

Gewässer in der Schweiz

Zustand und Massnahmen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Gewässer in der Schweiz

Zustand und Massnahmen

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren und Redaktion

Yael Schindler Wildhaber, Christian Leu, Manuel Kunz

Mitautoren

Simone Baumgartner, Martin Barben, Damian Dominguez, Patrick Fischer, Thilo Herold, Anke Hofacker, Caroline Kan, Ronald Kozel, Bänz Lundsgaard-Hansen, Lucie Lundsgaard-Hansen, Stephan Müller, Nicole Munz, Reto Muralt, Edith Oosenbrug, Päivi Rinta, Miriam Reinhardt, Marie-Sophie Renevier, Carlo Scapozza, Marc Schürch, Corin Schwab, Florian Rüdiger Storck, Gregor Thomas, Stephanie Zimmermann, Saskia Zimmermann-Steffens

Dank

Die Autoren bedanken sich bei den folgenden Personen für ihre wertvollen Beiträge bei der Erstellung des Berichts:

Silwan Daouk, Anne Dietzel, Christiane Ilg, Tobias Doppler und Irene Wittmer (VSA Plattform Wasserqualität);

Cindy Aebischer, Aysel Güler, Murielle Heimo, Urs Helg und Caroline Liebich (BAFU);

Evi Binderheim (Sponsolim Umweltconsulting);

Remo Wüthrich (gutwasser GmbH);

sowie der Leitungsgruppe Gewässerbeurteilung Schweiz (LGB).

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2022: Gewässer in der Schweiz. Zustand und Massnahmen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 2207: 90 S.

Titelbild

Kajak auf dem Lac de Derborence

© KEYSTONE/Patrick Gueller

Gestaltung

Funke Lettershop AG

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-2207-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2022

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	5	Auswirkungen des Klimawandels	52	
		5.1	Temperatur	53	
Vorwort	6	5.1.1	Fliessgewässer	53	
		5.1.2	Seen	54	
1 Einleitung	7	5.1.3	Grundwasser	55	
1.1	Gewässer unter Druck, Massnahmen sind eingeleitet	8	5.2	Abflüsse und Wasserstände	56
1.2	Gesetzlicher Auftrag und Ziele des Gewässerberichts	12	5.2.1	Fliessgewässer	56
		5.2.2	Seen	57	
		5.2.3	Grundwasser	57	
		5.3	Gewässerorganismen	59	
2 Gewässerzustand: Daten- und Beurteilungsgrundlagen	13	6	Stand der umgesetzten Massnahmen zu Schutz und Aufwertung der Gewässer	61	
2.1	Monitoringprogramme	14	6.1	Entwässerung von Siedlungen und Verkehrswegen	62
2.2	Kriterien zur Beurteilung des Gewässerzustands	16	6.2	Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen	63
2.2.1	Beurteilungskriterien für Stoffe mit Grenzwerten	16	6.3	Massnahmen gegen Verunreinigungen aus Industrie und Gewerbe	64
2.2.2	Beurteilungskriterien für Stoffe ohne Grenzwerte	16	6.4	Schutzzonen und Zuströmbereiche für die Trinkwasserversorgung	65
2.2.3	Beurteilungskriterien für Lebensgemeinschaften in Oberflächengewässern	16	6.5	Revitalisierungen	67
		6.6	Gewässerraum	68	
		6.7	Wasserentnahmen und Restwasser	69	
		6.8	Sanierungsmassnahmen: Fischwanderung, Schwall-Sunk und Geschiebe	70	
3 Wasserqualität	18	7	Beispiele erfolgreicher Gewässerschutzmassnahmen	71	
3.1	Mikroverunreinigungen	19			
3.1.1	Fliessgewässer	19			
3.1.2	Seen	23			
3.1.3	Grundwasser	26			
3.2	Nährstoffe	31			
3.2.1	Fliessgewässer	31			
3.2.2	Seen	32			
3.2.3	Grundwasser	32			
3.3	Kunststoffe	34			
3.4	Badegewässerqualität	35			
4 Biologischer Gewässerzustand	36	8	Fazit und Handlungsbedarf	75	
4.1	Biodiversität in und an den Gewässern	37	8.1	Beurteilung des Gewässerzustands: Zusammenfassung	76
4.2	Fliessgewässer	38	8.2	Handlungsbedarf	77
4.2.1	Kieselalgen	38			
4.2.2	Makrozoobenthos	39	9	Literatur	80
4.2.3	Wasserpflanzen	42			
4.2.4	Fische	43	10	Bildnachweis	85
4.2.5	Gesamtbetrachtung	46			
4.3	Seen	48			
4.4	Invasive gebietsfremde Pflanzen und Tiere	49			

