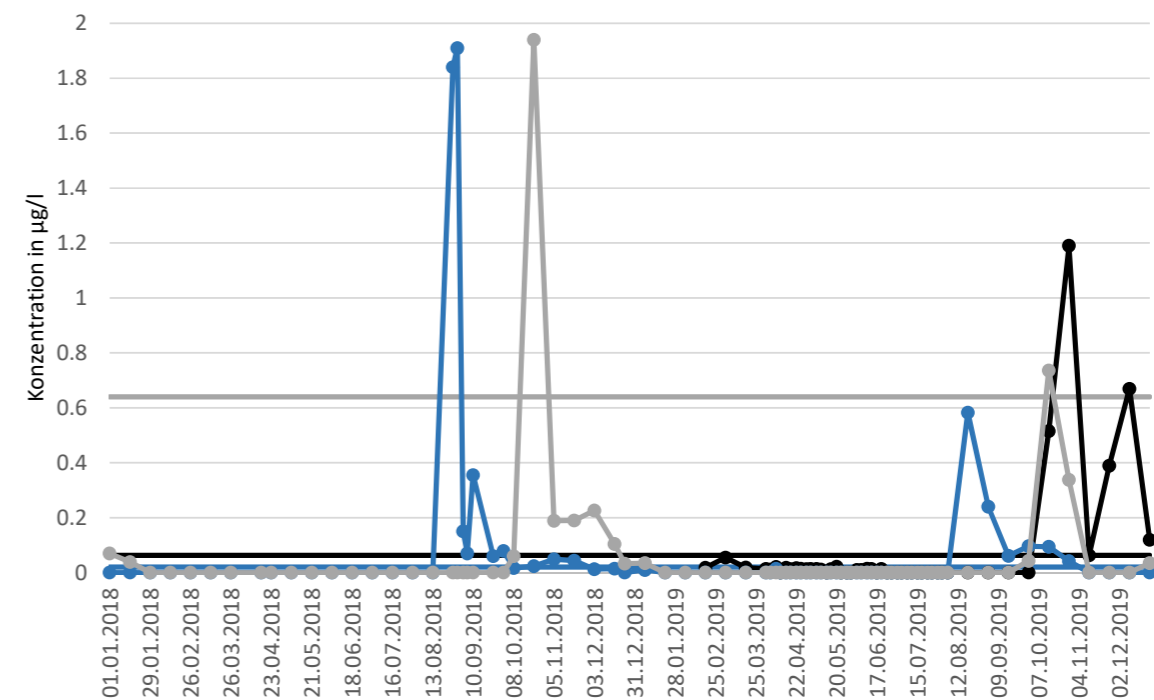
dung erklärt werden, während die zweite Konzentrations-spritze durch das Abschwemmen während des nächsten Regenereignisses verursacht wird. Der Konzentrationsverlauf von Propyzamid wies zwei Konzentrationsspitzen auf. Der erste Eintrag wurde voraussichtlich durch die Anwendung im Rahmen der ordentlichen Zulassung im Oktober verursacht, während der zweite Anstieg der Konzentration von Propyzamid im November und Dezember mit der Anwendung mittels Sonderbewilligung zusammenpasst. Dass die Konzentrationen bis in den Winter hinein so hoch waren, ist erstaunlich, aber nicht unbekannt [25]. Solche saisonalen und teilweise zeitlich kurzen, aber hohen Belastungen sind meistens als direkte Folge (Drift, Abschwemmung, Auswaschung) einer Applikation des Wirkstoffes zu erklären.

##### Akutes Mischungsrisiko

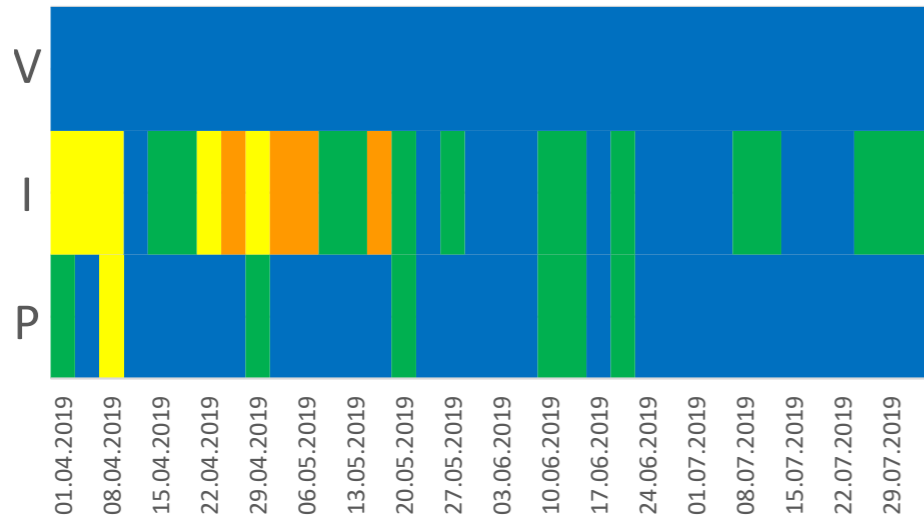
Zwischen April und Juli 2019 wurden im Beggingerbach zeitlich höher aufgelöste 3.5-Tagesmischproben untersucht. Damit sollten einerseits akute Risiken für Wasserorganismen abgedeckt werden, andererseits sollte damit überprüft werden, ob mit 14-Tagesmischproben akute Ereignisse verpasst wurden. Die Abbildung 15 zeigt, dass das Risiko für eine akute Gefährdung der Wasserorganismen geringer war als die chronische Belastung. 9 der insgesamt 36 3.5-Tagesmischproben (25%) hatten ein akutes Mischungsrisiko, welches grösser eins war. Auch hier war das Risiko für Invertebraten am grössten und die Wasserqualität erwies sich als mässig bis unbefriedigend. Überschreitungen des AQK in den 3.5-Tagesmischproben im Beggingerbach gab es durch drei Substanzen (Cypermethrin, Chlorpyrifos, Spiroxamin). Wie in Tabelle 6 ersichtlich, wurde für Cypermethrin und Spiroxamin das AQK sogar in 14-Tagesmischproben überschritten.



**Abbildung 13:** Verlauf des chronischen Mischungsrisikos in 14-Tagesmischproben im Beggingerbach in den Jahren 2018 (oben) und 2019 (unten) für Vertebraten (V, Fische), Invertebraten (I, Krebstiere, Insekten) und Pflanzen (P). Die im Jahr 2018 von der Eawag gemessenen Pyrethroide und Organophosphate wurden in der Bewertung berücksichtigt. 2018 wurde die Substanzerweiterung im Rahmen der Erfolgskontrolle des AP PSM nicht gemessen. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Die Farben zeigen angelehnt an das MSK die Höhe des RQ für die jeweilige Organismengruppe und den Zeitraum. Blau:  $RQ < 0.1$ ; grün:  $RQ 0.1 - 1$ ; gelb:  $RQ 1 - 2$ ; orange:  $RQ 2 - 10$ ; rot:  $RQ > 10$ .



**Abbildung 14:** Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Metazachlor (blau), Isoproturon (grau) und Propyzamid (schwarz) im Beggingerbach in den Jahren 2018 und 2019. Zur besseren Darstellung wurden das CQK (durchgezogen, blau für Metazachlor ( $0.02 \mu\text{g/l}$ ), grau für Isoproturon ( $0.64 \mu\text{g/l}$ ) und schwarz für Propyzamid ( $0.063 \mu\text{g/l}$ )) eingezeichnet und für Proben ohne Befunde eine Konzentration von  $0 \mu\text{g/l}$  gezeigt. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Propyzamid wurde erst im Jahr 2019 gemessen.

