

## Interkantonale Empfehlung

Methode zur Untersuchung und Beurteilung  
von Fließgewässern

## Organische Mikroverunreinigungen - numerische Anforderungen Anhang 2 GSchV



April 2024

# Impressum

Herausgeber Lab'Eaux  
Kompetenznetzwerk der kantonalen Gewässerschutz- und Umweltschutzlaboratorien  
Haus der Kantone  
Speichergasse 6  
3000 Bern 7

VSA  
Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute  
Europastrasse 3  
8152 Glattbrugg

Autoren Irene Wittmer (Kt BE), Tobias Doppler (VSA), Christian Götz (Kt. ZH), Manuel Kunz (Kt. LU)

Begleitgruppe Pierre-Jean Copin, Beat Jermann (ct.GE), Catherine Folly, Elise Folly (ct. FR), Marin Huser (Kt. BL), Margie Koster (Kt. TG), Martin Märki (Kt. AG), Claudia Minkowski (Kt. BE), Christoph Moschet (Kt. SH), Cécile Plagellat (ct. VD), Jürg Wüthrich (Kt. SG); Marion Junghans (Oekotoxzentrum), Nele Schuwirth, Heinz Singer (Eawag); Damian Dominguez, Päivi Rinta, Fabian Soltermann, Simona Weber, Saskia Zimmermann (BAFU)

Titelbild © A. Della Bella

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1 Ziel der Empfehlung	4
1.2 Mikroverunreinigungen in Schweizer Fließgewässern	5
1.3 Rechtliche Grundlagen: Numerische Anforderungen für organische Mikroverunreinigungen	6
1.4 Definition organische Pestizide	6
<b>2 Standorte</b>	<b>8</b>
2.1 Abschätzung der Belastung	8
2.2 Orientierungsmessungen	10
2.3 Sonstige Hinweise auf eine Gewässerverunreinigung	10
2.4 Koordinierte Auswahl mehrerer Standorte	10
<b>3 Probenahme und Analytik</b>	<b>12</b>
3.1 Probenahmestrategie	12
3.2 Analytik	14
3.3 Qualitätssicherung	15
<b>4 Beurteilung</b>	<b>17</b>
4.1 Beurteilung eines Messwerts	17
4.2 Beurteilung in Abhängigkeit von der Trinkwassernutzung	17
4.3 Aggregation der Beurteilung	19
4.4 Darstellung der Beurteilung	19
4.5 Kontext der Resultate	23
4.6 Handlungsbedarf und weiterführende Schritte	23
<b>5 Anhang</b>	<b>24</b>
5.1 Berechnung von Zweiwochenmischkonzentrationen	24
5.2 Minimale Anzahl Proben für die Beurteilung der andauernden Verunreinigung	26
<b>6 Literaturverzeichnis</b>	<b>30</b>

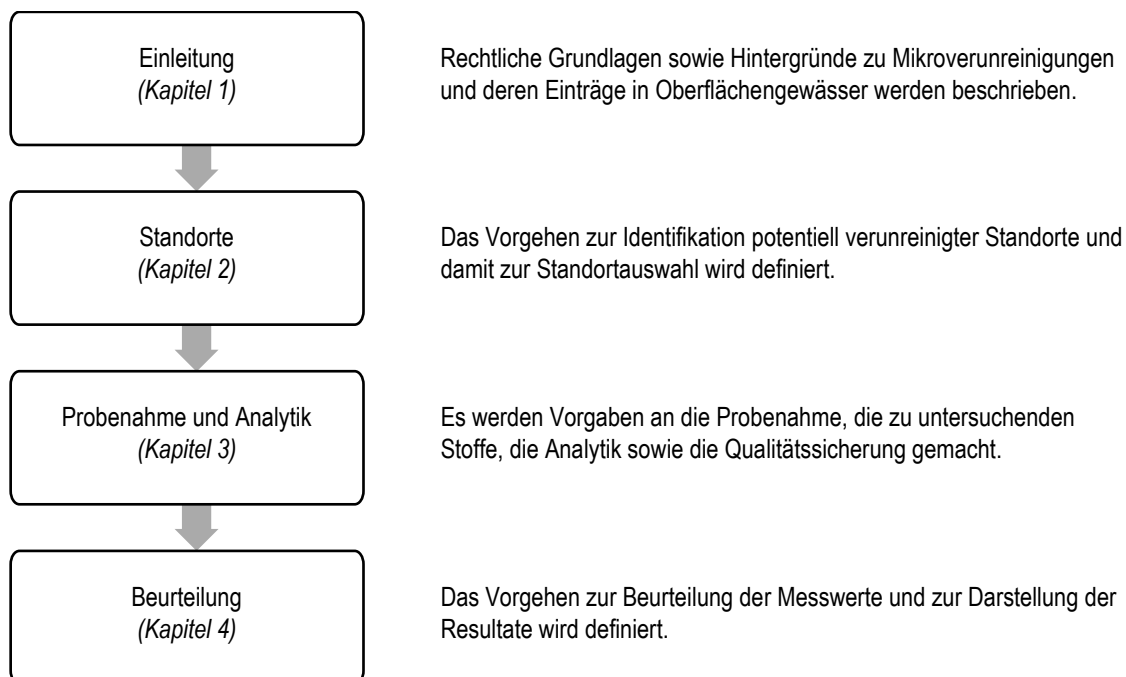
# 1. Einleitung

## 1.1 Ziel der Empfehlung

Die vorliegende Empfehlung erläutert, wie Fließgewässer auf organische Mikroverunreinigungen untersucht und anhand der entsprechenden numerischen Anforderungen in Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) beurteilt werden. Damit wird überprüft, ob der Gewässerzustand den numerischen Anforderungen für organische Mikroverunreinigungen in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 GSchV entspricht. Diese numerischen Anforderungen gelten in allen Oberflächengewässern, im Fokus stehen jedoch die Fließgewässer. Seeuntersuchungen sind nicht Teil dieser Empfehlung.

Die Empfehlung behandelt die verschiedenen Dimensionen der Gewässerüberwachung, die für eine rechtlich korrekte Beurteilung massgebend sind. Dies sind insbesondere die Standortauswahl, die Probenahmestrategie (d.h., welche Art und wie viele Proben genommen werden) und die Anforderungen an die Analytik. In den Vorgaben wird berücksichtigt, dass Gewässeruntersuchungen hinsichtlich organischer Mikroverunreinigungen aufwändig sind. Der Standortauswahl kommt eine grosse Bedeutung zu, wenn ein Gewässer beurteilt werden soll. Die Probenahmestrategie muss darauf ausgerichtet werden, dass die Konzentrationen im Gewässer teilweise stark schwanken und die Analytik muss gewisse Stoffe in sehr tiefen Konzentrationen nachweisen können (Dax et al. 2020, Sinniger und Niederhauser 2011, Spycher et al. 2018, Wittmer et al. 2014). Die Empfehlung macht zudem Vorschläge, wie die Resultate der Gewässerbeurteilung dargestellt werden sollen.

Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Empfehlung und den Inhalt der einzelnen Kapitel.



**Abbildung 1: Aufbau der Empfehlung.**

Der Aufbau entspricht dem Vorgehen bei der Datenerhebung und der Überprüfung der numerischen Anforderungen für organische Mikroverunreinigungen in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 GSchV.

Diese Empfehlung ergänzt die «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe» (Liechti 2010). Diese beiden Empfehlungen decken die in Anhang 2 Ziffern 11 und 12 GSchV definierten numerischen Anforderungen weitgehend ab. Zudem ergänzt die Empfehlung «Ökotoxikologische Beurteilung von Mikroverunreinigungen» (Junghans und Wittmer in Vorb.) die Methoden, insbesondere für die Priorisierung des Handlungsbedarfs

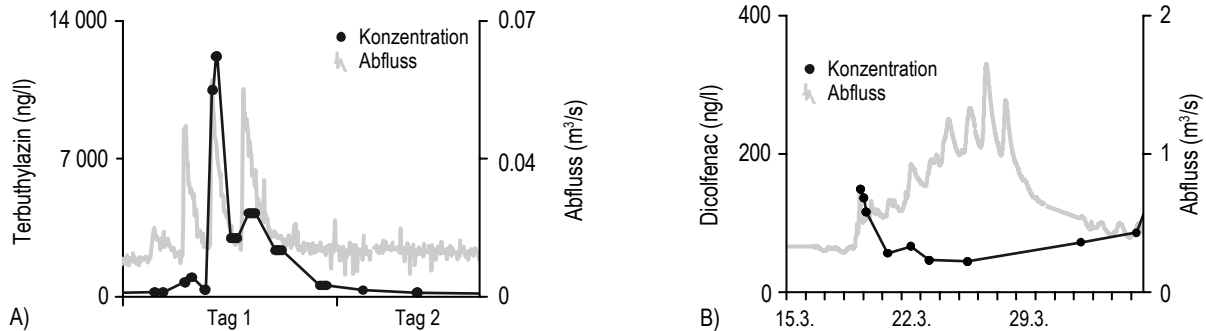
## 1.2 Mikroverunreinigungen in Schweizer Fliessgewässern

Viele Schweizer Fliessgewässer sind mit einer Vielzahl an organischen Mikroverunreinigungen belastet (BAFU, 2022). Einträge aus der Landwirtschaft sowie der Siedlungs- und Strassenentwässerung verunreinigen vor allem kleine und mittelgrosse Fliessgewässer, während die kontinuierlichen Einträge von kommunalem Abwasser und die periodischen Einträge aus Industrie und Gewerbe hauptsächlich mittelgrosse und grosse Gewässer belasten. Es gibt jedoch Regionen mit vielen kleinen Kläranlagen, die auch in kleine Gewässer einleiten und dort zu hohen Belastungen führen.

Mikroverunreinigungen können punktuell oder diffus in die Gewässer eingetragen werden. Ausserdem erfolgen die einen Einträge eher kontinuierlich und andere sind zeitlich sehr variabel. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die Einträge gegeben. Weitere Details können den umfassenden Situationsanalysen zu Mikroverunreinigungen entnommen werden (Braun et al. 2015, Gälli et al. 2009, Wunderlin et al. 2022).

- **Diffuse, zeitlich variable Einträge während Regen** (aus Landwirtschaft sowie Siedlungs- und Strassenentwässerung): Als diffuse Einträge werden Einträge bezeichnet, die über weite Strecken verteilt in die Gewässer eingetragen werden. Die meisten Einträge aus der Landwirtschaft und der Siedlungs- sowie Strassenentwässerung (ohne Kläranlagen) erfolgen diffus. Meist variieren sie zudem zeitlich. Die Mobilisierung an der Quelle und auch der Transport ins Gewässer erfolgen häufig durch Niederschläge. Darum steigen die Frachten, aber auch die Konzentrationen dieser Stoffe während Regenereignissen deutlich an (Braun et al. 2015) (Abbildung 2A). Bei verschiedenen Einträgen, insbesondere bei Pflanzenschutzmitteln – kommt hinzu, dass deren Anwendungen und damit auch die Einträge saisonal erfolgen. Diese Einträge sind nur mit einem aufwändigen Monitoring erfassbar, das die gesamte Anwendungsperiode abdeckt.
- **Diffuse, zeitlich variable Einträge, unabhängig vom Regen** (aus der Landwirtschaft): Gewisse Einträge aus der Landwirtschaft erfolgen ebenfalls zeitlich variabel, jedoch unabhängig von Niederschlägen. Es handelt sich beispielsweise um Spraydrift während der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, oder Einträge von fehlerhaft entwässerten Befüll- und Waschplätzen für Spritzgeräte von Pflanzenschutzmitteln. Diese Einträge sind nicht vorhersehbar und erfordern deshalb ein kontinuierliches Monitoring.
- **Punktuelle, kontinuierliche Einträge** (via kommunale Kläranlagen): Stoffe aus dem täglichen Gebrauch wie z.B. Arzneimittel oder Geschirrspülmittel werden oft konstant über kommunale Kläranlagen in die Gewässer eingetragen (Gälli et al. 2009). Diese Stoffe werden in Gewässern bei erhöhtem Abfluss verdünnt und ihre Konzentration im Gewässer sinkt im Vergleich zu Trockenwetterabfluss (Abbildung 2B). Der eher konstante Eintrag erleichtert das Monitoring dieser Stoffe.
- **Punktuelle, zeitlich variable Einträge** (via kommunale Kläranlagen und industrielle Direkteinleiter). Industrie- und Gewerbebetriebe leiten unterschiedlichste Stoffe, aufgrund von wechselnden Produktions- und Arbeitsprozessen, oft stossweise in die Gewässer ein. Solche Einträge können sowohl über kommunale

Kläranlagen als auch über industrielle Direkteinleiter (Industrien mit eigener Kläranlage) erfolgen (Wunderlin et al. 2022). Diese Einträge sind schwierig vorherzusagen und damit nur mit einem kontinuierlichen Monitoring erfassbar.