Abstracts

This report describes the condition of Swiss waterbodies – rivers, lakes and groundwater. It also provides an overview of the ongoing measures that are helping to improve the condition of waterbodies. Considerable progress has already been made. Nevertheless, many waterbodies continue to be polluted with nutrients and micropollutants. Rivers are obstructed, straightened, and impaired by hydroelectric installations. This and the effects of climate change are putting increasing strain on both drinking water resources and biodiversity in waterbodies. Greater effort still needs to be made to improve the condition of waterbodies. Many of the necessary measures have already been launched.

Der vorliegende Bericht beschreibt den Zustand von Schweizer Gewässern – von Fließgewässern, Seen und Grundwasser. Er gibt zudem einen Überblick über die laufenden Massnahmen, die dazu beitragen, dass sich der Gewässerzustand verbessert. Es wurde bereits Beträchtliches erreicht. Trotzdem sind viele Gewässer weiterhin mit Nährstoffen und Mikroverunreinigungen verunreinigt. Sie sind verbaut, begradigt und durch die Wasserkraft beeinträchtigt. Dadurch – und zunehmend auch durch den Klimawandel – stehen sowohl die Trinkwasserressourcen wie auch die Biodiversität in den Gewässern unter Druck. Es sind weiterhin grosse Anstrengungen nötig, um den Gewässerzustand zu verbessern. Viele der notwendigen Massnahmen wurden bereits eingeleitet.

Ce rapport décrit l'état des cours d'eau, des lacs et des eaux souterraines de Suisse. Il donne par ailleurs une vue d'ensemble des mesures en cours qui contribuent à améliorer l'état de ces eaux. Bien que des progrès considérables aient déjà été réalisés, de nombreuses eaux suisses sont encore contaminées par des nutriments et des micropolluants. Les eaux sont souvent aménagées, canalisées ou perturbées par l'utilisation de la force hydraulique. Cette situation, qui s'accroît avec les changements climatiques, exerce une pression sur les ressources en eau potable et sur la biodiversité aquatique. Des efforts importants sont encore nécessaires pour améliorer l'état des eaux de Suisse. Les mesures requises sont déjà engagées en grand nombre.

Il presente rapporto descrive lo stato delle acque svizzere: corsi d'acqua, laghi, acque sotterranee. Fornisce inoltre una panoramica sulle misure in corso di attuazione che contribuiscono a migliorare lo stato delle acque. Molti obiettivi sono già stati raggiunti, ma molte acque sono tuttora contaminate da nutrienti e microinquinanti. Inoltre, sono arginate, interrate e compromesse a causa del loro utilizzo ai fini della produzione di elettricità. Per tali ragioni e sempre più anche a causa dei cambiamenti climatici, le risorse di acqua potabile e la biodiversità acquatica sono sotto pressione. Per migliorare lo stato delle acque sono pertanto necessari notevoli sforzi supplementari. Numerose misure necessarie sono già state avviate.

Keywords:

Monitoring, rivers, lakes, groundwater, water quality, climate change, water ecology, water protection measures

Stichwörter:

Monitoring, Fließgewässer, Seen, Grundwasser, Wasserqualität, Klimawandel, Gewässerökologie, Gewässerschutzmassnahmen

Mots-clés :

monitoring, cours d'eau, lacs, eaux souterraines, qualité des eaux, changements climatiques, écologie des eaux, mesures de protection des eaux

Parole chiave:

monitoraggio, corsi d'acqua, laghi, acque sotterranee, qualità delle acque, cambiamenti climatici, ecologia delle acque, misure di protezione delle acque

Vorwort

Das Glitzern einer Wasseroberfläche erinnert uns an den Glanz von Perlen – kein Wunder also, erholen wir uns gerne an Gewässern. Dazu ist in der Schweiz reichlich Gelegenheit. Baden in Flüssen und Seen ist in unserem Land wieder zu einem selbstverständlichen Vergnügen geworden. Dass sich die Wasserqualität in den vergangenen Jahrzehnten derart verbessert hat, ist ein Verdienst des Gewässerschutzes.