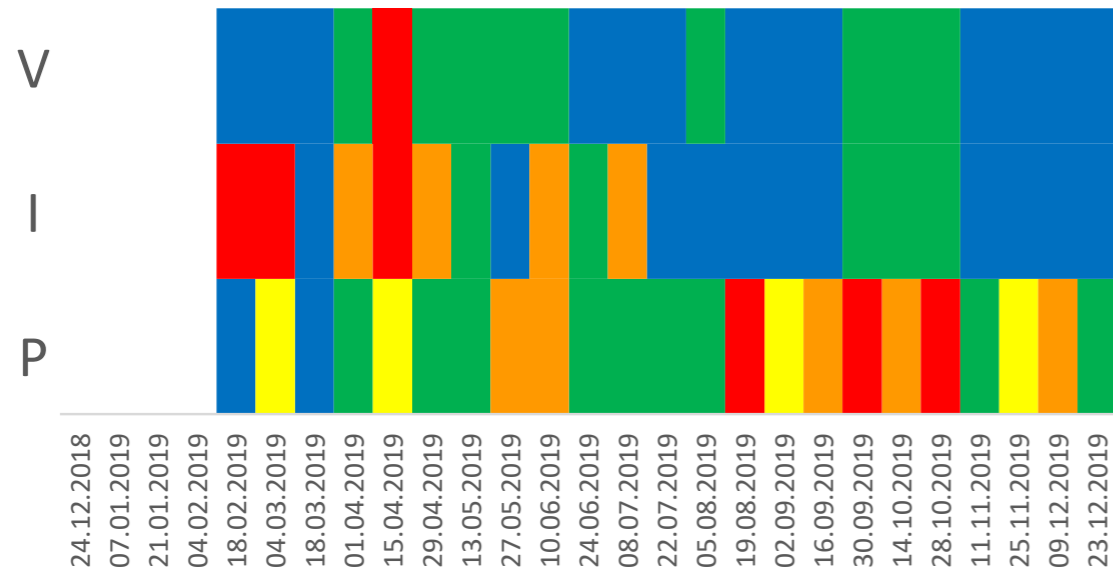


**Abbildung 15:** Verlauf des akuten Mischungsrisikos in 3.5-Tagesmischproben im Beggingerbach zwischen April und Juli 2019 für Vertebraten (V, Fische), Invertebraten (I, Krebstiere, Insekten) und Pflanzen (P). Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Die Farben zeigen angelehnt an das MSK die Höhe des RQ für die jeweilige Organismengruppe und den Zeitraum. Blau: RQ < 0.1; grün: RQ 0.1 - 1; gelb: RQ 1 - 2; orange: RQ 2 - 10; rot: RQ > 10.

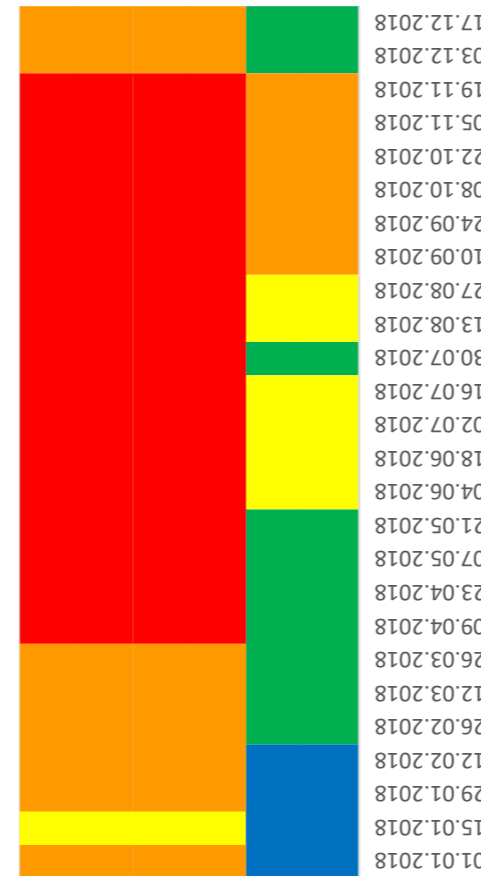
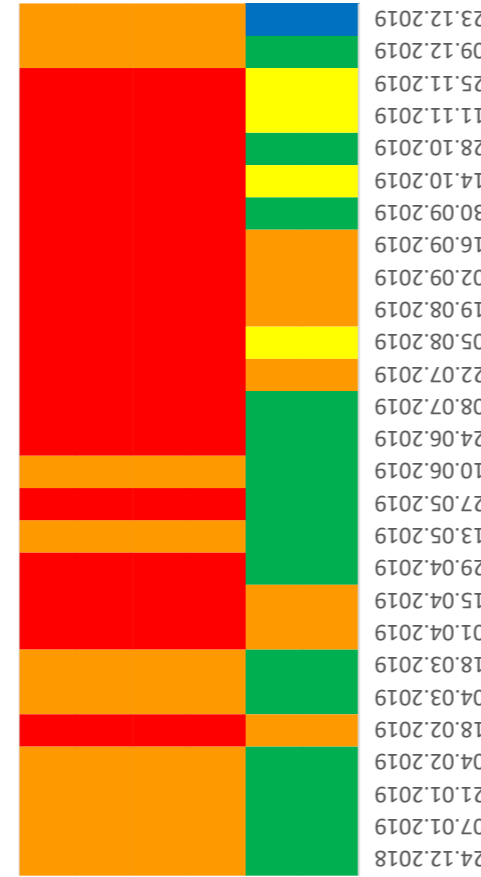
**3.2.2 Zwärenbach bei Schleitheim**

Allgemein lässt sich sagen, dass die Situation im Zwärenbach (Abbildung 16) vergleichbar mit jener im Beggingerbach war (Abbildung 13). Insgesamt wurden 23 14-Tagesmischproben untersucht, wovon 16 Proben (70%) ein Mischungsrisiko von über eins aufwiesen. In diesen 16 Proben überschritt auch mindestens eine Substanz das CQK. Auch im Zwärenbach war das Risiko für Fische (V) am geringsten. Das Risiko für Invertebraten (I) war zwischen Februar und Juli am grössten, so dass sich die Wasserqualität häufig als unbefriedigend bis schlecht erwies. Verantwortlich dafür waren unterschiedliche Substanzen,

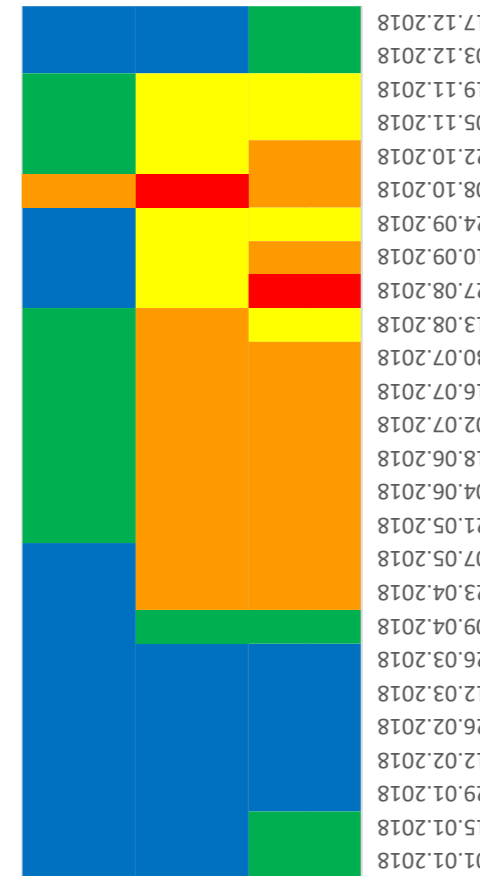
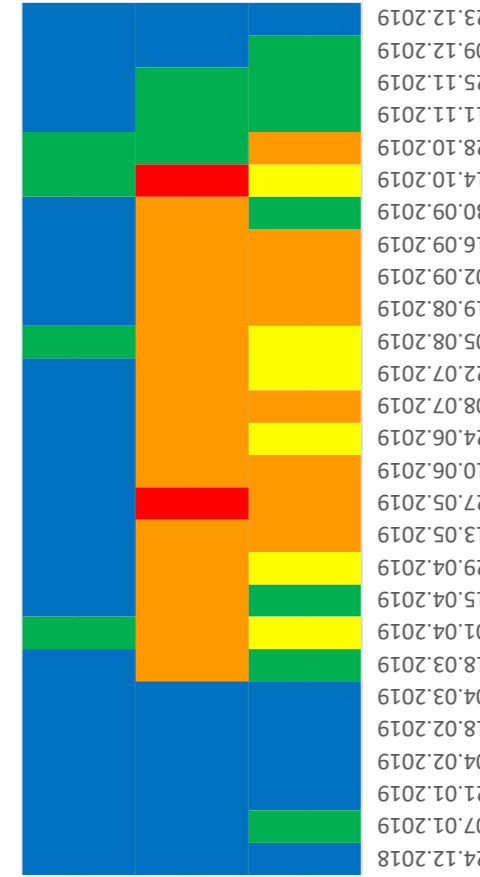
vor allem aber Insektizide. Das grösste Risiko verursachte wieder ein Pyrethroid-Insektizid: Ende April wurde Deltamethrin in einer 14-Tagesmischprobe mit einer Konzentration nachgewiesen, die das CQK 1300-fach und das AQK um einen Faktor 130 überschritt (Tabelle 6). Das Risiko für Pflanzen (P) war – analog zum Beggingerbach – zwischen August und Dezember am höchsten, so dass sich die Wasserqualität während dieses Zeitraumes beinahe durchgehend als mässig bis schlecht erwies. Verantwortlich dafür waren unterschiedliche Herbizide, namentlich Metazachlor, Propyzamid (Kapitel 3.2.1), Flufenacet, Diflufenican und Isoproturon (Kapitel 3.1.2).