**Abbildung 2: Mögliche Eintragsdynamik von Mikroverunreinigungen während Regenereignissen.**

A) Konzentration eines Pflanzenschutzmittels im Gewässer während eines Regenereignisses (Doppler et al. 2012). Die Konzentration steigt aufgrund des regengetriebenen Eintrags zusammen mit dem Abfluss an. Stoffe aus der Siedlungs- und Strassenentwässerung (Trennkansalisationen, Mischwasserentlastungen, Strassenabwasserbehandlungsanlagen) verhalten sich ähnlich.

B) Konzentration eines Schmerzmittels im Gewässer während eines Regenereignisses (Wittmer 2010). Der Eintrag (Fracht) ist unabhängig vom Regen mehr oder weniger konstant. Aufgrund der Verdünnung durch das zusätzliche Regenwasser sinkt die Konzentration im Gewässer während des erhöhten Abflusses.

### 1.3 Rechtliche Grundlagen:

#### Numerische Anforderungen für organische Mikroverunreinigungen

In Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 GSchV ist einerseits eine allgemeine numerische Anforderung von 0,1 µg/l für organische Pestizide aufgeführt (Tabelle Nr. 4). Davon abweichend enthält der Anhang andererseits für gewisse Stoffe ökotoxikologisch begründete numerische Anforderungen (Tabelle Nr. 3 und 4). Diese sollen gewährleisten, dass empfindliche Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen in den oberirdischen Gewässern weder durch kurzzeitige noch durch länger anhaltende Verunreinigungen beeinträchtigt werden. Dem Schutz vor längerfristiger Verunreinigung (chronische Toxizität) dienen die Anforderungen für die andauernde Verunreinigung. In der Fussnote 2 zur Tabelle Nr. 3 und 4 in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 GSchV wird «andauernd» wie folgt konkretisiert: «Konzentration gemittelt über einen Zeitraum von zwei Wochen». Im Gegensatz dazu müssen die Anforderungen für kurzzeitige Verunreinigung, die dem Schutz vor akuter Toxizität dienen, sowie die allgemeine Anforderung von 0,1 µg/l für alle übrigen organischen Pestizide jederzeit eingehalten werden. Weiter unterscheidet Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 GSchV bei den organischen Pestiziden zwischen Anforderungen in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen und Anforderungen in den übrigen Gewässern.

### 1.4 Definition organische Pestizide

Organische Pestizide gemäss Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 4 GSchV umfassen Biozidprodukte und Pflanzenschutzmittel und enthalten Wirkstoffe und Zubereitungen, die aus organischen Verbindungen bestehen (gemäss Artikel 4 Absatz 1 Buchstaben d resp. e des Chemikaliengesetzes, ChemG, SR 813.1). Organische Pestizide unterstehen den Zulassungsvorschriften der Biozidprodukteverordnung (VBP, SR 813.12) bzw. der Pflanzenschutzmittelverordnung (PSMV, SR 916.161). Biozidprodukte und Pflanzenschutzmittel gemäss obiger Definition, die in der Schweiz nicht zugelassen sind oder die ihre Zulassung in der Schweiz verloren haben, fallen

ebenfalls unter den Begriff der organischen Pestizide. Abbauprodukte von Pestiziden (Metaboliten) sind im Begriff der organischen Pestizide der GSchV nicht eingeschlossen.

## 2. Standorte

Die numerischen Anforderungen von Anhang 2 GSchV Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 können aufgrund des grossen Aufwands für die Probenahme und die Analytik nicht flächendeckend überprüft werden. Da nicht in allen Gewässern Verunreinigungen im gleichen Ausmass erwartet werden, ist eine flächendeckende Überprüfung auch nicht notwendig. Zur Abschätzung der Belastungslage und zur Identifikation potentiell verunreinigter Gewässer, welche vertieft untersucht werden sollen, muss in einem ersten Schritt eine Übersicht über die Gewässer und die Emissionsquellen in ihren Einzugsgebieten gewonnen werden. Folgende Methoden und Analysen bestehender Daten helfen dabei:

- Abschätzung der Belastung anhand von Gewässergrösse, Landnutzung und Modellrechnungen (Kapitel 2.1)
- Durchführung von Orientierungsmessungen (Kapitel 2.2)
- Sonstige Hinweise auf eine Gewässerverunreinigung, z.B. von biologischen Untersuchungen (Kapitel 2.3).

Landnutzungsanalysen, Modelle, Orientierungsmessungen oder sonstige Befunde weisen auf möglicherweise verunreinigte Gewässerabschnitte hin und helfen so, die Standorte richtig zu priorisieren. Für die Überprüfung der numerischen Anforderungen muss jedoch eine Messkampagne durchgeführt werden, die den Bedingungen gemäss den Kapiteln 3–4 genügt.

Bei der Standortauswahl ist zudem zu berücksichtigen, dass die numerischen Anforderungen nur nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers im Gewässer gelten (Anhang 2 GSchV Ziffer 11 Absatz 3). Jeder Standort muss daher in genügendem Abstand zu stromaufwärts gelegenen Einleitstellen (von Kläranlagen, Mischwasserentlastungen, aber auch Strassenentwässerungen, Drainagen usw.) liegen.

Um die Belastungssituation in einem Kanton oder einer Region zu beurteilen, muss eine genügend grosse Anzahl Standorte untersucht werden. Kapitel 2.4 diskutiert Grundsätze, die bei der Auswahl mehrerer Standorte berücksichtigt werden müssen.

### 2.1 Abschätzung der Belastung

Das Mittelland und die grossen Talebenen gehören zu den Regionen der Schweiz, die dicht besiedelt sind und durch die Landwirtschaft intensiv genutzt werden. Daher werden in diesen Regionen höhere Konzentrationen von Mikroverunreinigungen erwartet (Strahm et al. 2013). Verschiedene Informationen zum Gewässer sowie zu Quellen von Mikroverunreinigungen in seinem Einzugsgebiet können Hinweise darauf liefern, an welchen Gewässerabschnitten die Belastung erhöht sein kann. Im Folgenden wird für verschiedene Verunreinigungsquellen beschrieben, welche Informationen, wie zum Beispiel die Landnutzung oder der Abwasseranteil, die Standortauswahl unterstützen können.



## **Landwirtschaft**

Für die Einschätzung einer möglichen Verunreinigung durch landwirtschaftliche Tätigkeiten ist in einem ersten Schritt die Landnutzungsanalyse hilfreich. Beispielsweise ist ein hoher Flächenanteil an Ackerland, Obst- oder Rebbaue im Einzugsgebiet eines Gewässers ein Indiz für eine mögliche Verunreinigung durch Pflanzenschutzmittel (Strahm et al. 2013). Für landwirtschaftliche Verunreinigungen spielen aber noch viele weitere Faktoren eine wichtige Rolle (Alder et al. 2013). Wichtig ist beispielsweise, ob ein Feld drainiert ist, ob es direkt neben einem Gewässer liegt oder es über die Strassenentwässerung mit einem Gewässer verbunden ist, aber auch die auf dem Feld angebauten Kulturen.

In der Regel findet man in kleinen und mittelgrossen Fliessgewässern, die im Einzugsgebiet einen hohen Anteil an intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen aufweisen, die höchsten Konzentrationen von Stoffen aus der Landwirtschaft (BAFU 2020b). In grossen Flüssen wie dem Rhein oder der Aare sind die Konzentrationen in der Regel stark verdünnt (BAFU 2022). Die Auswahl von Fliessgewässern mit sehr kleinen Einzugsgebieten sollte vermieden werden, da bei diesen der Einfluss des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes auf einzelnen Felder auf die beobachtete Belastung hoch ist. Untersuchungen der Eawag haben gezeigt, dass ab Einzugsgebietsgrössen von 1–2 km<sup>2</sup> die Anzahl nachgewiesener Stoffe sehr gross sein kann (Doppler et al. 2017). Daraus lässt sich ableiten, dass Standorte mit einem Einzugsgebiet >1 km<sup>2</sup> ausgewählt werden sollten.

## **Kommunales Abwasser**

Ein hoher Abwasseranteil im Fliessgewässer weist auf eine mögliche Verunreinigung durch Stoffe aus kommunalem Abwasser hin. Informationen zum Abwasseranteil sowie zum mittleren Jahresabfluss der Schweizer Fliessgewässer sind auf dem Geoportal des Bundes ([map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch)) verfügbar. Die Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) zeigen, dass bei einem Abwasseranteil von mehr als 5 % am mittleren Jahresabfluss das Schmerzmittel Diclofenac die numerische Anforderung praktisch ganzjährig nicht einhält (BAFU 2022). Mit fortschreitendem Ausbau der Kläranlagen, womit die Mikroverunreinigungen im Abwasser grösstenteils eliminiert werden, wird jedoch auch die Anzahl der verunreinigten Gewässer sinken. Zusätzlich zum Abwasseranteil sollte daher der Ausbaugrad der Kläranlagen in einem Einzugsgebiet berücksichtigt werden. Für die Abschätzung der erwarteten Einträge verschiedener Stoffe aus kommunalem Abwasser liegt ein Modell vor, das auch den Ausbaugrad der Kläranlagen berücksichtigt (Ort 2007).

## **Siedlungsentwässerung (ohne Kläranlagen)**

Mischwasserüberläufe, Regenwassereinleitungen aus Siedlungsgebieten und Einleitungen von Strassenabwasser können Gewässer ebenfalls verunreinigen. Hinweise auf mögliche Einträge liefern die generellen Entwässerungspläne (GEP) der Gemeinden und die Beurteilung der Einleitstellen nach der Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» (VSA 2019). Verglichen mit Einträgen aus Kläranlagen und Landwirtschaft führen diese Einleitungen aber zu deutlich weniger Verunreinigungen (Braun et al. 2015).

## **Industrie und Gewerbe**

Verunreinigungen aus Industrie und Gewerbe lassen sich mittels einer Analyse der Betriebe im Einzugsgebiet abschätzen (Wunderlin et al. 2022). In der Schweiz gibt es ca. 50 Direkteinleiter, also Industrien mit einer eigenen Industriekläranlage. Die restlichen Betriebe (ca. 20'000–30'000) leiten ihr Abwasser in eine kommunale Kläranlage ein. Für die Einschätzung der Relevanz von Einträgen aus Industrie und Gewerbe ist daher auch der Ausbaugrad der kommunalen Kläranlagen im Einzugsgebiet relevant. Aufgrund zyklischer industrieller Produktions- und Verarbeitungsprozesse sind vor allem Einträge aus der Industrie, teilweise auch aus dem Gewerbe, oft nicht vorhersagbar (Anliker et al. 2020a, Anliker et al. 2020b). Folgende Branchen sind für die Emission von organischen Mikroverunreinigungen relevant: chemisch-physikalische Behandlung von flüssigen Sonderabfällen, chemisch-pharmazeutische Industrie (synthetisierende und verarbeitende Betriebe),

Metalloberflächenbehandlung, Galvanik, Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln, Wäschereien, Auto-/Transportgewerbe sowie Malergewerbe. Branchenübergreifend sind Kühl- und Heizprozesse relevant.

## **2.2 Orientierungsmessungen**

Orientierungsmessungen sind Messungen, die mit möglichst kleinem Aufwand (geringe Anzahl Messungen oder kurzer Beprobungszeitraum) eine erste Einschätzung der Belastungssituation erlauben. In der Regel handelt es sich dabei um monatliche Stichproben. Orientierungsmessungen können eine sinnvolle Vorgehensweise für eine Übersicht über mehrere Gewässer sein. Die so erhobenen Daten sind jedoch im Sinne dieser Empfehlung ungeeignet für eine Überprüfung der numerischen Anforderungen (siehe Kapitel 4).

Verunreinigungen durch Stoffe, die kontinuierlich in Gewässer eingetragen werden, können mittels Stichproben adäquat identifiziert werden (Götz et al. 2010). Verunreinigungen mit zeitlich variablen Eintragsmustern werden jedoch in der Regel durch die Analyse von Stichproben deutlich unterschätzt (Wittmer et al. 2014).

## **2.3 Sonstige Hinweise auf eine Gewässerverunreinigung**

Weitere Untersuchungen können Hinweise auf eine mögliche Gewässerverunreinigung mit organischen Mikroverunreinigungen liefern. So können biologische Untersuchungen, z.B. Untersuchungen nach dem MSK-Modul Makrozoobenthos (BAFU 2019), wertvolle Hinweise auf eine verminderte Gewässerqualität geben. Um Gewässer zu identifizieren, die potentiell mit Pestiziden verunreinigt sind, können auch weitere biologische Methoden herangezogen werden. Dazu gehört namentlich der Bioindikator SPEARpesticide (engl. Species At Risk, (Liess und van der Ohe 2005) oder verschiedene Biotests.