Dennoch gibt es in der Schweiz trotz dieser Erfolge nur noch wenige unberührte, nicht beeinträchtigte Gewässer. Ein Grossteil der Gewässer ist kanalisiert, künstlich verbaut oder durch die Wasserkraft beeinträchtigt. Die Folgen: Tiere und Pflanzen, die in und an Gewässern leben, sind in hohem Masse gefährdet. Als Reaktion auf diesen Negativtrend, wurde 2011 der Auftrag zur Renaturierung von Gewässerabschnitten in der Gewässerschutzgesetzgebung verankert. Seither werden Flüsse und Bäche revitalisiert, den Gewässern mehr Raum verschafft und negative Auswirkungen der Wasserkraftnutzung reduziert.

Jedoch gilt nicht jedes Gewässer, das in der Sonne glitzert, automatisch auch als sauber. Sie werden durch Spuren einer Vielzahl von Stoffen verunreinigt. Entsprechende Grenzwerte werden verbreitet überschritten. Das gefährdet nicht nur Tiere und Pflanzen, auch die Gewinnung von Trinkwasser ist zunehmend unter Druck.

Wie es um unsere Gewässer steht, wissen wir dank nationalen und kantonalen Monitoringprogrammen sowie wissenschaftlichen Studien. Wir kennen heute die Defizite in Flüssen, Seen und dem Grundwasser und können aufzeigen, wo der Hebel angesetzt werden sollte, um deren Zustand zu verbessern.

Genau diesem Ziel dient der Bericht: Er beurteilt den Zustand der Schweizer Gewässer, er zeigt die bereits messbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässertemperaturen, auf die Abflüsse und auf die Gewässerorganismen auf und er veranschaulicht, wie die Massnahmen des Gewässerschutzgesetzes greifen. Es stehen zwar griffige Instrumente zur Verbesserung des Gewässerzustands bereit, zum Beispiel, indem die Reinigungsleistung der Abwasserreinigungsanlagen weiter verbessert wird. Doch deren vollständige Umsetzung stellt eine Mehrgenerationenaufgabe dar. Dieser Bericht zeigt auf, wie die Umsetzung voranschreitet.

Damit sich der Zustand unserer Gewässer umfassend verbessert, braucht es jedoch nicht nur gesetzliche Bestimmungen und die öffentliche Hand. Auch das Engagement auf allen föderalen Stufen, diverser Akteure aus der Land- und Wasserwirtschaft und letztlich von uns allen, ist dabei nötig. Gewässer können nur in einen naturnahen Zustand zurückgeführt werden, wenn wir uns gemeinsam für ihren Schutz einsetzen.

Katrin Schneeberger, Direktorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einleitung

Gewässer liefern Trinkwasser, gestalten die Landschaft und bilden Lebensraum für Tiere und Pflanzen. Zudem bieten sie Erholungsraum und sind Tourismusziele. Um all diesen Aufgaben gerecht zu werden, müssen sie naturnah sein. Gewässer liefern aber auch die Grundlage für wirtschaftliche Aktivitäten, so ermöglichen sie etwa die Stromproduktion oder werden zu Kühl- und Wärmezwecken genutzt. Der vorliegende Bericht belegt mit aktuellen Daten, wie es um die Schweizer Gewässer bestellt ist. Ergänzend zeigt der Bericht, inwieweit die Gewässer vor Verunreinigungen geschützt und die Lebensräume aufgewertet werden konnten.

1.1 Gewässer unter Druck, Massnahmen sind eingeleitet

Wertvolle Schweizer Gewässer

Die umfangreichen Wasserressourcen der Schweiz sind von immensem Wert für Gesellschaft, Wirtschaft und Natur. So sind im Untergrund rund 150 Milliarden Kubikmeter Grundwasser gespeichert. Etwa 80 Prozent des gesamten Schweizer Trinkwassers stammen aus dem Grundwasser – auch deshalb ist der Schutz dieser Ressource zentral.