**Abbildung 16:** Verlauf des chronischen Mischungsrisikos in 14-Tagesmischproben im Zwärenbach bei Schleitheim ab Februar 2018 für Vertebraten (V, Fische), Invertebraten (I, Krebstiere, Insekten) und Pflanzen (P). Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Die Farben zeigen angelehnt an das MSK die Höhe des RQ für die jeweilige Organismengruppe und den Zeitraum. Blau: RQ < 0.1; grün: RQ 0.1 - 1; gelb: RQ 1 - 2; orange: RQ 2 - 10; rot: RQ > 10.



Arzneimittel



Pestizide

**Abbildung 17:** Verlauf des chronischen Mischungsrisikos in 14-Tagesmischproben im Landgraben in den Jahren 2018 (links) und 2019 (rechts) für Vertebraten (V, Fische), Invertebraten (I, Krebstiere, Insekten) und Pflanzen (P). Die Risikobewertung wurde für Arzneimittelstoffe (oben) und Pestizide (unten) getrennt gemacht. Die Substanzerweiterung im Rahmen der Erfolgskontrolle des Aktionsplanes Pflanzenschutzmittel, sowie auch Pyrethroide und Organophosphate wurde erst ab 2019 gemessen. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Die Farben zeigen angelehnt an das MSK die Höhe des RQ für die jeweilige Organismengruppe und den Zeitraum. Blau: RQ < 0.1; grün: RQ 0.1 - 1; gelb: RQ 1 - 2; orange: RQ 2 - 10; rot: RQ > 10.

### 3.2.3 Landgraben bei Trasadingen

Da der Landgraben in Trasadingen grösser ist, ein heterogeneres Einzugsgebiet hat und einen hohen Abwasseranteil besitzt, präsentierte sich die Situation hier deutlich unterschiedlich zu den beiden oben diskutierten Bächen. Alle 53 untersuchten Proben wiesen ein chronisches Mischungsrisiko von über eins auf. Auch eine Überschreitung des CQK von mindestens einer Substanz gab es in allen Proben. Aufgrund des hohen Abwasseranteils im Landgraben ist eine getrennte Auswertung für Arzneimittel und Pestizide (PSM und Biozide) sinnvoll. Zur besseren Darstellung werden deshalb in Abbildung 17 die Risiken durch Arzneimittel und Pestizide separat gezeigt. Wirkstoffe, die als Arzneimittel und als Pestizid zugelassen sind, wurden jener Kategorie zugeordnet, die als Hauptanwendung vermutet wird.

Wie in Abbildung 17 ersichtlich ist, wurde ein grosser Teil des Risikos für die Gewässerorganismen durch Arzneimittel ausgelöst. Die Wasserqualität für Fische (V) und Invertebraten (I) war immer mässig bis schlecht. Hauptgrund dafür war das Schmerzmittel Diclofenac (Kapitel 3.1). Zusätzlich wurden auch die beiden Antibiotika Azithromycin und Clarithromycin über dem CQK gemessen.

Weiter führten auch Pestizide regelmässig zu Überschreitungen des CQK. Anders als im Beggingerbach und im Zwärenbach waren im Landgraben die kritischen Phasen für Invertebraten und Pflanzen (P) zeitgleich zwischen April und Oktober. Da im Jahr 2018 noch keine Messungen von Pyrethroiden und Organophosphaten gemacht wurden, ist davon auszugehen, dass das Risiko für Invertebraten im Jahr 2018 unterschätzt ist. Trotzdem wurde 2018 von April bis Oktober durchgehend eine mässige bis schlechte Wasserqualität für Invertebraten festgestellt, was häufig durch Neonicotinoide begründet war (Kapitel 3.1.2). Die ab 2019 geltende Einschränkung der Neonicotinoid-Anwendung war in Trasadingen sichtbar: Während Imidacloprid im Jahr 2018 15-mal das CQK überschritt, führte es im Jahr 2019 nur in drei Proben zu einer Überschreitung des CQK. Dafür führten 2019 die neu in das Messprogramm aufgenommenen Pyrethroide und Organophosphate zu einem hohen Risiko für die Invertebraten (Kapitel 3.1.2.).

Der Eintrag von Herbiziden verursachte in beiden untersuchten Jahren über einen längeren Zeitraum eine mässige bis schlechte Wasserqualität für Pflanzen. Die kritischsten Herbizide waren Diuron, Isoproturon und Nicosulfuron (Abbildung 18). Diuron ist in der Landwirtschaft für Obst und Reben sowie in der Siedlung als Biozid zugelassen. Isoproturon war als PSM nur im Getreide zugelassen und Nicosulfuron darf nur im Mais angewendet werden. Diese unterschiedlichen Anwendungsgebiete sind auch in den zeitlichen Verläufen der Konzentrationen dieser drei Substanzen ersichtlich. Diuron wurde von April bis November in erhöhten Konzentrationen, die teilweise über dem CQK

lagen, nachgewiesen. Der Eintrag von Diuron in den Bach ist unklar. Nicosulfuron wurde nur im Juni nachgewiesen, was mit einer Frühlingsapplikation im Mais erklärt werden kann. Für Isoproturon waren in beiden Jahren Konzentrationsspitzen Ende Oktober/Anfang November deutlich zu erkennen. Dieses Phänomen ist auch in grösseren Gewässern bekannt, beispielsweise im Rhein und kann mit der Herbstapplikation im Getreide begründet werden [25]. Die höchste Konzentration von Isoproturon von über 10 µg/l Ende August 2018 kann jedoch nicht durch eine Anwendung im Getreide erklärt werden. Die Ursache einer solchen Konzentrationsspitze lässt sich nur mit einem akuten Ereignis erklären. Als Beispiel kommen die unsachgemässe Reinigung der Ausrüstung und die Entsorgung des belasteten Waschwassers über die Hofplatzentwässerung in Frage.

Zusätzlich zu den Insektiziden und Herbiziden gab es vereinzelt Fungizide, welche das chronische Qualitätskriterium überschritten. Dabei handelte es sich um Cyprodinil, Azoxystrobin und Carbendazim. Cyprodinil und Azoxystrobin werden sehr vielfältig in der Landwirtschaft eingesetzt (Abbildung 19). Aufgrund des zeitlichen Konzentrationsverlaufs von Cyprodinil (Konzentrationspitze im August/September) kann davon ausgegangen werden, dass der Eintrag durch Anwendungen im Rebbau erfolgte. Bei Azoxystrobin war die Konzentrationsspitze ca. zwei Monate früher. Da Azoxystrobin weit verbreitet in der Landwirtschaft, im Gartenbau, bei Sportrasen und im Privatgarten eingesetzt werden darf, kann die Herkunft dieses Eintrags nicht eindeutig erklärt werden. Carbendazim durfte als Wirkstoff nur noch bis April 2018 angewendet werden. Im Landgraben waren jedoch im Jahr 2018 und 2019 deutliche Konzentrationsspitzen im Juli/August sichtbar. Carbendazim ist zudem das Abbauprodukt des Wirkstoffes Thiophanate-methyl, welches im Rebbau eingesetzt wird. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Befunde von Carbendazim im Landgraben eine Folge der Anwendung von Thiophanate-methyl und nicht einer illegalen Anwendung von Carbendazim sind.