Für Einleitungen aus der Siedlungsentwässerung können Untersuchungen mit den Methoden des Moduls Gewässeruntersuchung der VSA-Richtlinie zur Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter (Ilg et al. 2021) erste Hinweise zur Wasserqualität geben.

## **2.4 Koordinierte Auswahl mehrerer Standorte**

Da jeder Standort gewisse Eigenheiten hat, ist es nicht möglich, von einem einzigen Standort auf die Verunreinigungen in einer ganzen Region zu schliessen. Gleichzeitig ist es für die meisten Kantone aus Ressourcengründen nicht möglich, eine grosse Anzahl an Standorten zu untersuchen.

Wie viele und welche Standorte für aussagekräftige Resultate einer Region ausgewählt werden sollen, muss fallspezifisch betrachtet werden. Für die koordinierte Auswahl geeigneter Standorte müssen jedoch folgende Grundsätze berücksichtigt werden:

- Das Ziel der Untersuchungen ist die Überprüfung der numerischen Anforderungen für organische Mikroverunreinigungen in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 GSchV. Es muss daher in erster Priorität auf Gewässerabschnitte fokussiert werden, bei denen Einträge dieser geregelten organischen Mikroverunreinigungen zu erwarten sind.
- Die Standorte müssen die relevanten Quellen von Mikroverunreinigungen in der Region abbilden, zum Beispiel in Bezug auf die Landnutzung im Einzugsgebiet oder den Abwasseranteil im Fliessgewässer (siehe Kapitel 2.1).

- Kleine, mittlere und grosse Fliessgewässer sowie grosse Flüsse zeigen unterschiedliche Belastungen. Es sollten daher alle relevanten Fliessgewässergrössen untersucht werden.
- Untersuchungen mittels mehrerer Standorte ermöglichen, die Belastungssituation regional zu beurteilen. Es ist daher von Vorteil, Untersuchungen über Regionen (z.B. mehrere Kantone) oder sogar schweizweit zu koordinieren (NAWA).
- Werden in einem Einzugsgebiet Massnahmen gegen Verunreinigungen ergriffen, können Standorte gezielt zur Wirkungskontrolle ausgewählt werden.

Bei Auswertungen zu mehreren Standorten muss explizit auf die Art und die Repräsentativität der Standorte eingegangen werden.

## 3. Probenahme und Analytik

Mittels Routineuntersuchungen können die numerischen Anforderungen in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV nicht rund um die Uhr und nicht in allen Gewässerabschnitten überprüft werden. Im Kapitel 3.1 werden deshalb Probenahmestrategien empfohlen, die für die Beurteilung eines Gewässers aussagekräftig und nach aktuellem Stand der Technik machbar sind. Zusätzlich werden Mindestbedingungen definiert, die eingehalten werden müssen, damit ein Gewässer beurteilt werden kann. Im Kapitel 3.2 werden die Bedingungen an die Auswahl und die Analytik der untersuchten Stoffe definiert, in Kapitel 3.3 die Qualitätssicherung.

### 3.1 Probenahmestrategie

Die Fussnote 2 zu Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV definiert, dass die numerischen Anforderungen für andauernde Verunreinigung (chronische Toxizität) gemittelt über einen Zeitraum von 14 Tagen eingehalten werden müssen. Die übrigen numerischen Anforderungen – namentlich die Anforderungen für kurzzeitige Verunreinigung und die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide – müssen jederzeit eingehalten werden. Basierend auf diesen beiden Grundsätzen werden im Folgenden Probenahmestrategien empfohlen sowie Mindestbedingungen an die Probenahme formuliert, unter denen Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV gesetzeskonform überprüft werden kann.

#### **Andauernde Verunreinigung (chronische Toxizität)**

*Empfohlene Probenahmestrategie:* Zeitproportionale Zweiwochenmischproben ermöglichen es, die numerischen Anforderungen für andauernde Verunreinigungen gemäss GSchV zu überprüfen. Solche Sammelprouben bestehen aus Teilproben gleichen Volumens, die in fixen Zeitabständen oder kontinuierlich genommen werden. Es wird empfohlen, das ganze Jahr durchgehend zeitproportionale Zweiwochenmischproben zu nehmen. Dies führt zu 26 Proben pro Jahr und Standort. Um in den Mischproben auch zeitlich variable Einträge (wie z.B. in Abbildung 2A) adäquat zu erfassen, wird empfohlen, mindestens stündlich eine Teilprobe zu nehmen. Messwerte von zeitproportionalen Zweiwochenmischproben können direkt anhand der Anforderung für andauernde Verunreinigung beurteilt werden.

*Spezialfall abflussproportionale Zweiwochenmischproben in grossen Flüssen:* Abflussproportionale Proben eignen sich nur in grossen Flüssen, wie z.B. dem Rhein bei Basel, für die Beurteilung anhand der Anforderung für andauernde Verunreinigung. Nur in grossen Flüssen kann angenommen werden, dass eine abflussproportionale Mischprobe die Konzentration gemittelt über zwei Wochen genügend gut repräsentiert, weil die Unterschiede im Abfluss innerhalb von zwei Wochen meist gering sind. Ausschlaggebend ist, dass die gemittelte Konzentration nicht wesentlich durch die Konzentration während des höchsten Abflusses bestimmt wird.

*Berechnung aus kürzeren Proben:* Sind für einen durchgehenden Zeitraum von mindestens zwei Wochen keine Zweiwochenmischproben, aber durchgehende Mischproben mit kürzeren Intervallen vorhanden (z.B. 3.5-Tagesmischproben), können daraus Zweiwochenmischkonzentrationen berechnet werden. Vorgaben für die Berechnung sind im Anhang 5.1 definiert.

#### *Mindestbedingungen:*

- Um ein Gewässer in Bezug auf andauernde Verunreinigung zu beurteilen, müssen mindestens acht Zweiwochenmischproben in einem Jahr genommen werden. Eine statistische Analyse der NAWA-Daten aus dem Jahr 2018 hat ergeben, dass erst ab acht Zweiwochenmischproben für alle Fließgewässergrossen gewährleistet werden kann, dass die Gesamtbeurteilung in einer Mehrheit der Standorte (>75 %) mit grosser Wahrscheinlichkeit (>80 %) richtig wiedergegeben wird (weitere Details siehe Anhang 5.2). Für Einzugsgebiete mit intensiver Landwirtschaft ist aufgrund der Saisonalität am sinnvollsten, diese Proben in der Zeit zwischen Anfang April und Ende Oktober zu nehmen. Erfüllt ein Monitoringprogramm nur die Mindestbedingungen bezüglich der Anzahl Proben, muss bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden, dass zusätzliche Verunreinigungen auftreten können.
- Um die Mischproben anhand der numerischen Anforderungen beurteilen zu können, müssen sie aus Teilproben bestehen, die während mindestens 13 aufeinanderfolgenden Tagen genommen worden sind. Ein Toleranzbereich von 13 bis 14 Tagen ist rechtlich vertretbar und erleichtert die Praxis. Wenn zum Beispiel die Probenahme an einem Dienstag gestartet wird, die Probe aber aus logistischen Gründen schon am Montag der übernächsten Woche wieder eingesammelt wird, entspricht die Probenahmedauer den tolerierten 13 Tagen.
- Des Weiteren können aufgrund technischer Probleme (z.B. Ausfall des Probennehmers) Teilproben einer Zweiwochenmischprobe fehlen. Falls Teilproben von mindestens zehn Tagen vorliegen, darf die Zweiwochenmischkonzentration rechnerisch ermittelt werden, indem für die fehlenden Zeitspannen eine Konzentration von Null angenommen wird (Vorgehen siehe Anhang 5.1).

#### **Kurzzeitige Verunreinigung (akute Toxizität)**

*Empfohlene Probenahmestrategie:* In der Routineüberwachung wird empfohlen, die kurzzeitige Verunreinigung mittels zeitproportionaler 3.5-Tagesmischproben zu erfassen. Dabei sollte mindestens stündlich eine Teilprobe genommen werden. Die gemittelte Konzentration über dreieinhalb Tage entspricht der Belastung, der die Organismen in den ökotoxikologischen Tests ausgesetzt sind (Wittmer et al. 2014). Dementsprechend beruhen die numerischen Anforderungen für die kurzzeitige Verunreinigung auf ökotoxikologischen Tests, die im Mittel drei bis vier Tage dauern. Aus ökotoxikologischer Sicht ist die Erfassung von Spitzenkonzentrationen, die nur während weniger Stunden auftreten, daher nicht zwingend notwendig.

*Ergänzende Untersuchungen:* Die tatsächlichen Spitzenkonzentrationen können um ein Vielfaches höher liegen als die Konzentrationen in den 3.5-Tagesmischproben (Dax et al. 2020). Die numerischen Anforderungen für kurzzeitige Verunreinigung gelten jederzeit, das heisst sie müssen grundsätzlich in jeder Probe eingehalten werden, unabhängig von der Probenahmestrategie. Ergänzend zur Routineüberwachung können Spezialkampagnen mit zeitlich hoch aufgelöster Probenahme sinnvoll sein. So können Konzentrationsspitzen abgebildet werden, die innerhalb weniger Stunden auftreten.

*Mindestbedingungen:* Um ein Gewässer in Bezug auf kurzfristige Verunreinigung zu beurteilen, muss analog zur andauernden Verunreinigung während mindestens vier Monaten 3.5-Tagesmischproben genommen werden.

#### **Allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide**

*Empfohlene Probenahmestrategie:* In der Routineüberwachung ist am sinnvollsten, Zweiwochenmischproben oder 3.5-Tagesmischproben zu nehmen, um gleichzeitig die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide und die Anforderungen für andauernde, respektive kurzzeitige Verunreinigung überprüfen zu können. Die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide gilt jederzeit. Das heisst, sie muss in allen Proben eingehalten werden, unabhängig von der Probenahmestrategie.

*Ergänzende Untersuchungen:* Die tatsächlichen Spitzenkonzentrationen können um ein Vielfaches höher liegen, als die Konzentrationen in den 3.5-Tagesmischproben oder den Zweiwochmischproben (Dax et al. 2020). Analog zur kurzzeitigen Verunreinigung kann es daher sinnvoll sein, ergänzend zur Routineüberwachung Spezialekampagnen mit zeitlich hoch aufgelöster Probenahme durchzuführen.

*Mindestbedingungen:* Um ein Gewässer in Bezug auf die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide zu beurteilen, gelten die Mindestbedingungen für die andauernde respektive kurzzeitige Verunreinigung.

## 3.2 Analytik

### Zu analysierende Stoffe

Untersucht werden müssen, sofern mit verhältnismässigem Aufwand machbar, alle organischen Stoffe, für welche in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV numerische Anforderungen definiert sind (Kapitel 1.3). Dabei handelt es sich einerseits um alle Stoffe mit ökotoxikologisch begründeter numerischer Anforderung sowie andererseits um alle organischen Pestizide, für welche die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide gilt.

In der Schweiz sind mehrere hundert Pestizide zugelassen (Definition Pestizide siehe Kapitel 1.4). Im Routinemonitoring ist es zu aufwändig, alle organischen Pestizide zu untersuchen, die mit der allgemeinen Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide geregelt sind. Zusätzlich zu den in Anhang 2 namentlich erwähnten Pestiziden sollen für die Überprüfung der allgemeinen Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide daher prioritär jene organischen Pestizide gemessen werden, die regelmässig in Konzentrationen grösser 0.1 µg/l erwartet oder nachgewiesen werden. Im Rahmen von NAWA werden diese organischen Pestizide schweizweit gemessen (Doppler et al. 2020). Es wird empfohlen, diese Pestizid Auswahl auch in anderen Monitoringprogrammen zu berücksichtigen.

Für gewisse Stoffe muss eine Spezialanalytik angewendet werden, um genügend tiefe Bestimmungsgrenzen zu erreichen (Rösch et al. 2019). Eine solche Spezialanalytik erhöht den Aufwand deutlich. Zudem kann es sein, dass die mit dem Stand der Technik erreichbaren analytischen Bestimmungsgrenzen höher sind als die numerischen Anforderungen (Kapitel 3.2, Bestimmungsgrenzen). Gegebenenfalls können an gewissen Standorten nicht alle numerischen Anforderungen überprüft werden. Wenn nicht alle mit numerischen Anforderungen geregelten Stoffe analysiert werden können oder die Bestimmungsgrenzen zu hoch sind, muss dies bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden (siehe Kapitel 4).