Die Schweiz ist das Wasserschloss Europas. Hier entspringen Flüsse wie Rhone, Rhein, Ticino und Inn, die für den europäischen Kontinent von grosser Bedeutung sind. Sie bilden in der Schweiz zusammen mit kleineren Flüssen und Bächen ein weit verästeltes Netz mit einer Gesamtlänge von rund 65 000 Kilometern. Dazu kommen die über 6 000 stehenden Gewässer – von vielen kleinen bis zu den grossen, tiefen und kühlen Seen. Die Bäche, Flüsse, Seen und ihre Uferbereiche haben nicht nur für die Biodiversität einen grossen Stellenwert, sondern sind auch für den Tourismus und als Erholungsraum attraktiv. Zudem werden die Gewässer intensiv zur Stromproduktion genutzt und dienen zum Heizen und Kühlen. Die Schweiz trägt eine grosse Verantwortung dafür, all diese Gewässerfunktionen für Gesellschaft, Wirtschaft und Natur zu erhalten – nicht nur innerhalb der Landesgrenzen, sondern auch darüber hinaus.

Gewässerverbauungen und Wasserkraftnutzung: Umdenken findet statt

Die vielfältige Nutzung der natürlichen Ressource Wasser durch den Menschen, hat zu grossen Veränderungen im Landschaftsbild (Abb. 1) und gleichzeitig zu einem Verlust von einzigartigen Lebensräumen für Tiere und Pflanzen geführt. Seit dem 18. Jahrhundert erfolgten Gewässerkorrekturen im grossen Stil. Während zu Beginn der Schutz vor wiederkehrenden Überschwemmungen die Beweggründe waren, stand später immer mehr der Flächengewinn für Landwirtschaft und Siedlungen im Vordergrund. Flüssen und Seen gingen im Zuge dieser Entwicklung ein Teil ihrer natürlichen, strukturellen Lebensraumvielfalt verloren. Die Fläche der Auengebiete hat beispielsweise seit 1850 in der Schweiz insgesamt um rund 90 Prozent abgenommen (Müller-Wenk et al., 2003).

Ab dem 19. Jahrhundert wurde zudem stark in die Wasserkraft investiert, mit zum Teil negativen Folgen für die Gewässer. Zwischen dem Entnahme- und dem Rückgabeort des Wassers – in den sogenannten Restwasserstrecken – verbleibt nur ein kleiner Teil des natürlichen Abflusses im Gewässer. Staumauern, Dämme, Wehre, Schwellen und Rampen stellen Hindernisse für Fische und andere Lebewesen dar und halten Gesteinsmaterial (Geschiebe) zurück. Speicherkraftwerke verursachen zudem oft künstliche Abflussschwankungen (Schwall-Sunk), durch die Gewässerlebewesen auf trockenfallenden Kiesbänken stranden können.

Die Verbauungen und die Wasserkraftnutzung sind eine Hauptursache dafür, dass viele Lebewesen in und an den Gewässern bedroht oder bereits ausgestorben sind. So gehören Fische und Krebse zu den am meisten gefährdeten Arten in der Schweiz.

In den 1990er Jahren setzte langsam ein Umdenken ein. Gewässer sollen als Lebensräume und Landschaftselemente respektiert und die Wasserkraftnutzung sowie der Hochwasserschutz möglichst naturnah realisiert werden (Abb. 2). Inzwischen werden Hochwasserschutzprojekte von Bund und Kantonen nur noch finanziert, wenn dadurch auch der Gewässerlebensraum aufgewertet wird. Die Tatsache, dass sich unser Umgang mit Flüssen, Bächen und Seen verändert hat, zeigt nicht zuletzt die 2011 in Kraft getretene Änderung des Gewässerschutzgesetzes (GSchG). Es verfolgt heute einen Kompromiss zwischen Nutzen und Schützen: Ein Viertel der verbauten Schweizer Gewässerstrecken – insgesamt 4 000 km – muss bis in 50 Jahren revitalisiert sein, Gewässer bekommen mehr Raum und die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung müssen bis 2030 reduziert werden.