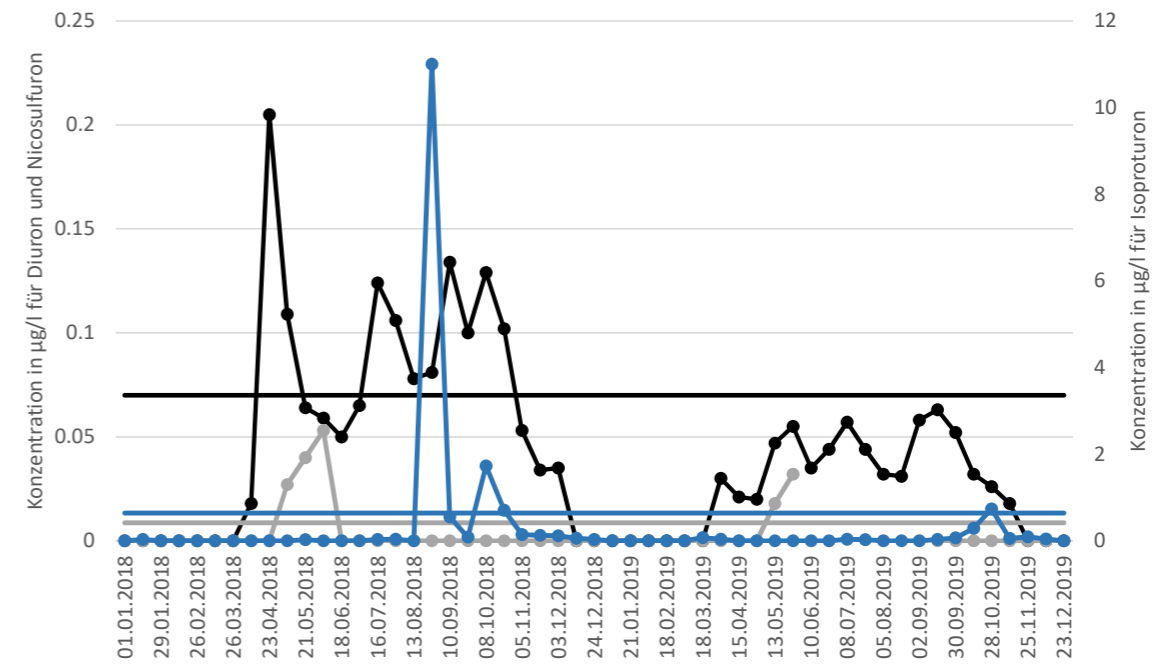


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Diuron (schwarz), Nicosulfuron (grau) und Isoproturon (blau) im Landgraben in den Jahren 2018 und 2019. Es ist zu beachten, dass die y-Achse für Isoproturon rund 50 mal höher ist als für die anderen Herbizide (rechte y-Achse). Zur besseren Darstellung wurden CQK (durchgezogen, schwarz für Diuron, grau für Nicosulfuron und blau für Isoproturon) eingezeichnet und für Proben ohne Befunde eine Konzentration von 0 µg/l gezeigt. Fehlende Punkte stehen für Proben, die nicht analysiert werden konnten. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe.

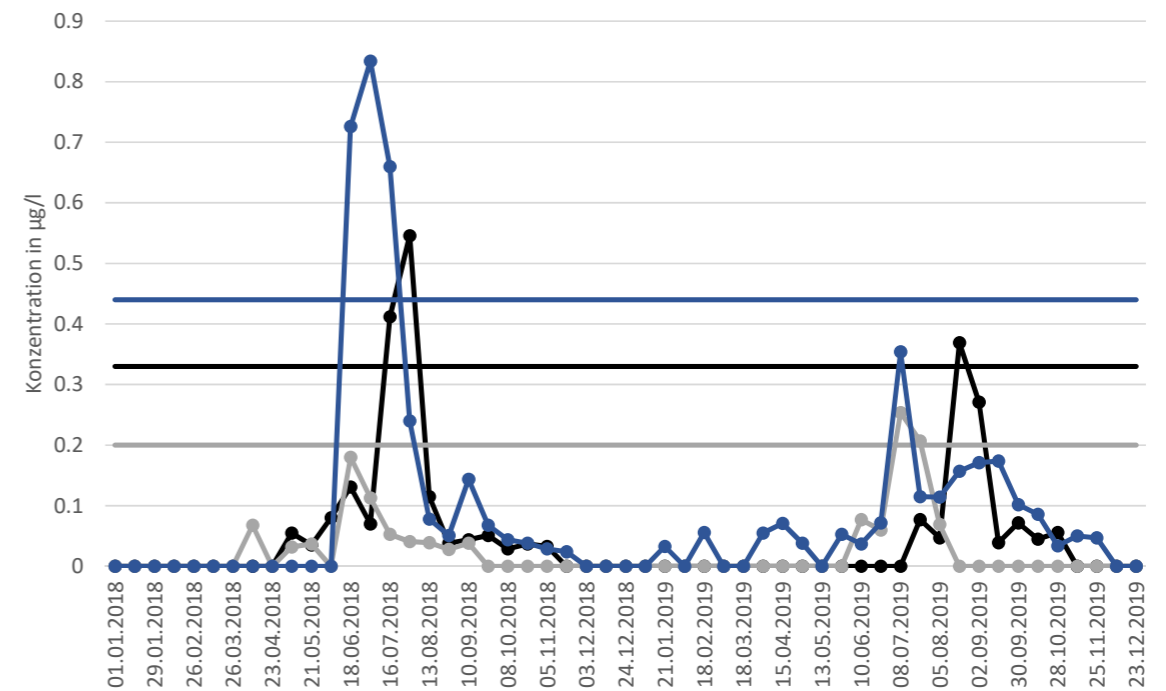


Abbildung 19: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Cyprodinil (schwarz), Azoxystrobin (grau) und Carbendazim (blau) im Landgraben in den Jahren 2018 und 2019. Zur besseren Darstellung wurden CQK (durchgezogen, schwarz für Cyprodinil, grau für Azoxystrobin und blau für Carbendazim) eingezeichnet und für Proben ohne Befunde eine Konzentration von 0 µg/l gezeigt. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe.

### 3.2.4 Biber bei Bibermühle / bei Buch

In der Biber liegen durchgehende Messdaten nur aus dem Jahr 2018 vor. Dafür wurden in der Biber zwei Messstellen untersucht (Kapitel 2.1). In diesem Zeitraum wurden weder Pyrethroide und Organophosphate, noch Substanzen der Erweiterung im Rahmen der Erfolgskontrolle des Aktionsplanes Pflanzenschutzmittel routinemässig untersucht (Tabelle 7 im Anhang). Provisorische Messungen aus dem Jahre 2018 sowie neuste Messungen aus dem Jahr 2020 haben jedoch gezeigt, dass Pyrethroide und Organophosphate in der Biber äusserst selten nachgewiesen wurden.

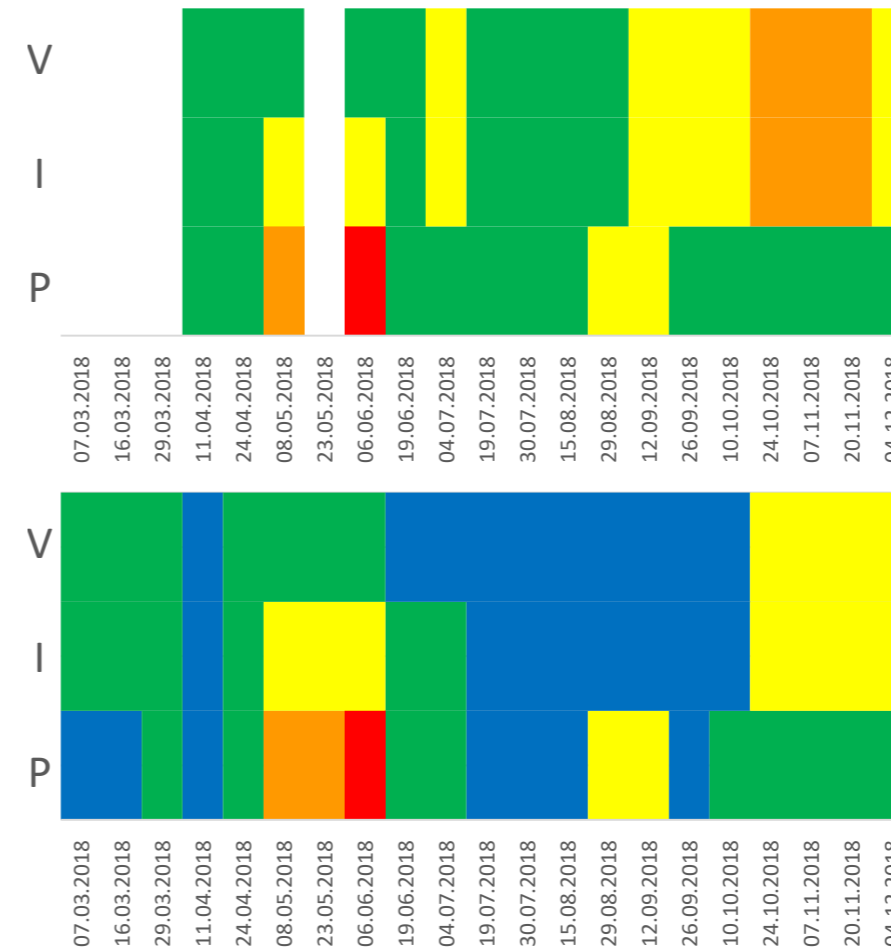
Da der Abfluss der Biber deutlich höher ist als in den anderen drei untersuchten Fließgewässern, sind die Konzentrationen generell tiefer und damit die Anzahl Überschreitungen von CQK geringer (Abbildung 20). Bei der Messstelle bei Buch wurden insgesamt 17 14-Tagesmischproben untersucht, wovon 11 (65%) Proben ein Mischungsrisiko über eins hatten. In 10 Proben (59%) lag eine Überschreitung des CQK durch mindestens eine Substanz vor. Bei der Messstelle bei Bibermühle war die Situation analog: Von den insgesamt 21 untersuchten 14-Tagesmischproben wiesen 9 Proben (43%) ein Mischungsrisiko über eins auf. In 8 Proben (38%) überschritt mindestens eine Substanz das CQK.