### Gesamtkonzentration versus gelöste Fraktion

Die numerischen Anforderungen gelten für die Gesamtkonzentration (BAFU 2020a). In der Regel wird in der Routineüberwachung jedoch nur die gelöste Fraktion untersucht. Diese Praxis ist im Einklang mit dem erläuternden Bericht zur Änderung der GSchV vom 1.4.2020: «Für Stoffe, die überwiegend in der gelösten Phase auftreten, kann ausschliesslich die gelöste Konzentration bestimmt werden, d.h. der an Partikel gebundene Anteil muss nicht analysiert werden» (BAFU 2020a).

Der Log  $K_{ow}$ <sup>1</sup> ist ein guter Indikator für die Verteilung eines Stoffes zwischen partikelgebundener- und gelöster Phase. Der Log  $K_{ow}$  der in der GSchV geregelten Stoffe kann den EQS-Dossiers entnommen werden (Ökotoxzentrum 2020). Stoffe mit einem Log  $K_{ow} < 4$  treten grundsätzlich überwiegend in der gelösten Phase

<sup>1</sup> Log  $K_{ow}$  ist der logarithmische Wert des Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten eines Stoffes. Höhere Log  $K_{ow}$ -Werte geben an, dass der Stoff eher an organisches Material sorbiert als dass er in der Wasserphase vorliegt.

auf. Bei einzelnen Stoffen kann die tatsächliche Verteilung zwischen Partikel und gelöster Phase aber stark vom Log  $K_{ow}$  abweichen. Für Stoffe mit einem Log  $K_{ow} > 4$  sowie für gewisse weitere Stoffe ist die Analyse der gelösten Phase nicht ausreichend. Bei diesen sollte, falls mit vertretbarem analytischen Aufwand machbar, die Gesamtkonzentration ermittelt werden.

### **Stereoisomere**

Verschiedene Stereoisomere desselben Stoffes können ökotoxikologisch unterschiedlich wirken. Bei R/S-Metolachlor ist zum Beispiel vor allem S-Metolachlor wirksam. Bei Stoffen, die aus mehreren Isomeren bestehen, ist daher in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV die CAS-Nummer des jeweiligen Isomers oder Gemischs aus Isomeren angegeben, mit welchem die ökotoxikologischen Tests durchgeführt wurden (BAFU 2020a). Der Erläuternde Bericht zur GSchV Änderung vom 1. April 2020 spezifiziert jedoch: *«Bei diesen Stoffen ist es ausreichend, die im Gewässer auftretenden Isomergemische zu analysieren, d.h. es ist nicht nötig, die einzelnen Isomere separat zu analysieren»* (BAFU 2020a).

### **Bestimmungsgrenze**

Die Bestimmungsgrenzen der gewählten Analysemethoden müssen, wenn mit vertretbarem Aufwand machbar, mindestens 50 % unter der niedrigsten numerischen Anforderung des jeweiligen Stoffes liegen. Aufgrund analytischer Einschränkungen können die Bestimmungsgrenzen gewisser Stoffe höher sein als ihre ökotoxikologisch begründeten numerischen Anforderungen. Ist dies der Fall, kann für Messwerte  $<$  Bestimmungsgrenze, keine Verunreinigung festgestellt werden. Aktuelles Beispiel Stand 2023: Bei Cypermethrin wird typischerweise eine Bestimmungsgrenze von 0.3 ng/l erreicht, die Anforderung für die andauernde Verunreinigung ist jedoch zehnfach tiefer bei 0.03 ng/l.

## **3.3 Qualitätssicherung**

Damit korrekte und verwertbare Messdaten resultieren, müssen bei Probenahme, -transport und -lagerung sowie bei Aufbereitung und Analyse Qualitätsstandards eingehalten werden (vgl. dazu auch Art. 48 Absatz 1 GSchV).

### **Probenahme**

Im Grundsatz sind für die Probenahme Glasflaschen und für die Transferleitungen geeignete Materialien, wie z.B. Stahl, Teflon oder Silikon zu verwenden. Für gewisse Stoffe kann jedoch gemäss gängiger Standards ein anderes Material die bessere Wahl für Flaschen und Transferleitungen sein. Wenn immer möglich müssen die Proben gekühlt werden. Die Probenahme muss zudem so erfolgen, dass sie die Konzentration des gesamten Querprofils wiedergibt. Entweder muss das Gewässer am Punkt der Entnahme vollständig gemischt sein oder es müssen repräsentative Proben aus verschiedenen Bereichen des Querprofils genommen werden. Letzteres wird beispielsweise an der internationalen Rheinüberwachungsstation bei Basel praktiziert.

## Probentransport und Lagerung

Der Transport ins Labor muss so rasch wie möglich erfolgen und die Proben dürfen sich während des Transports nicht signifikant erwärmen. Die Proben müssen zudem während der Lagerung gekühlt werden, vorzugsweise bei 0 bis 4 °C. Werden die Proben über mehrere Wochen bis zur Messung aufbewahrt, müssen die Proben bei ca. -20 °C tiefgefroren werden.

Für die Analyse von Stoffen, die in der wässrigen Phase einem schnellen Abbauprozess unterliegen (z.B. Pyrethroide), gilt, dass die Proben nach dem Eintreffen im Labor innerhalb von wenigen Tagen, vorzugsweise am gleichen Tag, für die Analyse aufgearbeitet werden müssen.

## Analyse

Die Analyse muss durch ein Labor mit einer ISO 17025-Akkreditierung oder durch ein gleichwertig qualifiziertes Labor durchgeführt werden. Wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung ist die Teilnahme an Ringversuchen, welche die Stoffe mit ökotoxikologisch begründeter numerischer Anforderung sowie weitere in NAWA untersuchte Pestizide, möglichst vollständig abdecken. Ein Ringversuch, der auf die NAWA-Stoffauswahl ausgerichtet ist, wird jährlich vom Kompetenznetzwerk der kantonalen Gewässerschutz- und Umweltschutzlabore Lab'Eaux angeboten und durchgeführt. Lab'Eaux definiert bei Bedarf weitere Anforderungen an die Qualitätssicherung.

## Dokumentation der Daten

Grundsätzlich müssen die Messwerte einzeln aufgezeichnet werden. Als Messwert gilt der Wert, der analytisch in einer Probe für einen Stoff festgestellt wird, oder ein aus mehreren Proben berechneter Wert. Für jeden Messwert müssen mindestens die folgenden zusätzlichen Informationen dokumentiert und verfügbar sein (Tabelle 1).

Tabelle 1: Mindestbedingungen an die Dokumentation der Daten.

Messwerte (direkte Messung)	Messwerte (berechnet aus Teilproben)
Messwert	Messwert
Einheit	Einheit
Substanzname oder Identifikationsnummer	Substanzname oder Identifikationsnummer
Probenidentifikationsnummer	Probenidentifikationsnummer (Extranummern für berechnete Proben)
	Information, dass der Wert aus Teilproben berechnet wurde
	Information, aus welchen Originalproben der Wert berechnet wurde (z.B. Identifikationsnummer der Originalproben)
Bestimmungsgrenze	
Art der Probenahme (zeitproportional, abflussproportional, Stichprobe)	Art der Probenahme (zeitproportional, abflussproportional)
Standort (xy-Koordinaten)	Standort (xy-Koordinaten)
Beginn der Probenahme	Beginn der Probenahme (erste Teilprobe)
Ende der Probenahme	Ende der Probenahme (letzte Teilprobe)
Probenmedium (Oberflächenwasser, Abwasser etc.)	Probenmedium (Oberflächenwasser, Abwasser etc.)

Weitere wertvolle, aber nicht zwingend benötigte Informationen sind:

- Substanzidentifizierung (CAS-Nr., InchiKey<sup>2</sup>, Parametername der BAFU-Datenbank WQM etc.)
- Nachweisgrenze (wenn vorhanden)
- Unsicherheiten der Messwerte
- Informationen zu Probenahmeort (Fotos, Besonderheiten etc.)
- Informationen zur verwendeten analytischen Methode (LC, GC etc.)
- Information ob Gesamt- oder gelöste Fraktion untersucht wurde
- Informationen zum Messprogramm (z.B. NAWA)
- Weitere Informationen aus dem Probenahmeprotokoll
- Bei Mischproben: errechnete Bestimmungsgrenze.

<sup>2</sup> [http://inchi.info/inchikey\\_overview\\_en.html](http://inchi.info/inchikey_overview_en.html)



# 4. Beurteilung

## 4.1 Beurteilung eines Messwerts

Sind die Bedingungen an die Probenahme, die Stoffauswahl und die Analytik erfüllt (Kapitel 3), wird das Fließgewässer anhand der numerischen Anforderungen in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV beurteilt. Um festzustellen, ob eine Verunreinigung vorliegt, müssen die einzelnen Messwerte mit den entsprechenden Anforderungen überprüft werden. Als Messwerte gelten auch aus Teilproben berechnete Mittelwerte von geeigneter Dauer gemäss Kapitel 3. Aus dem Vergleich von Messwert und Anforderung resultiert die Beurteilung gemäss Tabelle 2.

Tabelle 2: Beurteilungsschema.

Messwerte werden zweistufig anhand der numerischen Anforderungen in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV beurteilt.

Farbcode	Überprüfung	Interpretation
rot	Messwert > Anforderung	Die Anforderung wird nicht eingehalten. Es liegt eine Verunreinigung vor.
blau	Messwert ≤ Anforderung	Keine Verunreinigung nachgewiesen*.

\* Damit ist jedoch nicht bewiesen, dass keine Verunreinigung vorlag. Gründe für diese Unsicherheit: die Bestimmungsgrenzen für gewisse Stoffe lagen über ihrer Anforderung oder Konzentrationsspitzen werden in Mischproben so stark verdünnt, dass ein Messwert unterhalb der Anforderung resultiert. Zudem werden in der Regel nicht alle Stoffe gemessen, die Gewässer verunreinigen können.

## 4.2 Beurteilung in Abhängigkeit von der Trinkwassernutzung

Gemäss GSchV gelten für organische Pestizide unterschiedliche numerische Anforderungen in Abhängigkeit davon, ob das Gewässer der Trinkwassernutzung dient oder nicht. In Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen, gilt 0.1 µg/l je Einzelstoff oder abweichend davon tiefere ökotoxikologisch begründeten numerischen Anforderungen (Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 4 GSchV). Je nachdem, ob ein Gewässer der Trinkwassernutzung dient oder nicht, müssen deshalb für die Beurteilung unterschiedliche Anforderungen herangezogen werden. In der nachfolgenden Box und der Abbildung 3 ist definiert, wann ein Gewässer der Trinkwassernutzung dient.

**Box: Definition Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen**

Bei den numerischen Anforderungen für organische Pestizide wird in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 4 GSchV zwischen oberirdischen «Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen» und «Gewässern, die nicht der Trinkwassernutzung dienen» unterschieden.

Folgende oberirdische Gewässer gelten als Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen:

a) Gewässer mit direkter Trinkwassernutzung:

- Gewässer, aus denen Wasser entnommen und zu Trinkwasser aufbereitet wird. Stand 2023 sind dies vor allem die grösseren Seen wie Bielersee, Bodensee, Genfersee oder Zürichsee.

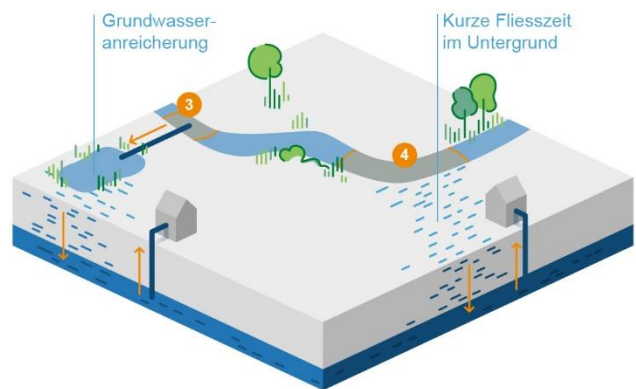
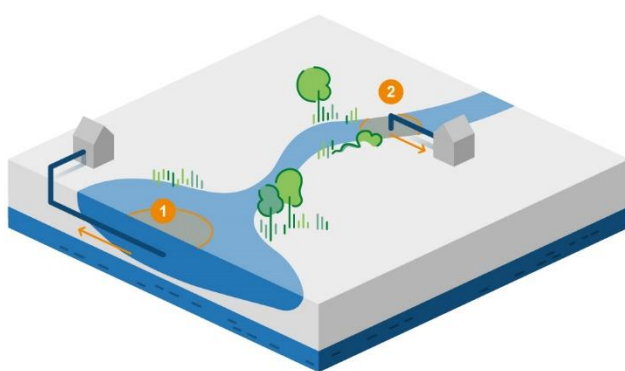
b) Gewässer mit indirekter Trinkwassernutzung:

- Gewässer, aus denen Wasser entnommen und in einer Grundwasseranreicherungsanlage versickert wird, um ein Grundwasservorkommen anzureichern, aus dem Trinkwasser gewonnen wird (z.B. Pumpstationen Lange Erlen der IWB Basel oder der Hardwasser AG in Muttenz)
- Gewässer, in deren direkter Nähe eine Grundwasserfassung dem Oberflächengewässer Wasser zur Trinkwassergewinnung entzieht (Definition in «Praxishilfe zu ufernahen Grundwasserfassungen, BAFU», in Arbeit) und dabei zum überwiegenden Teil (mindestens 50 %) Flussinfiltrat fördert.