Wasserqualität: Diverse Massnahmen umgesetzt und zusätzliche Massnahmen beschlossen

Auch zur Verbesserung der Wasserqualität wurde bereits viel beigetragen, doch sind noch längst nicht alle Probleme gelöst. Die Bilder von schäumenden Bächen und algenverseuchten Seen, welche die Schweiz noch in den 1980er Jahren aufrüttelten, sind dank grossen Investitionen bei der Siedlungsentwässerung und der Abwasserreinigung sowie dem Verbot von Phosphat in Waschmitteln verschwunden. Heute sind über 97 Pro-

zent der Bevölkerung an eine Abwasserreinigungsanlage (ARA) angeschlossen. Allerdings verunreinigen vor allem im Mittelland und in den Talebenen immer noch eine Vielzahl von Stoffen aus Siedlungen, Gewerbe- und Industriestandorten, Verkehrsinfrastruktur sowie von intensiv genutzten Landwirtschaftsflächen die Gewässer (Abb. 1). Diese Verunreinigungen tragen zum Artenverlust in den Gewässern bei und können die Trinkwasserqualität beeinträchtigen. Das Grundwasser – die wichtigste Schweizer Trinkwasserressource – kommt auch aus anderen Gründen zunehmend unter Druck. So wird durch die Zunahme von Siedlungsflächen und Verkehrswegen laufend Boden überbaut, der in der Folge seine Reinigungswirkung für verschmutztes Regenwasser verliert.

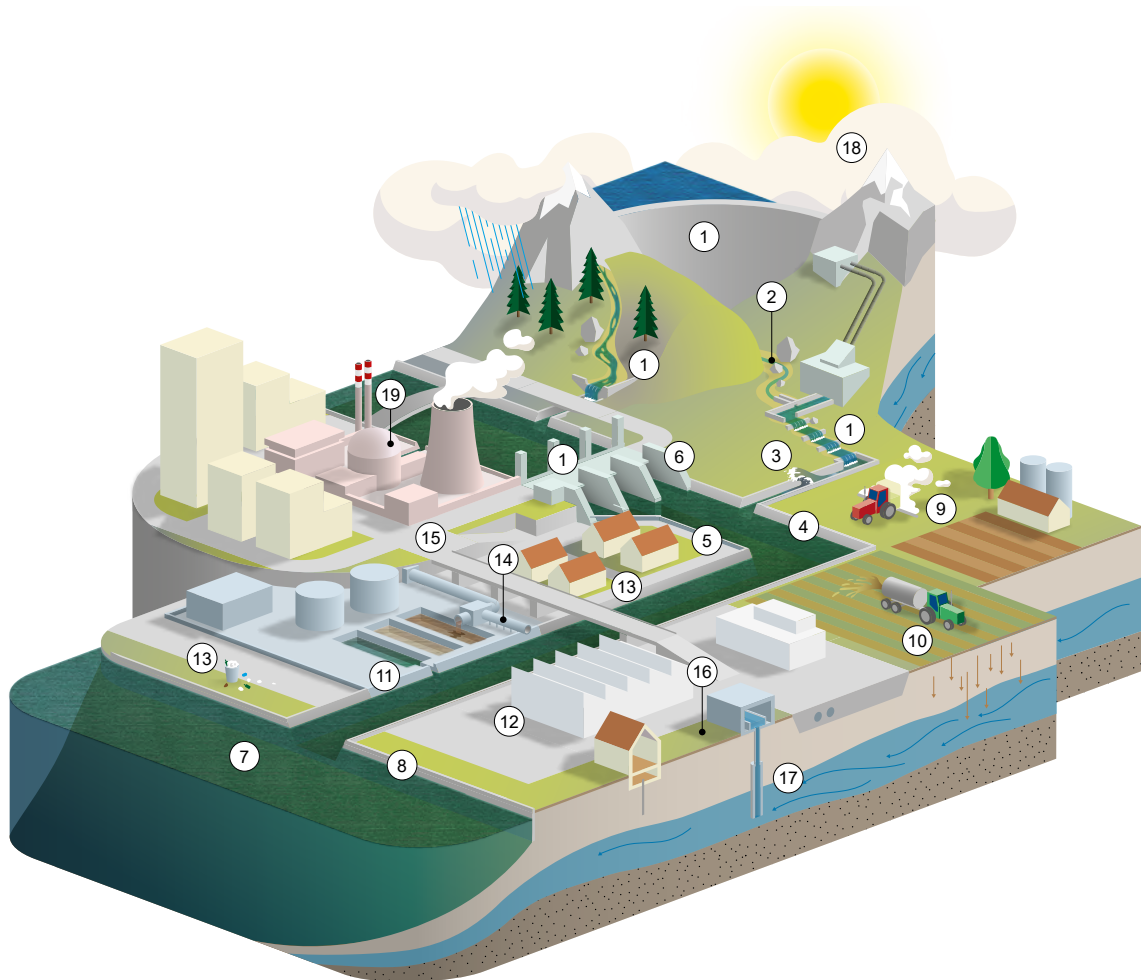
Um Gewässerverunreinigungen weiter zu reduzieren, wurden bereits verschiedene wichtige Massnahmen aufgelegt. So sieht das 2016 revidierte GSchG vor, dass ausgewählte Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe zur Entfernung von Mikroverunreinigungen¹ ausgestattet werden. Etliche Pestizide, die in der Vergangenheit Gewässer verunreinigt haben, wurden in den letzten Jahren mit Anwendungseinschränkungen oder -verboten belegt und im Jahr 2017 hat der Bundesrat den Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (AP PSM) in Kraft gesetzt. Das Parlament hat im Jahr 2021 zudem weitere Massnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität beschlossen, welche die bereits in die Wege geleiteten Massnahmen ergänzen. So sollen die ARA zukünftig noch mehr Stickstoff und Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser entfernen. Die Pestizid-Risiken für die Oberflächengewässer und die Belastung des Grundwassers sollen bis 2027 im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 2012–2015 um 50 Prozent vermindert werden. Um Grundwasser zukünftig besser vor Verunreinigungen zu schützen, sollen für alle regional wichtigen und für alle gefährdeten Grundwasserfassungen Zuströmbereiche festgelegt werden (Abb. 2).