Da die beiden Messstellen in der Biber nur ca. 5.5 km auseinanderliegen, fällt die Beurteilung der Wasserqualität an beiden Standorten ähnlich aus (Abbildung 20). Dies zeigt auch, dass zwischen den beiden Messstellen keine zusätzlichen ökotoxikologisch kritischen Substanzmengen eingetragen wurden. Die Wasserqualität an der Messstelle bei Bibermühle erwies sich sogar häufig besser als an der Messstelle bei Buch, die weiter flussaufwärts liegt.

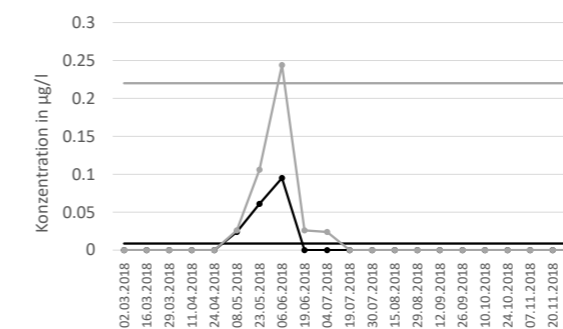
Für die mässig bis unbefriedigende Wasserqualität für Fische (V) und Invertebraten (I) von September bis Dezember war hauptsächlich Diclofenac verantwortlich. Das Schmerzmittel wird vor allem über gereinigtes Abwasser eingetragen, in diesem Fall über die ARA Oberes Bibertal, welche ca. 10km nordwestlich von Buch auf der deutschen Seite liegt. Durch die Verdünnung mit unbelastetem Wasser waren die Konzentrationen bei der Messstelle Bibermühle tiefer als jene bei Buch. Der gleiche Effekt war bei anderen Substanzen, die durch gereinigtes Abwasser eingetragen wurden, zu sehen (z. B. Acesulfam und Benzotriazol). Bei diesen Substanzen war ein deutlicher Anstieg der Konzentrationen über die Sommermonate 2018 zu beobachten, da durch die Trockenheit der Abwasseranteil in der Biber stieg. Für Pflanzen (P) war die Wasserqualität an beiden Standorten insbesondere im Juni unbefriedigend bis schlecht. Grund dafür waren die beiden Herbizide Nicosulfuron und Terbutylazin, welche hauptsächlich im Maisanbau verwendet werden. Im zeitlichen Verlauf der Konzentrationen (Abbildung 21) ist für beide Substanzen im Mai 2018 ein deutlicher Anstieg ersichtlich.

Die gemessenen Konzentrationen an beiden untersuchten Messstellen sind ungefähr gleich. Das heisst, es fand keine Verdünnung zwischen Buch und Bibermühle statt. Folglich gab es Einträge oberhalb von Buch, aber auch zwischen Buch und Bibermühle, die in gleichen Konzentrationsgrössen lagen.

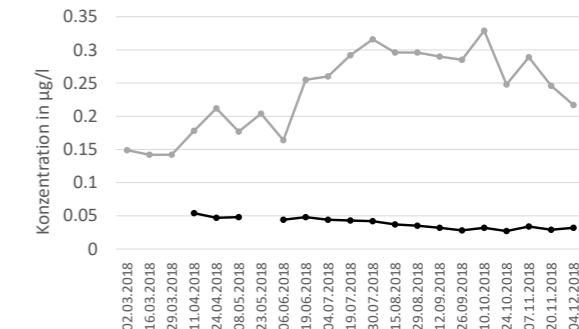
Ein sehr interessantes Phänomen zeigten Metaboliten von PSM in der Biber. Am Beispiel von Chloridazon-desphenyl zeigt sich, dass die Konzentration bei der Messstelle bei Bibermühle deutlich höher war als bei der Messstelle bei Buch (Abbildung 22). Während die Konzentration bei der Messstelle bei Bibermühle in den trockenen Sommermonaten anstieg, sank die Konzentration bei der Messstelle bei Buch in der gleichen Zeit. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass zwischen Buch und Bibermühle Grundwasser, welches stark mit PSM-Metaboliten belastet war, in die Biber exfiltrierte. Im Rahmen der Ausscheidung des Zuströmbereiches des Grundwasserpumpwerkes Wilen oberhalb Bibermühle hat das IKL zahlreiche Grundwassermessungen durchgeführt. Diese zeigten, dass im Grundwasser im Bibertal Chloridazon-desphenyl in Konzentration von 0.5-2 µg/l gefunden werden. Das Herbizid Chloridazon wurde in den letzten Jahrzehnten grossflächig bei Zuckerrüben angewendet. Dem Wirkstoff wurde auf Ende 2019 die Zulassung entzogen, das heisst nach einer Ausverkaufs- und Aufbrauchfrist von je einem Jahr, darf Chloridazon ab dem 01.01.2022 nicht mehr eingesetzt werden. Aufgrund seiner Eigenschaften reichert sich Chloridazon-desphenyl im Boden an [23]. Deshalb und aufgrund der langen Aufenthaltszeiten im Grundwasser wird Chloridazon-desphenyl noch über Jahre bis Jahrzehnte im Grundwasser und somit auch im Oberflächenwasser gemessen werden können. Das gleiche Verhalten wie Chloridazon-desphenyl zeigen weitere PSM-Metaboliten wie Metolachlor-ESA und der Chlorothalonil Metabolit R417888.



**Abbildung 20:** Verlauf des chronischen Mischungsrisikos in 14-Tagesmischproben in der Biber bei Buch (oben) und Bibermühle (unten) im Jahr 2018 für Vertebraten (V, Fische), Invertebraten (I, Krebstiere, Insekten) und Pflanzen (P). Weisse Flächen bedeuten, dass keine Proben genommen werden konnten. Die Substanzerweiterung im Rahmen der Erfolgskontrolle des Aktionsplanes Pflanzenschutzmittel, sowie auch Pyrethroide und Organophosphate wurden nicht gemessen. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe. Die Farben zeigen angelehnt an das MSK die Höhe des RQ für die jeweilige Organismengruppe und den Zeitraum. Blau: RQ < 0.1; grün: RQ 0.1 - 1; gelb: RQ 1 - 2; orange: RQ 2 - 10; rot: RQ > 10.



**Abbildung 21:** Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Nicosulfuron (schwarz) und Terbutylazin (grau) an der Messstelle in der Biber bei Bibermühle. Zur besseren Darstellung wurden das CQK (durchgezogen, schwarz für Nicosulfuron, grau für Terbutylazin) eingezeichnet und für Proben ohne Befunde eine Konzentration von 0 µg/l gezeigt. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe.



**Abbildung 22:** Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Chloridazon-desphenyl an den beiden Messstellen in der Biber bei Buch (schwarz) und bei Bibermühle (grau) im Jahr 2018. Fehlende Punkte stehen für Proben, die nicht gesammelt werden konnten. Die x-Achse zeigt das Startdatum der jeweiligen Mischprobe.

## 4 Fazit und Ausblick

Die kontinuierlichen Untersuchungen an vier Schaffhauser Fliessgewässern in den Jahren 2018 und 2019 zeigten deutlich, dass die Wasserqualität bezüglich Mikroverunreinigungen ungenügend ist. Mehrere Substanzen überschritten die chronischen Qualitätskriterien um über einen Faktor 100, drei der vier Gewässer hatten über mehrere Monate durchgehend eine mässige bis schlechte Wasserqualität. Zum Teil waren die in 14-Tagesmischproben gemessenen Konzentrationen um mehr als einen Faktor 10 höher als die akuten Qualitätskriterien. Die Ergebnisse decken sich mit Ergebnissen aus anderen Kantonen im Schweizer Mittelland.

In der Belastung der Fliessgewässer manifestiert sich die Landnutzung im Einzugsgebiet. Fliessgewässer mit hohem Abwasseranteil wiesen eine hohe Belastung durch Arzneimittel und Industriechemikalien auf. Ökotoxikologisch am kritischsten war dabei mit Abstand das Schmerzmittel Diclofenac. In Fliessgewässern mit intensiver Landwirtschaft im Einzugsgebiet konnte eine starke Belastung durch Pflanzenschutzmittel nachgewiesen werden. Insbesondere Insektizide (Pyrethroide und Organophosphate) und diverse Herbizide trugen zur schlechten Beurteilung der Wasserqualität bei. Dabei zeigte sich, dass durch die gemessenen Arzneimittel und Pflanzenschutzmittel ein Risiko für Fische, Invertebraten und Pflanzen über eine längere Zeitspanne besteht. Die Beurteilung des Risikos mittels chronischen Qualitätskriterien veranschaulicht auch eindeutig, dass die ökotoxikologisch kritischen Substanzen nicht diejenigen mit den höchsten Konzentrationen sind.