Die numerischen Anforderungen für Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen, beziehen sich auf die konkrete Nutzung eines Gewässers für die Trinkwassergewinnung. Daraus ergibt sich, dass diese Anforderung im oberirdischen Gewässer am Ort der direkten oder indirekten Wasserentnahme einzuhalten ist und nicht im gesamten Gewässer oder gar im gesamten Einzugsgebiet. Die Beurteilung der Wasserqualität erfolgt daher bei direkter Nutzung sowie bei der Entnahme zur Grundwasseranreicherung am Ort der Entnahmeverrichtung (Nr. 1–3 in Abbildung 3). Bei einer Grundwasserfassung in direkter Nähe eines Oberflächengewässers erfolgt die Beurteilung auf der Höhe der Fassungsstränge bzw. der Infiltrationsstrecke (Nr. 4 in Abbildung 3).

a) Direkte Trinkwassernutzung

b) Indirekte Trinkwassernutzung



- 1 Direkte Entnahme See
- 2 Direkte Entnahme Fluss

- Entnahme
- FlieBrichtung
- Leitung
- Trinkwasserbrunnen

- 3 Grundwasseranreicherung und Entnahme
- 4 Grundwasserfassung in direkter Nähe eines Oberflächengewässers

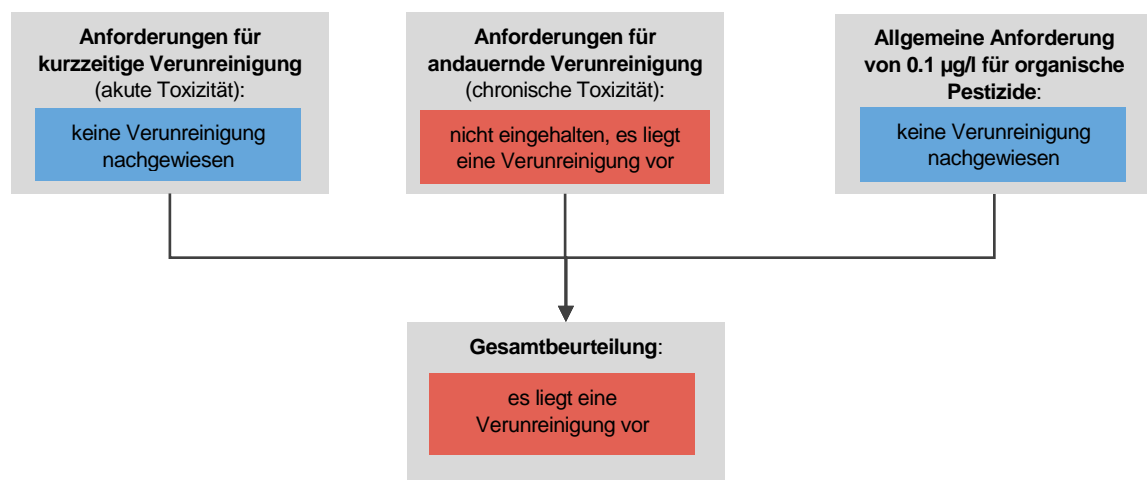
- Entnahme / Infiltrationsstrecke
- FlieBrichtung
- Leitung
- Trinkwasserbrunnen

**Abbildung 3: Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen.**

Schematische Darstellung der Definition.

### 4.3 Aggregation der Beurteilung

Hält ein Messwert einer Probe die numerische Anforderung nicht ein, gilt die Probe als verunreinigt. In der Regel werden die Messwerte über den Zeitraum eines Jahres zusammen beurteilt. Demnach gilt ein untersuchter Gewässerabschnitt in diesem Zeitraum als verunreinigt, wenn mindestens ein Messwert die numerische Anforderung nicht einhält (Abbildung 4). Bei der Darstellung der Ergebnisse ist zwischen der allgemeinen numerischen Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide und den ökotoxikologisch begründeten numerischen Anforderungen für kurzzeitige respektive andauernde Verunreinigung zu unterscheiden (siehe Abbildungen 5–7 in Kapitel 4.4). Liegt eine Verunreinigung vor, regelt Art. 47 GSchV das Vorgehen (siehe Kapitel 4.6).



**Abbildung 4: Aggregation der Beurteilung.**

In diesem Beispiel wird mindestens eine numerische Anforderung an die andauernde Verunreinigung nicht eingehalten (rot). Die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide und die Anforderungen für kurzzeitige Verunreinigung werden hingegen eingehalten (blau). In der Aggregation führt dies zur Gesamtbeurteilung, dass eine Verunreinigung im Gewässerabschnitt vorliegt.

### 4.4 Darstellung der Beurteilung

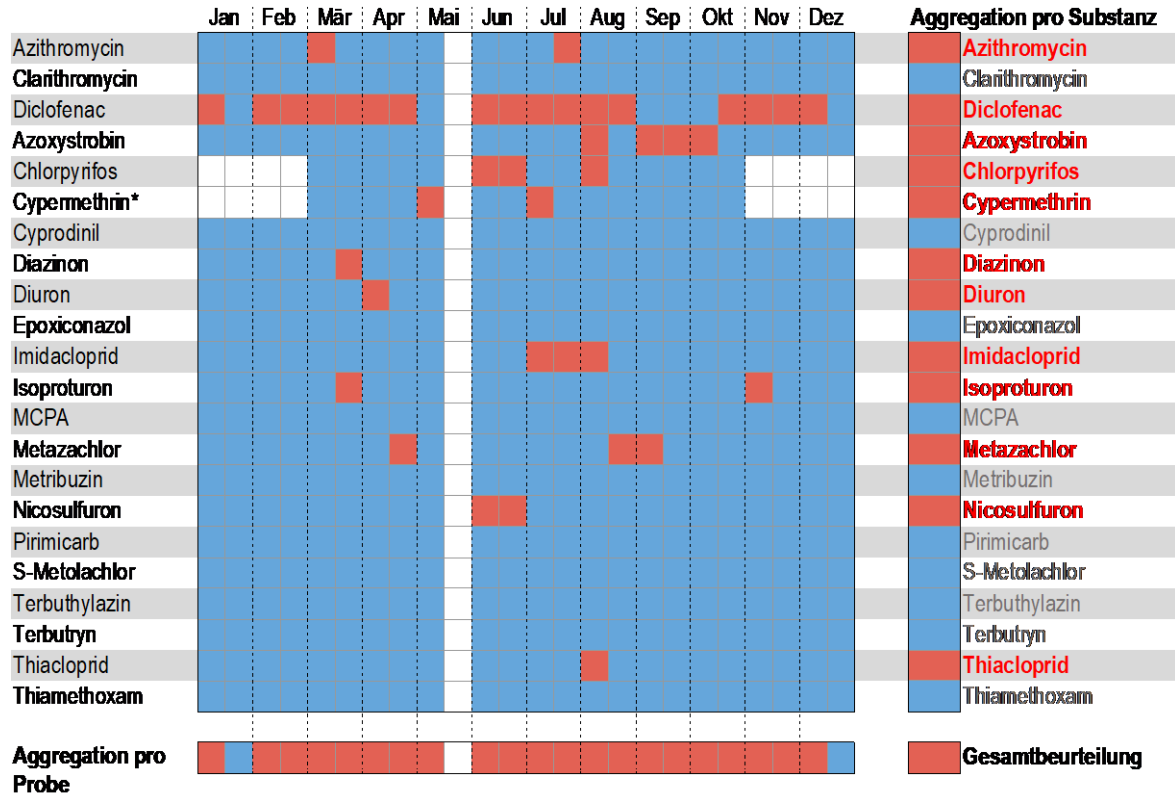
Die Beurteilung eines Gewässers mit den numerischen Anforderungen in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV wird anhand von drei Abbildungen dargestellt (Beispiele siehe Abbildungen 5–7). Dies trägt den unterschiedlichen numerischen Anforderungen Rechnung (siehe Kapitel 1.3):

- Anforderungen für eine andauernde Verunreinigung (chronische Toxizität)
- Anforderungen für eine kurzzeitige Verunreinigung (akute Toxizität)
- Allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide, die nicht mit einer ökotoxikologisch begründeten numerischen Anforderung geregelt sind.

Für die Beurteilung verwendet man jeweils alle verfügbaren und geeigneten Messwerte. Kapitel 3.1 definiert, welche Bedingungen die Messwerte erfüllen müssen, um die entsprechende Beurteilung von andauernden und kurzfristigen Verunreinigungen durchführen zu können.

Die Abbildungen 5 bis 7 illustrieren die Beurteilung der Wasserqualität eines Gewässers, das nicht der Trinkwassernutzung dient. Die Darstellung der Beurteilung eines Gewässers, das der Trinkwassernutzung dient,

ist analog. Allerdings unterscheiden sich in Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 Tabelle Nr. 3 und 4 GSchV die Stoffe, für welche die Beurteilung a)–c) gemacht werden.



\* Die Bestimmungsgrenze liegt über der numerischen Anforderung (Stand 2022), eine Verunreinigung kann daher in den Proben ohne Verunreinigung nicht ausgeschlossen werden.

**Legende**

- Es liegt eine Verunreinigung vor
- Keine Verunreinigung nachgewiesen
- Kein Messwert (fehlende Probe oder Stoff nicht analysiert)

Abbildung 5: Beispieldarstellung andauernde Verunreinigung.

Beurteilung der Wasserqualität eines fiktiven Gewässerabschnitts anhand der numerischen Anforderungen für andauernde Verunreinigung (Stand GSchV 1.1.2023) in einem Gewässer, das nicht der Trinkwassernutzung dient. Für die Beurteilung werden nur Messwerte aus Zweiwochenmischproben sowie berechnete Werte aus kürzeren Proben verwendet, die einen Zeitraum von zwei Wochen repräsentieren.

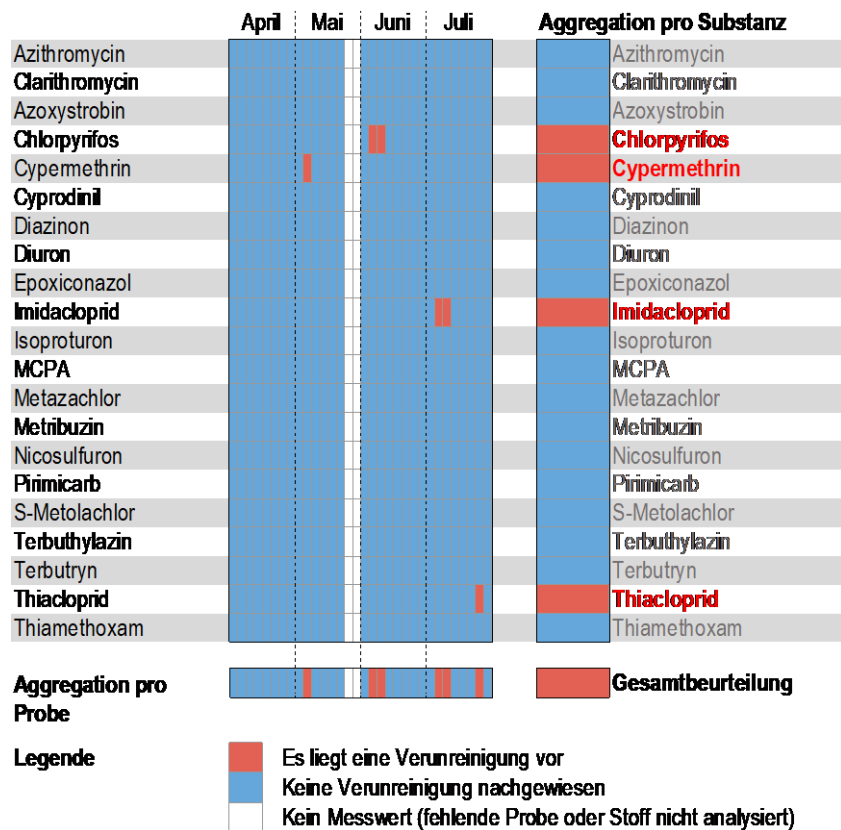


Abbildung 6: Beispieldarstellung kurzzeitige Verunreinigung.