Die Auswertung der Messresultate hat auch erkennen lassen, dass es wichtig ist, den Messumfang laufend anzupassen. Durch die zusätzliche Messung von Pyrethroiden und Organophosphaten, sowie weiteren Pflanzenschutzmitteln konnte im Jahr 2019 das Risiko für Gewässerorganismen deutlich besser bestimmt werden als im Jahr 2018. Da sich Zulassungen und Anwendungsmengen für Pestizide und Arzneimittel laufend ändern, muss der Analyseumfang auch zukünftig laufend angepasst werden.

Für einige Substanzen, die in der vorliegenden Untersuchung regelmässig nachgewiesen wurden, gibt es noch kein verlässliches Qualitätskriterium, weil ökotoxikologische Daten fehlen oder noch kein Kriterium hergeleitet wurde (Tabelle 7 im Anhang). Als Beispiele gelten hier das Pyrethroid-Insektizid Bifenthrin und das Fungizid Fludioxinil, welche in den Schaffhauser Bächen regelmässig über den provisorisch hergeleiteten Qualitätskriterien gemessen wurden, aufgrund der Unsicherheiten aber nicht in die Beurteilung miteinbezogen wurden. Weiter gibt es Substanzen, für welche trotz neusten Analysengeräten und -methoden die Nachweisgrenzen höher liegen als das Qualitätskriterium. Beispiel hier ist das Pyrethroid-Insektizid Deltamethrin, welches ein extrem tiefes CQK von 0.0000017 µg/l hat. Es ist folglich möglich, dass das Risiko für Gewässerorganismen in der vorliegenden Untersuchung sogar unterschätzt wurde.

Mit den Fliessgewässern im Klettgau, Randental und Bibertal wurden vier stark von der Landwirtschaft beeinflussten Fliessgewässer untersucht. Durch die Untersuchung des Landgrabens wurde auch die Belastung erfasst, die durch einen hohen Abwasseranteil im Gewässer entsteht. Es ist zu erwarten, dass in den übrigen Fliessgewässern im Kanton Schaffhausen mit vergleichbaren Einzugsgebieten ähnliche Belastungen auftreten. Die Messungen an den vier untersuchten Fliessgewässern werden in ähnlicher Form weitergeführt werden. Ziele dabei sind den Zeitverlauf der Belastung besser einordnen zu können und den Erfolg von getroffenen Massnahmen beurteilen zu können. Massnahmen können dabei national (z. B. Ausrüstung ARA mit vierter Reinigungsstufe, Verbot kritischer Wirkstoffe, Aktionsplan Pflanzenschutzmittel), kantonal (z. B. Gewässerschutzkontrollen auf Landwirtschaftsbetrieben) oder lokal (z. B. Reduktion von Einträgen über diffuse bzw. Punktquellen) getroffen werden. Kantonale Massnahmen werden in der geplanten Fortführung des Wasserwirtschaftsplans des Kantons integriert und laufend umgesetzt.

## Dank

Für die Teilfinanzierung der Probenahmen und Messungen im Programm NAWA / Erfolgskontrolle AP PSM durch das BAFU möchten wir uns herzlich bedanken. Zudem danken wir der Eawag für die Messungen der Pyrethroide und Organophosphate im Beggingerbach im Jahr 2018. Weiter möchten wir dem Tiefbauamt Schaffhausen für die Bereitstellung von Abflussdaten danken. Wir bedanken uns beim Landwirtschaftsamt Schaffhausen und den kontaktierten Landwirtschafts-Experten für die Unterstützung bei der Interpretation der Messdaten. Für die kritische Begutachtung des Manuskripts durch die VSA Plattform und Mitarbeitenden des IKL möchten wir uns herzlich bedanken.

## 5 Literatur, Verzeichnisse und Anhang

### 5.1 Literatur

- [1] Interkantonales Labor (2020). Zustand Oberflächengewässer im Kanton Schaffhausen. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe und Monitoringkonzept. Verfügbar unter: [www.interkantlab.ch](http://www.interkantlab.ch)
- [2] Wittmer, I.; Moschet, C.; Simovic, J.; Singer, H.; Stamm, C.; Hollender, J.; Junghans, M.; Leu, C. (2014). Über 100 Pestizide in Fließgewässern. Programm NAWA Spez zeigt die hohe Pestizidbelastung der Schweizer Fließgewässer auf. *Aqua & Gas* (3), 32-43
- [3] Doppler T., Mangold, S., Wittmer, I., Spycher, S., Stamm, C., Singer, H., Junghans, M., Kunz, M. (2017). Hohe Pflanzenschutzmittelbelastung in Schweizer Bächen, *Aqua & Gas* (4), 46-56
- [4] Junghans, M.; Langer, M.; Baumgartner, C.; Vermeirssen, E.; Werner, I. (2019) Ökotoxikologische Untersuchungen: Risiko von PSM bestätigt. NAWA-SPEZ-Studie 2017 zeigt Beeinträchtigung von Gewässerorganismen. *Aqua & Gas* (4), 26-34
- [5] AWEL Kanton Zürich (2019). Wasser und Gewässer 2018.
- [6] Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern (2019). Zustand der Gewässer – 2017 und 2018. Schwerpunkt Aaretal.
- [7] Spycher S., Teichler R., Vonwyl E., Longrée P., Stamm C., Singer H., Daouk S., Doppler T., Junghans M., Kunz M. (2019). Anhaltend hohe PSM Belastung in Bächen. NAWA Spez 2017: Kleine Gewässer in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft verbreitet betroffen. *Aqua & Gas* (4), 14-25
- [8] Götz, C.W., R. Kase und J. Hollender (2011). Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf
- [9] Wittmer, I., M. Junghans, H. Singer und C. Stamm (2014). Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf
- [10] Gälli R., Ort C., Schärer M. (2009). Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung. *Umwelt-Wissen* Nr. 0917. Bundesamt für Umwelt, Bern. 103 S.
- [11] Doppler T., Dietzel, A., Wittmer, I., Grelot, J., Rinta, P., Kunz, M. (2020). Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring, *Aqua & Gas* 2020 (7/8), 44-53
- [12] BLW (2017). Aktionsplan Pflanzenschutzmittel. Verfügbar unter: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html>
- [13] Ökotoxzentrum (2019). Nur wenig Östrogene in Europas Flüssen. News vom 22. November 2019. Verfügbar unter: <https://www.oekotoxzentrum.ch/news-publikationen/news/> Besucht am: 02.09.2020
- [14] Moschet, C., Deola, L., Ruff, M., Söser, R., Mühlemann, S., Altherr, T., Götz, C., Wyss, A., Singer, H., Rösch, A., Beck, B. (2019). Task-Force «Pyrethroide». *Aqua & Gas* (11), 68-73
- [15] Rösch, A., Beck, B., Hollender, J., Stamm, C., Singer, H., Doppler, T., & Junghans, M. (2019). Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung. Nachweis von Pyrethroid- und Organophosphatinspektiziden in Schweizer Bächen im pg l<sup>-1</sup>-Bereich. *Aqua & Gas* (11), 54-66
- [16] Junghans, M., Kase, R., Chèvre, N. (2012). Qualitätskriterien für Pflanzenschutzmittel: Methode zur Herleitung von Qualitätskriterien für PSM in Schweizer Oberflächengewässern. *Aqua & Gas* (11), 16-22
- [17] Homepage Ökotoxzentrum, Qualitätskriterien. Verfügbar unter: <https://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/>. Besucht am: 02.09.2020
- [18] Junghans, M.; Kunz, P.; Werner, I. (2013). Toxizität von Mischungen – Aktuelle praxisorientierte Ansätze für die Beurteilung von Gewässerproben. *Aqua & Gas* (5), 54-61
- [19] Modulstufenkonzept. Verfügbar unter: [www.modul-stufen-konzept.ch](http://www.modul-stufen-konzept.ch). Besucht am: 02.09.2020
- [20] Buerge I., Buser H., Kahle M., Müller M., Poiger T. (2009). *Environmental Science & Technology* 43 (12), 4381-4385
- [21] BAFU (Hrsg.) (2019). Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. *Umwelt-Zustand* Nr. 1901: 138 S.
- [22] Moschet, C., Waldvogel, J., Seiler, K., Ramseier, C., Kull, D., Staub Spörri, A., De Rossa, M., Känzig, A., Weber, S., Lacour, W. (2019). Trinkwasserqualität bezüglich Rückständen von PSM. *Aqua & Gas* (11), 28-36
- [23] Hintze S., Hunkeler D. (2019). Langzeitverhalten von PSM-Metaboliten im Grundwasser, *Aqua und Gas* (11), 24-29
- [24] Longrée, P., Singer, H., Moschet, C., Goetz, C., Schärer, M., & Keusen, M. (2011). Organische Mikroverunreinigungen im Bodensee. Analyse und Bewertung der Situation in See und Einzugsgebiet. *GWA Gas, Wasser, Abwasser*, 91(7), 495-505
- [25] Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) (2013). Saisonale auftretende Belastungen des Rheins mit Herbiziden - Isoproturonwelle 2011. Bericht Nr. 211