Beurteilung der Wasserqualität eines fiktiven Gewässerabschnitts anhand der numerischen Anforderungen für kurzzeitige Verunreinigung (Stand GSchV 1.1.2023) in einem Gewässer, das nicht der Trinkwassernutzung dient. Für die Beurteilung werden alle Messwerte in der höchsten vorhandenen zeitlichen Auflösung verwendet.

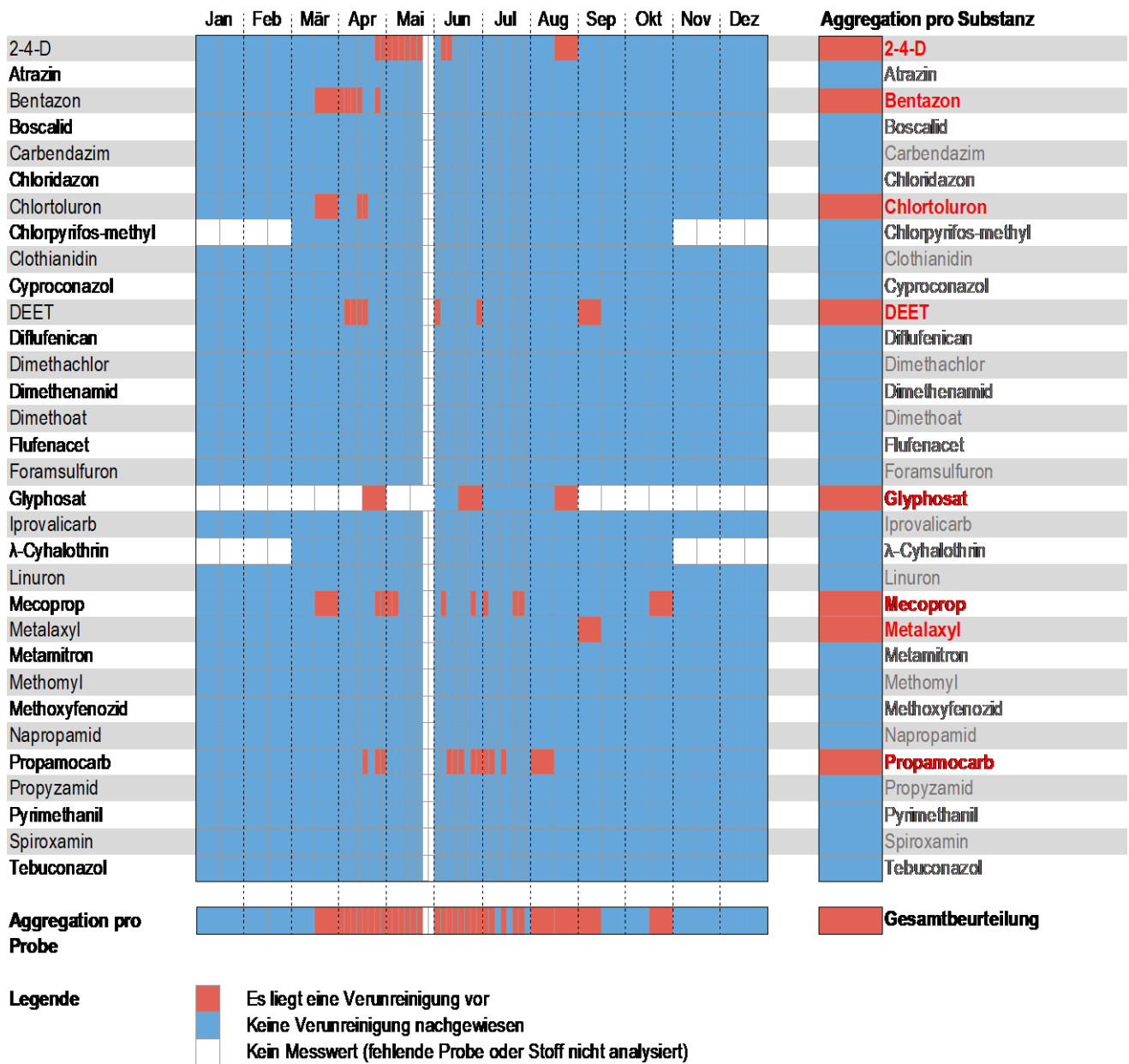


Abbildung 7: Beispieldarstellung allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide, die nicht mit einer ökotoxikologisch begründeten numerischen Anforderung geregelt sind.

Beurteilung der Wasserqualität eines fiktiven Gewässerabschnitts anhand der allgemeinen Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide (Stand GSchV 1.1.2023) in einem Gewässer, das nicht der Trinkwassernutzung dient. Für die Beurteilung werden alle Messwerte in der höchsten vorhandenen zeitlichen Auflösung verwendet.

## 4.5 Kontext der Resultate

Die Gesamtbeurteilung sollte, wenn immer möglich, in beschreibender Weise in Kontext gesetzt werden. Dazu gehören die folgenden drei Aspekte.

**Ausmass der Verunreinigung.** Das Ausmass der Verunreinigung kann unter anderem wie folgt beschrieben werden:

- Anteil der Untersuchungsperiode, während der eine Verunreinigung nachgewiesen wurde (z.B. zwei Monate in einem Jahr)
- Anzahl der Stoffe, die ihre numerische Anforderung nicht einhalten
- Anzahl der Messwerte in einer Untersuchungsperiode, die die numerischen Anforderungen nicht einhalten
- Höhe der Verunreinigungen (Quotient aus maximal gemessener Konzentration und der numerischen Anforderung)
- Art der Verunreinigung (kurzzeitig, andauernd oder die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide wurde nicht eingehalten).

**Lücken.** Da allumfassende Gewässeruntersuchungen in der Praxis nicht realisiert werden können, kann die Beurteilung «blinde Flecken» aufweisen (vgl. Kapitel 3.1 und 3.3), z.B.:

- wenn nicht alle geregelten Stoffe untersucht werden können
- wenn keine ganzjährige Probenahme durchgeführt wurde
- wenn Bestimmungsgrenzen oberhalb der numerischen Anforderungen liegen.

**Repräsentativität des untersuchten Standorts.** Mittels Gewässeruntersuchungen können typischerweise nur eine begrenzte Anzahl Gewässerabschnitte beurteilt werden. Es ist daher wichtig, die untersuchten Standorte in den Kontext zu setzen. Kapitel 2 gibt Hinweise darauf, wie das möglich ist.

## 4.6 Handlungsbedarf und weiterführende Schritte

Sind die Anforderungen an die Wasserqualität nicht eingehalten, müssen die kantonalen Behörden nach Artikel 47 GSchV Art und Ausmass der Verunreinigung ermitteln und bewerten, die Ursachen abklären, die Wirksamkeit der möglichen Massnahmen beurteilen und die erforderlichen Massnahmen treffen. Es liegt im Ermessen des Kantons, das Ausmass der Verunreinigung und die Wirksamkeit der Massnahmen zu bewerten.

- Prioritärer Handlungsbedarf besteht, wenn die Trinkwassernutzung gefährdet oder die Wasserlebewesen beeinträchtigt werden. Dies ist der Fall, wenn die ökotoxikologisch begründeten numerischen Anforderungen oder in einem Gewässer, das der Trinkwassernutzung dient, die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide nicht eingehalten werden. Wenn hingegen in einem Gewässer, das *nicht* der Trinkwassernutzung dient, die allgemeine Anforderung von 0.1 µg/l für organische Pestizide nicht eingehalten wird, kann der Kanton auf die wirksamsten, einfach umzusetzenden Massnahmen fokussieren. Um den Handlungsbedarf im Einzelfall abzuklären, kann die kantonale Behörde die Empfehlung «Ökotoxikologische Beurteilung von Mikroverunreinigungen» beziehen (Junghans und Wittmer in Vorb.).

# 5. Anhang

## 5.1 Berechnung von Zweiwochenmischkonzentrationen

Dieser Abschnitt beschreibt, wie Zweiwochenmischkonzentrationen aus mehreren kürzeren Teilproben oder basierend auf einer Mischprobe von weniger als 13, aber mehr als zehn Tagen, berechnet werden sollen. Die so berechneten Messwerte bzw. Durchschnittskonzentrationen werden anhand der numerischen Anforderungen für die andauernde Verunreinigung beurteilt.

Für die Berechnung von Zweiwochenmischkonzentrationen aus mehreren kürzeren Mischproben ist eine gerade Anzahl von Teilproben geeignet. So können Zweiwochenmischkonzentrationen aus dem Durchschnitt über die Werte aus zwei Wochenmischproben, aus vier 3.5-Tagesmischproben oder aus 14-Tagesmischproben berechnet werden.

Im Routinemonitoring müssen Zweiwochenmischkonzentrationen typischerweise berechnet werden, wenn Standorte durchgehend oder zeitweise in höherer zeitlicher Auflösung beprobt werden. Beispiele dafür sind die Rheinüberwachungsstation bei Weil am Rhein (Tagesmischproben) und einige NAWA-Standorte, an denen während vier Monaten 3.5-Tagesproben genommen werden.

**Umgang mit der Bestimmungsgrenze.** Messwerte unter der Bestimmungsgrenze werden mit einer Konzentration von 0 ersetzt, bevor die Zweiwochenmischkonzentration berechnet wird. Mit diesem konservativen Ansatz wird sichergestellt, dass eine allfällige Verunreinigung aufgrund von tatsächlichen Messwerten bewiesen werden kann und nicht auf Annahmen beruht. Dies bedeutet auch, dass die tatsächliche Konzentration mit Sicherheit gleich oder höher ist als die berechnete Zweiwochenmischkonzentration.

**Umgang mit Datenlücken.** Bei jeder Probenahme können aus unterschiedlichen Gründen Daten fehlen. Wie Zweiwochenmischkonzentrationen trotz solcher Lücken berechnet werden können, wird anhand von häufig auftretenden Fällen beschrieben (Tabellen 3–6). Zudem gelten folgende Grundsätze:

- Wenn Teilproben von insgesamt mindestens zehn Tagen vorhanden sind, kann daraus eine Zweiwochenmischkonzentration berechnet werden, sofern die Konzentration in der Zeit, für die keine Proben vorhanden sind, auf 0 gesetzt wird.
- Durch die künstliche Verlängerung der Probendauer (Tabelle 6) dürfen keine sich überlappenden Zeiträume entstehen. Das heisst, dass Messwerte nur zur Berechnung von einer einzigen Zweiwochenmischkonzentration verwendet werden dürfen.
- Da die Probendauer der Teilproben variieren kann, werden die Konzentrationen zeitproportional gemittelt.



Tabelle 3: Berechnungsbeispiel fehlende 3.5-Tagesmischprobe.

Die erste Zweiwochenmischprobe ist komplett – die Mischkonzentration wird aus den vier 3.5-Tagesmischproben berechnet. In der zweiten Zweiwochenmischprobe fehlt eine 3.5-Tagesmischprobe. Da die vorhandenen drei Teilproben einen Zeitraum von 10,5 und damit mehr als zehn Tagen abdecken, kann daraus eine Zweiwochen-Mischkonzentrationen berechnet werden, indem für die Dauer der fehlenden Teilprobe die Konzentration 0 angenommen wird.

Teilproben				Mischprobe			
Nr.	Probenahmebeginn	Probenahmeende	Dauer [h]	Konzentration [ng/l]	Zeitraum	Dauer [h]	Zweiwochen-Mischkonzentration [ng/l]
1	01.01. 00:00	04.01. 12:00	84	5	01.01. 00:00– 15.01. 00:00	336	$\frac{15 \text{ ng/l} = (5 \cdot 84 + 20 \cdot 84 + 3 \cdot 84 + 32 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	04.01. 12:00	08.01. 00:00	84	20			
3	08.01. 00:00	11.01. 12:00	84	3			
4	11.01. 12:00	15.01. 00:00	84	32			
1	15.01. 00:00	18.01. 12:00	84	48	15.01. 00:00– 29.01. 00:00	336	$\frac{17 \text{ ng/l} = (48 \cdot 84 + 0 \cdot 84 + 7 \cdot 84 + 12 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	18.01. 12:00	22.01. 00:00	84	Probe fehlt: 0			
3	22.01. 00:00	25.01. 12:00	84	7			
4	25.01. 12:00	29.01. 00:00	84	12			

Tabelle 4: Berechnungsbeispiel mit zwei fehlenden 3.5-Tagesmischproben.

Die erste Zweiwochenmischprobe ist komplett – die Mischkonzentration wird aus den vier 3.5-Tagesmischproben berechnet. In der zweiten Zweiwochenmischprobe fehlen zwei 3.5-Tagesmischproben. Da die vorhandenen zwei Teilproben einen Zeitraum von nur sieben und damit weniger als zehn Tagen abdecken, kann daraus keine Zweiwochen-Mischkonzentration für die Beurteilung der chronischen Verunreinigung berechnet werden. In Fällen, bei denen nicht die ganze Probe fehlt, sondern nur Messwerte einzelner Substanzen in einzelnen Proben, geht man für die fehlenden Substanzen analog vor.

Teilproben				Mischprobe			
Nr.	Probenahmebeginn	Probenahmeende	Dauer [h]	Konzentration [ng/l]	Zeitraum	Dauer [h]	Zweiwochen-Mischkonzentration [ng/l]
1	01.01. 00:00	04.01. 12:00	84	5	01.01. 00:00– 15.01. 00:00	336	$\frac{15 \text{ ng/l} = (5 \cdot 84 + 20 \cdot 84 + 3 \cdot 84 + 32 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	04.01. 12:00	08.01. 00:00	84	20			
3	08.01. 00:00	11.01. 12:00	84	3			
4	11.01. 12:00	15.01. 00:00	84	32			
1	15.01. 00:00	18.01. 12:00	84	48	15.01. 00:00– 29.01. 00:00	168	<i>Keine Beurteilung der chronischen Verunreinigung möglich</i>
2	18.01. 12:00	22.01. 00:00	84	Probe fehlt			
3	22.01. 00:00	25.01. 12:00	84	Probe fehlt			
4	25.01. 12:00	29.01. 00:00	84	12			

Tabelle 5: Berechnungsbeispiel bei Lücken zwischen Teilproben.

In der ersten Zweiwochenmischprobe wird die fehlende Messung zwischen 8.1. 8:00 und 9.1. 18:00 durch die Konzentration 0 ersetzt. So kann die Zweiwochen-Mischkonzentration berechnet werden, da die gesamte Dauer der vorhandenen Proben mit 302 Stunden mehr als 10 Tage (240 h) repräsentiert. Die zweite Probenahme startete verspätet (am 15.01. um 10:00 anstatt um 0:00). Da die gesamte Probenahmedauer der zweiten Zweiwochenmischprobe 326 Stunden und somit ebenfalls mehr als zehn Tage umfasst, kann die Zweiwochen-Mischkonzentration berechnet werden, indem für die Dauer der fehlenden Teilprobe die Konzentration 0 angenommen wird.

Teilproben				Mischprobe			
Nr.	Probenahmebeginn	Probenahmeende	Dauer [h]	Konzentration [ng/l]	Zeitraum	Dauer [h]	Zweiwochen-Mischkonzentration [ng/l]
1	01.01. 00:00	04.01. 15:00	87	5	01.01. 00:00– 15.01. 00:00	336	$\frac{15 \text{ ng/l} = (5 \cdot 87 + 20 \cdot 89 + 0 \cdot 34 + 3 \cdot 42 + 32 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	04.01. 15:00	08.01. 08:00	89	20			
3	09.01. 18:00	11.01. 12:00	42	3			
4	11.01. 12:00	15.01. 00:00	84	32			
1	15.01. 10:00	18.01. 12:00	74	48	15.01. 00:00– 29.01. 00:00	336	$\frac{18 \text{ ng/l} = (0 \cdot 10 + 48 \cdot 74 + 10 \cdot 84 + 7 \cdot 84 + 12 \cdot 84) \text{ ng/l}\cdot\text{h}}{336 \text{ h}}$
2	18.01. 12:00	22.01. 00:00	84	10			
3	22.01. 00:00	25.01. 12:00	84	7			
4	25.01. 12:00	29.01. 00:00	84	12			

Tabelle 6: Berechnungsbeispiel für Zweiwochenmischproben, die weniger als 13 Tage repräsentieren.

Teilproben müssen mindestens zehn Tage repräsentieren. In der ersten Mischprobe über 252 Stunden ist dies der Fall und es kann die Zweiwochen-Mischkonzentration berechnet werden, indem für die Dauer der fehlenden Teilprobe die Konzentration 0 angenommen wird.

Die zweite Mischprobe deckt nur 192 Stunden und damit weniger als zehn Tage ab, wodurch keine Beurteilung der chronischen Verunreinigung möglich ist.

Teilproben					Mischprobe		
Nr.	Probenahme- beginn	Probenahme- ende	Dauer [h]	Konzentration [ng/l]	Zeitraum	Dauer [h]	Zweiwochen-Mischkonzentration [ng/l]
1	01.01. 00:00	11.01. 12:00	252	5	01.01. 00:00– 15.01. 12:00	336	$3.75 \text{ ng/l} = \frac{(5 \cdot 252 + 0 \cdot 84)}{336} \text{ ng/l} \cdot \text{h}$
1	15.01. 00:00	23.01. 00:00	192	48	15.01. 00:00– 23.01. 00:00	336	Keine Beurteilung der chronischen Verunreinigung möglich

## 5.2 Minimale Anzahl Proben für die Beurteilung der andauernden Verunreinigung

In Kapitel 3.1 wurde vorgegeben, dass im Minimum acht Zweiwochenmischproben genommen werden müssen, um ein Gewässer auf andauernde Verunreinigungen überprüfen zu können. Dieses Minimum basiert auf einer statistischen Analyse der Mikroverunreinigungsdaten von NAWA aus dem Jahr 2018 (Doppler et al. 2020). Ziel der statistischen Analyse war es, die Mindestanzahl an Proben zu ermitteln, bei der in den meisten Gewässern mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gesamtbeurteilung korrekt wiedergegeben wird. Im Folgenden wird das Vorgehen und die Resultate der Analyse beschrieben.

**Beschreibung der NAWA-Daten 2018.** In kleinen Fließgewässern hielten vor allem Pestizide von April bis Oktober die numerischen Anforderungen nicht ein. In mittelgrossen Fließgewässern war dies für Pestizide von April bis Oktober und zusätzlich für Arzneimitteln zum Teil das ganze Jahr der Fall. Grosse Fließgewässer waren weniger oft mit Pestiziden verunreinigt, jedoch häufiger mit Arzneimitteln. Grosse Flüsse hielten die Anforderungen meist ein.

Für die statistische Analyse können zwei Fälle unterschieden werden:

- Fall 1: In einer oder mehreren Proben wurde mindestens eine numerische Anforderung nicht eingehalten. Entsprechend lautet die korrekte Gesamtbeurteilung: «Es lag eine Verunreinigung vor»
- **Fall 2:** Alle Messwerte aus allen Proben hielten die numerischen Anforderungen ein. Die korrekte Gesamtbeurteilung lautet hier: «Es wurde keine Verunreinigung nachgewiesen».

**Fall 1:** Die Wahrscheinlichkeit  $q_{1\_Probe\_Anf\_eingehalten}$ , dass in einer einzelnen Probe von einem bestimmten Gewässer die Anforderungen eingehalten sind, berechnet sich wie folgt:

$$q_{1\_Probe\_Anf\_eingehalten} = \frac{\# \text{ Anzahl Proben, die die Anforderung einhalten}}{\# \text{ Anzahl Proben der gesamten Periode}}$$

Die Gesamtbeurteilung ist falsch ( $q_{Beurteilung\_falsch}$ ), wenn bei einer reduzierten Anzahl Proben  $n$  in allen genommenen Proben die Anforderungen eingehalten ist, obwohl im vorliegenden Fall 1 in mindestens einer Probe die Anforderungen nicht eingehalten wurden. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Beurteilung falsch ist ( $q_{Beurteilung\_falsch}$ ), berechnet sich bei  $n$  Proben wie folgt:

$$q_{Beurteilung\_falsch} = q_{1\_Probe\_Anf\_eingehalten}^n$$

Daraus lässt sich die Wahrscheinlichkeit, dass die Beurteilung bei  $n$  Proben korrekt wiedergegeben wird ( $q_{Beurteilung\_korrekt}$ ), wie folgt berechnen:

$$q_{\text{Beurteilung\_korrekt}} = 1 - q_{\text{Beurteilung\_falsch}}$$

**Fall 2:** Die Wahrscheinlichkeit, dass bei  $n$  Proben die Gesamtbeurteilung ( $q_{\text{Beurteilung\_korrekt}}$ ) korrekt ist, ist in diesem Fall immer 100 % (weil die Werte aller Proben die Anforderungen einhalten, kann man nicht falsch liegen):

$$q_{\text{Beurteilung\_korrekt}} = q^n = 100 \%$$

**Berechnete Szenarien.** Die Wahrscheinlichkeiten  $q_{\text{Beurteilung\_korrekt}}$ , mit der Gesamtbeurteilung richtig zu liegen, wurde für folgende Szenarien berechnet:

- $n = 1, 2, 3, 4, 6, 8$  und  $10$  Proben
- für alle Standorte einzeln
- nach Fliessgewässergrösse (kleine, mittelgrosse und grosse Fliessgewässer sowie grosse Flüsse)
- für das ganze Jahr resp. nur von April bis Oktober.

**Resultate.** Die Resultate der statistischen Analyse sind in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt. Folgende allgemeine Schlussfolgerungen können daraus gezogen werden:

- Je mehr Proben ( $n$ ) genommen werden, desto eher liegt man richtig, d.h. die Wahrscheinlichkeit  $q_{\text{Beurteilung\_korrekt}}$  wird grösser
- Werden die Proben verteilt zwischen April und Oktober genommen, steigt die Wahrscheinlichkeit  $q_{\text{Beurteilung\_korrekt}}$
- In kleinen Fliessgewässern ist die Wahrscheinlichkeit  $q_{\text{Beurteilung\_korrekt}}$  deutlich kleiner als in mittelgrossen oder grossen. Es braucht also in kleinen Fliessgewässern tendenziell mehr Proben
- In grossen Fliessgewässern braucht es am wenigsten Proben, da fast ganzjährig Verunreinigungen vorliegen (in der Regel durch Arzneimittel)
- Bei grossen Flüssen ist die Wahrscheinlichkeit  $q_{\text{Beurteilung\_korrekt}}$  nahe bei 100 %, weil kaum Verunreinigungen vorkommen. Um aber vereinzelt Verunreinigungen trotzdem zu erfassen, wie sie zum Beispiel in der Aare 2018 auftraten, braucht es das ganze Jahr über Proben.