### 5.2 Abkürzungsverzeichnis

µg/l	Mikrogramm pro Liter
AP PSM	Aktionsplan Pflanzenschutzmittel
AQK	Akutes Qualitätskriterium
ARA	Abwasserreinigungsanlage / Kläranlage
BAFU	Bundesamt für Umwelt
CQK	Chronisches Qualitätskriterium
Eawag	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EU	Europäische Union
GC-MS/MS	Gaschromatographie gekoppelt an ein Tandem-Massenspektrometer
GSchG	Gewässerschutzgesetz
GSchV	Gewässerschutzverordnung
I	Invertebraten / Wirbellose (wie Krebstiere und Insekten)
IKL	Interkantonales Labor
ISO	Internationale Organisation für Normung
k.A.	Keine Angabe
km <sup>2</sup>	Quadratkilometer
LC-MS/MS	Flüssigchromatographie gekoppelt an ein Tandem-Massenspektrometer
m <sup>3</sup> /s	Kubikmeter pro Sekunde
MSK	Modulstufenkonzept
NAWA	Nationalen Beobachtung Oberflächenwasserqualität
ng/l	Nanogramm pro Liter
P	Pflanzen
PSM	Pflanzenschutzmittel
RQ	Risikoquotient
V	Vertebraten / Wirbeltiere (wie Fische)
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

### 5.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Übersicht wichtiger Quellen und Eintragspfade (rot) von Mikroverunreinigungen in die Gewässer	6
<b>Abbildung 2:</b> Messstellen für die Untersuchungen von Mikroverunreinigungen	8
<b>Abbildung 3:</b> Zeitlicher Verlauf des Abflusses (in m <sup>3</sup> /s) der untersuchten Fließgewässer	8
<b>Abbildung 4:</b> Anteilsmässige Landnutzung im Einzugsgebiet der untersuchten Messstellen	10
<b>Abbildung 5: A)</b> Fest installierter, automatischer Probenehmer <b>B)</b> Passiver Wassersammler	11
<b>Abbildung 6:</b> Wirkungsbasierte Beurteilung der Wasserqualität für Mikroverunreinigungen	12
<b>Abbildung 7:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Acesulfam und Benzotriazol im Landgraben	15
<b>Abbildung 8:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Metolachlor-ESA und Chloridazon-desphenyl im Landgraben	15
<b>Abbildung 9:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Metamitron im Landgraben	16
<b>Abbildung 10:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Chlorpyrifos im Landgraben und Beggingerbach	18
<b>Abbildung 11:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Cypermethrin im Beggingerbach	18
<b>Abbildung 12:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Diclofenac im Landgraben	19
<b>Abbildung 13:</b> Verlauf des chronischen Mischungsrisiko in 14-Tagesmischproben im Beggingerbach	19
<b>Abbildung 14:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Metazachlor, Isoproturon und Propyzamid im Beggingerbach	21
<b>Abbildung 15:</b> Verlauf des akuten Mischungsrisikos in 3.5-Tagesmischproben im Beggingerbach	21
<b>Abbildung 16:</b> Verlauf des chronischen Mischungsrisiko in 14-Tagesmischproben im Zwärenbach	22
<b>Abbildung 17:</b> Verlauf des chronischen Mischungsrisiko in 14-Tagesmischproben im Landgraben	23
<b>Abbildung 18:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Diuron, Nicosulfuron und Isoproturon im Landgraben	25
<b>Abbildung 19:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Cyprodinil, Azoxystrobin und Carbendazim im Landgraben	25
<b>Abbildung 20:</b> Verlauf des chronischen Mischungsrisiko in 14-Tagesmischproben in der Biber	27
<b>Abbildung 21:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Nicosulfuron und Terbutylazin in der Biber	27
<b>Abbildung 22:</b> Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Chloridazon-desphenyl in der Biber	27
<b>Tabelle 1:</b> Auflistung der Substanzen mit substanzspezifischer, numerischer Anforderung in der GSchV	5
<b>Tabelle 2:</b> Top 10 der Substanzen mit Konzentrationen über 0.1 µg/l im Jahr 2018	13
<b>Tabelle 3:</b> Top 10 der Substanzen mit Konzentrationen über 0.1 µg/l im Jahr 2019	14
<b>Tabelle 4:</b> Top 10 der Substanzen nach Anzahl der Überschreitungen des CQK im Jahr 2018	16
<b>Tabelle 5:</b> Top 10 der Substanzen nach Anzahl der Überschreitungen des CQK im Jahr 2019	17
<b>Tabelle 6:</b> Neun Substanzen mit Überschreitungen des AQK (RQ > 1) in 14-Tagesmischproben	20
<b>Tabelle 7:</b> Übersicht aller untersuchten Substanzen und ihren Qualitätskriterien	36



## 5.4 Substanztabelle

**Table 7:** Übersicht aller untersuchten Substanzen und ihren Qualitätskriterien [17]. Neben der Kategorie der Substanz ist auch angegeben, ob es sich um einen Pflichtstoff oder einen optionalen Stoff der nationalen Monitoringprogramme des BAFU handelt und ab wann der Stoff mit welcher Bestimmungsgrenze untersucht wurde. PSM: Pflanzenschutzmittel, B: Biozid; AP-Pflicht: Pflichtsubstanz Erfolgskontrolle AP PSM, AP-Optional: Optionale Substanz Erfolgskontrolle AP PSM. CQK: chronisches Qualitätskriterium, AQK: akutes Qualitätskriterium. Die Qualitätskriterien gelten jeweils für bestimmte Trophiestufen: Pflanzen (P), Invertebraten (I), Vertebraten (V).


Substanz	Kategorie	NAWA-Pro-gramm	Untersucht ab	Bestimmungs-grenze IKL [ $\mu\text{g/l}$ ]	CQK [ $\mu\text{g/l}$ ]	Label CQK	AQK [ $\mu\text{g/l}$ ]	Label AQK
<b>Mittels LC-MS/MS untersucht</b>								
1H-Benzotriazol	Industriechemikalie (Korrosions-schutzmittel)	Pflicht	2018	0.04	19	PIV	160	PIV
2,4-D	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.02	0.6	P	4	P
4-/5-Methylbenzotriazol	Industriechemikalie (Korrosions-schutzmittel)	Pflicht	2018	0.015	20	PIV	430	PIV
Acesulfam	Industriechemikalie (Süßstoff)	Optional	2018	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Acetamiprid	PSM + B (Insektizid)		2019	0.022	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Atenolol	Arzneimittel (Betablocker)	Pflicht	2018	0.012	150	IV	330	IV
Atrazin	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.035	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Azithromycin	Arzneimittel (Antibiotikum)	Pflicht	2018	0.034	0.019	PI	0.18	P
Azoxystrobin	PSM + B (Fungizid)	Pflicht	2018	0.025	0.2	PI	0.55	PIV
Azoxystrobinsäure	PSM-Metabolit		2018	0.02	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Bentazon	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.02	270	PV	470	P
Bezafibrat	Arzneimittel (Lipidsenker)	Pflicht	2018	0.016	2.3	I	4000	PIV
Boscalid	PSM (Fungizid)	Pflicht	2018	0.033	12	PV	12	PIV
Bupirimat	PSM (Fungizid)		2019	0.025	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Carbamazepin	Arzneimittel (Antiepileptika)	Pflicht	2018	0.033	2	I	2000	PIV
Carbendazim	PSM + B (Fungizid) und PSM-Me-tabolit	Pflicht	2018	0.017	0.44	IV	0.7	IV
Chlorantraniliprol	PSM (Insektizid)		2019	0.022	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Chloridazon	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.007	10	P	190	P
Chloridazon-desphenyl	PSM-Metabolit	Pflicht	2018	0.015	250	PIV	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Chlorothalonilsulfon-säure (R417888)	PSM-Metabolit		2018	0.02	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt