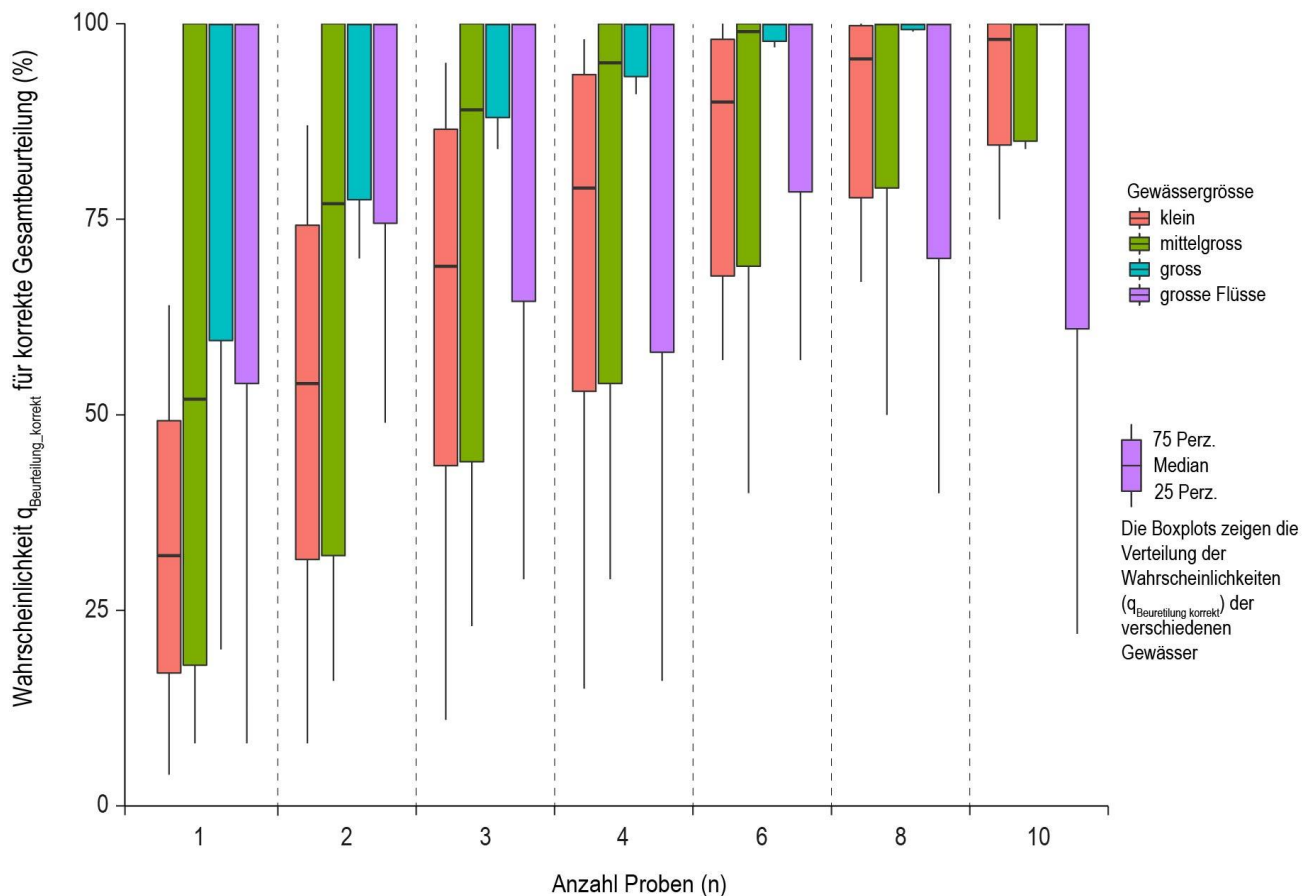


Abbildung 8: Resultate der statistischen Analyse nach Fließgewässergrösse, um die Mindestanzahl an Zweiwochenmischproben bei andauernder Verunreinigung zu bestimmen.

Die Boxplots stellen die Wahrscheinlichkeitsverteilung der verschiedenen Standorte dar, mit der bei  $n$  Proben die Gesamtbeurteilung korrekt ist.

### Definition der Mindestbedingung

Die Beurteilung in unterschiedlichen Gewässern sollte auf den gleichen Bedingungen beruhen. Daher wurde dieselbe Mindestbedingung für alle Gewässer definiert. Die Kriterien für die Mindestanzahl der Proben ( $n$ ) wurden wie folgt festgelegt:

- Ein Grossteil der untersuchten Standorte (75 %, untere Linie des Quadrates im Boxplot) muss
- eine **hohe Wahrscheinlichkeit** ( $q_{\text{Beurteilung\_korrekt}} > 80 \%$ ) aufweisen, dass die Gesamtbeurteilung korrekt ist.

Diese Kriterien werden, wenn man alle Standorte gemeinsam betrachtet, bei mindestens acht Proben pro Jahr erfüllt. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Beurteilung korrekt ist, ist zudem etwas höher, wenn die Proben zwischen April und Oktober genommen werden (Abbildung 9).

Untersuchungen, die auf acht Proben pro Jahr basieren, garantieren zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit eine korrekte Gesamtbeurteilung. Die Resultate müssen trotzdem mit Vorsicht interpretiert werden. So sind Aussagen über Anzahl Überschreitungen, Identifikation problematischer Stoffe etc. nur eingeschränkt möglich.

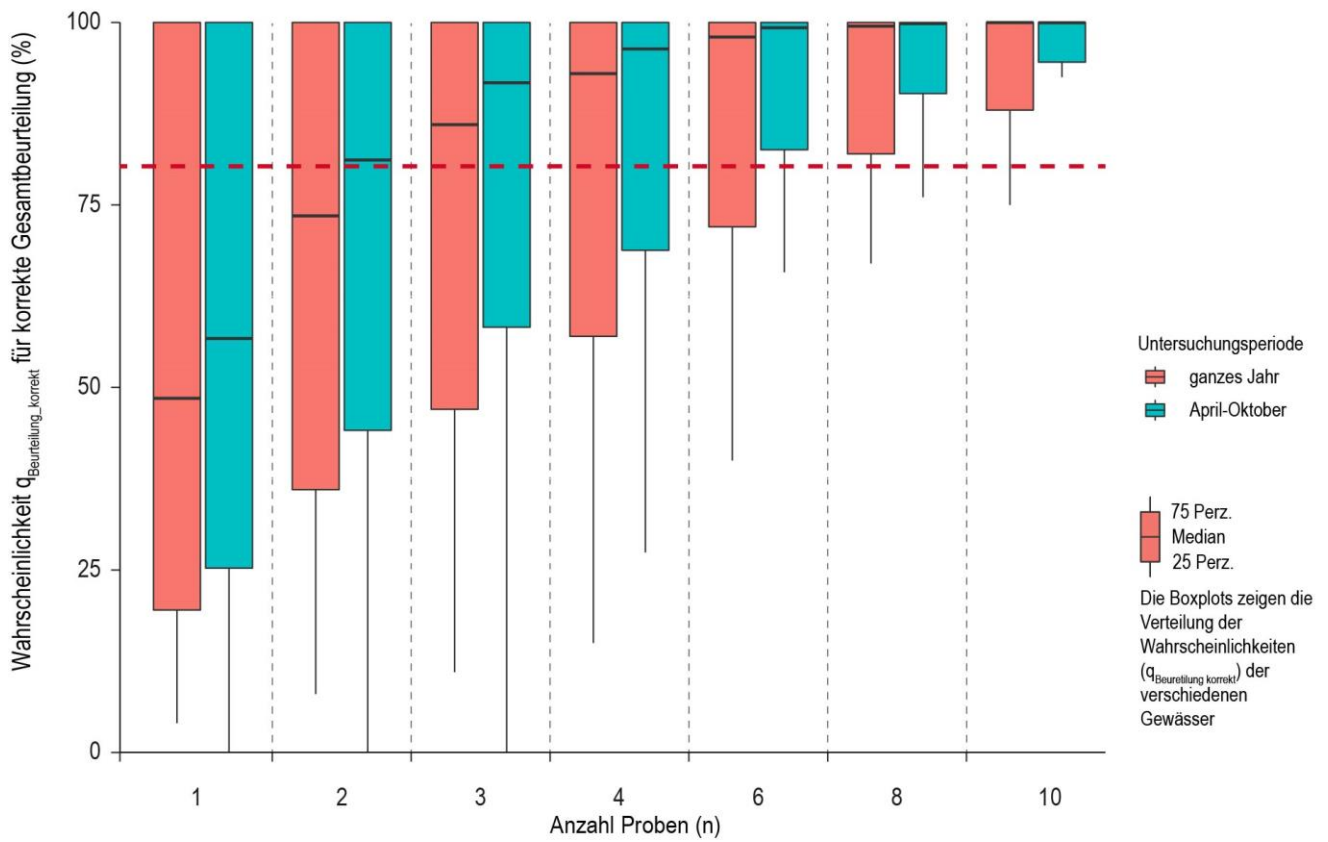


Abbildung 9. Resultate der statistischen Analyse nach Untersuchungsperiode, um die Mindestanzahl an Zweiwochenmischproben bei andauernder Verunreinigung zu bestimmen.

Die Boxplots stellen die Wahrscheinlichkeitsverteilung dar, mit der bei  $n$  Proben die Gesamtbeurteilung korrekt ist. Die rot gestrichelte Linie entspricht der Wahrscheinlichkeit von 80 %, die bei mindestens acht Proben bei den meisten Gewässer erreicht wird.

## 6. Literaturverzeichnis

- Alder S.**, Herweg K., Liniger H., Prasuhn V. 2013: Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Gewässeranschlusskarte der Erosionsrisikokarte der Schweiz (ERK2) im 2x2-Meter-Raster. Universität Bern und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Bern und Zürich: 37 S.
- Anliker S.**, Loos M., Comte R., Ruff M., Fenner K., Singer H. 2020a: Assessing Emissions from Pharmaceutical Manufacturing Based on Temporal High-Resolution Mass Spectrometry Data. *Environmental Science & Technology* 54(7), 4110–4120.
- Anliker S.**, Patrick M., Fenner K., Singer H. 2020b: Quantification of Active Ingredient Losses from Formulating Pharmaceutical Industries and Contribution to Wastewater Treatment Plant Emissions. *Environmental Science & Technology* 54(23), 15046–15056.
- BAFU 2020a:** Erläuternder Bericht zur Verordnung des UVEK über die Änderung von Anhang 2 Ziffer 11 Absatz 3 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201). Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern: 9 S.
- BAFU (Hrsg.) 2019:** Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer Makrozoobenthos – Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 1026, Bern: 59 S.
- BAFU 2020b:** Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA – Daten Mikroverunreinigungen 2018–2019. Bundesamt für Umwelt BAFU, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-fliessgewaesser/wasserqualitaet-der-fliessgewaesser/mikroverunreinigungen-in-fliessgewaessern.html> [Stand 28.2.2022].
- Braun C.**, Gälli R., Leu C., Schindler Y., Wittmer I., Strahm I., Munz N. 2015: Mikroverunreinigungen in Fliessgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Umwelt-Zustand Nr. 1514, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern: 80 S.
- BUWAL 1998:** Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern: 43 S.
- Dax A.**, Stravs M., Stamm C., Ort C., la Cecilia D., Singer H. 2020: MS2field: Mikroverunreinigungen mobil messen – Zeitlich hochaufgelöste Messungen zeigen relativistisches Ausmass akuter Gewässerbelastungen. *Aqua & Gas* 12, 14–19.
- Doppler T.**, Camenzuli L., Hirzel G., Krauss M., Lück A., Stamm C. 2012: Spatial variability of herbicide mobilisation and transport at catchment scale: insights from a field experiment. PhD Thesis. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000053856>.

**Doppler T.**, Dietzel A., Wittmer I., Grelot J., Rinta P., Kunz M. 2020: Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring – Ausbau der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA TREND und erste Resultate 2018. *Aqua & Gas* 7/8, 44–53.

**Doppler T.**, Mangold S., Wittmer I., Spycher S., Comte R., Stamm C., Singer H., Junghans M., Kunz M. 2017: Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring – NAWA-SPEZ-Kampagne untersucht Bäche in Gebieten intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. *Aqua & Gas* 4, 46–56.

**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 BAFU, Bern: 105 S.

**Ilg C.**, Maurer V., Menetrey N., Elber F., Sturzenegger M., Flury R., Alter R., Küng M. 2021: Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter – Modul Gewässeruntersuchungen. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg: 66 S.

**Junghans M.**, Wittmer I. in Vorb.: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer – Ökotoxikologische Beurteilung von Spurenstoffen. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) und Oekotoxzentrum, Dübendorf.

**Liechi P. 2010:** Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fließgewässern – Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern: 44 S.

**Liess M.**, van der Ohe P. 2005: Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(4), 954–965.

**Oekotoxzentrum 2020:** Vorschläge für Qualitätskriterien.  
<https://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/> [Stand 28.2.2022].

**Ort C.** 2007: Mikroverunreinigungen – Nationales Stoffflussmodell. *Aqua & Gas* 11, 853–859.

**Rösch A.**, Beck B., Hollender J., Stamm C., Singer H., Doppler T., Junghans M. 2019: Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung. Nachweis von Pyrethroid- und Organophosphat-Insektiziden in Schweizer Bächen im pg/L-Bereich. *Aqua & Gas* 11, 54–66.

**Sinniger J.**, Niederhauser P. 2011: Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Töss bei Freienstein und Aabach bei Mönchaltorf. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Zürich: 65 S.

**Spycher S.**, Mangold S., Doppler T., Junghans M., Wittmer I., Stamm C., Singer H. 2018: Pesticide Risks in Small Streams-How to Get as Close as Possible to the Stress Imposed on Aquatic Organisms. *Environmental Science & Technology* 52(8), 4526-4535.

**Strahm I.**, Munz N., Leu C., Wittmer I., Stamm C. 2013: Landnutzung entlang des Schweizer Gewässernetzes. *Aqua & Gas* 5, 36–44.

**VSA 2019:** Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter – Richtlinie. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.

**Wittmer I.K.**, Bader H.P., Scheidegger R., Singer H., Lück A., Hanke I., Carlsson C., Stamm C. 2010: Significance of urban and agricultural land use for biocide and pesticide dynamics in surface waters. *Water Research* 44, 2850-2862.

**Wittmer I.**, Junghans M., Stamm C., Singer H. 2014: Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf: 107 S.

**Wunderlin P.**, Gulde R., Zimmermann-Steffens S. 2022: Situationsanalyse: Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in Gewässer. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.