Chlortoluron	PSM + B (Herbizid)	Pflicht	2018	0.011	0.6	P	2.4	P
Clarithromycin	Arzneimittel (Antibiotikum)	Pflicht	2018	0.03	0.12	PI	0.19	P
Clothianidin	PSM +B (Insektizid)	AP-Pflicht	2019	0.029	0.2	I	2.9	I
Cyproconazol	PSM+B (Fungizid)	Pflicht	2018	0.018	1.3	PI	1.3	P
Cyprodinil	PSM (Fungizid)	Pflicht	2018	0.026	0.33	I	3.3	I
DEET (Diethyltoluamid)	PSM+B (Insektizid)	Pflicht	2018	0.016	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Diazinon	PSM + B (Insektizid) (verboten) / Tierarzneimittel	Optional	2018	0.013	0.012	I	0.02	I
Dichlorprop	PSM (Herbizid)		2018	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Diclofenac	Arzneimittel (Nichtopioid-An-algetika)	Pflicht	2018	0.02	0.05	IV	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Diflufenican	PSM (Herbizid)	AP-Pflicht	2019	0.016	0.01	P	0.058	P
Dimethachlor	PSM (Herbizid)	AP-Pflicht	2019	0.017	0.12	P	4.3	P
Dimethenamid	PSM (Herbizid)	AP-Pflicht	2019	0.017	0.26	P	2.5	P
Dimethenamid-ESA	PSM-Metabolit		2018	0.02	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Dimethoat	PSM (Insektizid)	Pflicht	2018	0.012	0.07	IV	0.98	I
Dinoseb	PSM (Insektizid)		2018	0.02	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Diuron	PSM +B (Herbizid)	Pflicht	2018	0.015	0.07	P	0.25	P
Epoxiconazol	PSM (Fungizid)	Pflicht	2018	0.016	0.2	PV	0.24	P
Erythromycin	Arzneimittel (Anitbiotikum)	Optional	2018	0.02	0.3	P	1.1	P
Erythromycin-H2O	PSM-Metabolit	Optional	2018	0.015	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Ethofumesat	PSM (Herbizid)	Optional	2018	0.033	3.1	PI	260	PIV
Fenhexamid	PSM (Fungizid)		2019	0.02	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Fenoxycarb	PSM +B (Insektizid)	AP-Optional	2019	0.026	0.00023	I	0.0087	PIV
Fenpyrazamin	PSM (Fungizid)		2019	0.021	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Fludioxonil	PSM+B (Fungizid)		2019	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Flufenacet	PSM (Herbizid)	AP-Pflicht	2019	0.019	0.048	P	0.75	P

Substanz	Kategorie	NAWA-Programm	Untersucht ab	Bestimmungsgrenze IKL [ $\mu\text{g/l}$ ]	CQK [ $\mu\text{g/l}$ ]	Label CQK	AQK [ $\mu\text{g/l}$ ]	Label AQK
Foramsulfuron	PSM (Herbizid)	AP-Pflicht	2019	0.019	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Haloxyfop	PSM (Herbizid)		2019	0.024	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Imidacloprid	PSM +B (Insektizid)	Pflicht	2018	0.014	0.013	I	0.1	I
Iprovalicarb	PSM (Fungizid)	Pflicht	2018	0.024	190	PIV	190	PIV
Isoproturon	PSM +B (Herbizid)	Pflicht	2018	0.025	0.64	P	1.7	P
Linuron	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.007	0.26	PV	1.4	P
MCPA	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.02	0.66	P	6.4	P
Mecoprop	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.02	3.6	P	190	PIV
Mefenamensäure	Arzneimittel (Antirheumatikum)	Pflicht	2018	0.015	1	IV	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Mesosulfuron-methyl	PSM (Herbizid)		2019	0.03	0.027	P	0.13	P
Mesotrion	PSM (Herbizid)	AP-Optional	2018	0.02	0.14	P	0.77	P
Metalaxyl	PSM (Fungizid)	Pflicht	2018	0.015	20	PIV	97	PI
Metamitron	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.019	4	P	39	P
Metazachlor	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.009	0.02	P	0.28	P
Metazachlor-ESA	PSM-Metabolit		2018	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Metformin	Arzneimittel (Antidiabetikum)	Optional	2018	0.034	160	PIV	640	PIV
Methiocarb	PSM (Insektizid)	AP-Optional	2019	0.031	0.01	I	0.77	I
Methomyl	PSM +B (Insektizid)	AP-Pflicht	2018	0.027	0.032	I	0.21	I
Methoxyfenozid	PSM (Insektizid)	Pflicht	2018	0.011	0.086	I	0.28	I
Metolachlor	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.017	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Metolachlor-ESA	PSM-Metabolit		2018	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Metolachlor-OXA	PSM-Metabolit		2018	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Metoprolol	Arzneimittel (Betablocker)	Pflicht	2018	0.009	8.6	PI	75	PI
Metribuzin	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.015	0.058	P	0.87	P
Napropamid	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.016	5.1	P	6.8	PIV
Naproxen	Arzneimittel (Antiphlogistikum)	Pflicht	2018	0.029	1.7	IV	860	PIV
Nicosulfuron	PSM (Herbizid)	Pflicht	2018	0.011	0.0087	P	0.23	P
Pirimicarb	PSM (Insektizid)	Pflicht	2018	0.014	0.09	I	1.8	I
Propachlor-ESA	PSM-Metabolit		2018	0.02	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt

Propachlor-OXA	PSM-Metabolit		2018	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Propamocarb	PSM (Fungizid)	Pflicht	2018	0.022	1000	PIV	1000	PIV
Propiconazol	PSM +B (Fungizid)		2019	0.017	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Propyzamid	PSM (Herbizid)	AP-Pflicht	2019	0.009	0.063	P	2.1	P
Pyrimethanil	PSM (Fungizid)	Pflicht	2018	0.02	1.5	IV	32	PIV
Sotalol	Arzneimittel (Antiarrhythmikum)	Pflicht	2018	0.017	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Spiroxamin	PSM (Fungizid)	AP-Pflicht	2019	0.018	0.063	PV	0.063	P
Sulcotrion	PSM (Herbizid) (verboten)		2018	0.04	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Sulfamethazin	Arzneimittel (Antibiotikum)	Pflicht	2018	0.013	30	PI	30	PI
Sulfamethoxazol	Arzneimittel (Antibiotikum)	Pflicht	2018	0.01	0.6	P	2.7	P
Tebuconazol	PSM +B (Fungizid)	Pflicht	2018	0.014	0.24	PIV	1.4	PI
Tebufenozid	PSM (Insektizid)		2019	0.02	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Terbutylazin	PSM +B (Herbizid)	Pflicht	2018	0.014	0.22	PI	1.3	P
Terbutryn	PSM +B (Herbizid)	Pflicht	2018	0.009	0.065	P	0.34	PI
Thiacloprid	PSM +B (Insektizid)	Pflicht	2018	0.009	0.01	I	0.08	I
Thiamethoxam	PSM +B (Insektizid)	Pflicht	2018	0.008	0.042	I	1.4	I
Trimethoprim	Arzneimittel (Antibiotikum)	Pflicht	2018	0.028	120	PI	210	P
<b>Mittels GC-MS/MS untersucht</b>								
Bifenthrin	PSM +B (Insektizid)		2019	0.00002	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Chlorpyrifos*	PSM (Insektizid)	AP-Pflicht	2019	0.0002	0.00046	I	0.0044	I
Chlorpyrifos-methyl	PSM +B (Insektizid)	AP-Pflicht	2019	0.0001	0.001	I	0.0073	I
Cyfluthrin	PSM +B (Insektizid)		2019	0.0003	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Cypermethrin	PSM +B (Insektizid)	AP-Pflicht	2019	0.0003	0.00003	I	0.00044	I
Deltamethrin	PSM +B (Insektizid)	AP-Optional	2019	0.002	0.0000017	IV	1.7E-05	I
Etofenprox	PSM +B (Insektizid)		2019	0.004	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
lambda-Cyhalothrin	PSM +B (Insektizid)	AP-Pflicht	2019	0.0003	0.000022	I	0.00019	I
Permethrin	PSM +B (Insektizid)		2019	0.002	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Tefluthrin	PSM (Insektizid)		2019	0.00002	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt

\* zusätzlich Analyse mittels LC-MS/MS mit Bestimmungsgrenzen von 0.027  $\mu\text{g/l}$

 Interkantonales Labor  
Mühlentalstrasse 188  
8200 Schaffhausen

+41 52 632 74 80

[interkantlab@sh.ch](mailto:interkantlab@sh.ch)

[www.interkantlab.ch](http://www.interkantlab.ch)