Gewässerschutzgesetzgebung verfolgt UNO-Ziele für nachhaltige Entwicklung

Die heutige Gewässerschutzgesetzgebung zielt darauf ab, die auf die Gewässer einwirkenden nachteiligen Einflüsse möglichst zu reduzieren, damit die Gewässer wieder naturnah werden. Dies entspricht auch der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung der UNO, welche die politischen Schwerpunkte des Bundesrats für die nachhaltige Entwicklung setzt. Das Ziel 6 der Agenda besagt beispielsweise, dass sich die Wasserqualität weltweit verbessern muss und wasserverbundene Ökosysteme geschützt und wiederhergestellt werden müssen (United Nations UN, 2015). Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels gewinnen diese Ziele zusätzlich an Bedeutung: Nur in einem naturnahen Zustand ist es den Gewässern möglich, die anfangs genannten Funktionen, wie zum Beispiel die Bereitstellung von sauberem Trinkwasser, von Erholungsraum für die Bevölkerung und von Lebensraum für Tiere und Pflanzen, langfristig und trotz Klimawandel überhaupt erfüllen zu können.

¹ Der Begriff «Mikroverunreinigungen» umfasst Pestizide, Arzneimittel und weitere Chemikalien, die in sehr geringen Mengen im Gewässer vorkommen. Unter «Pestiziden» werden in diesem Bericht Wirkstoffe verstanden, die in Biozidprodukten oder Pflanzenschutzmitteln (PSM) verwendet werden.

Abb. 1: Menschliche Einflüsse auf die Gewässer im Überblick. Diese nicht abschliessende Darstellung zeigt Gewässer, die sich nicht mehr in einem natürlichen, unbeeinflussten Zustand befinden



a) Wasserkraft

1. Wasserentnahmen, Wanderhindernisse, gestörter Geschiebehaushalt
2. Ungenügendes Restwasser
3. Künstliche Abflussschwankungen (Schwall-Sunk)

b) Gewässerverbauungen und Abflussregulierung

4. Verbaute Flussufer
5. Ungenügender Gewässerraum
6. Querverbauungen als Wanderhindernisse
7. Künstliche Regulierung der Seepegel
8. Verbaute Seeufer

c) Stoffliche Verunreinigungen

9. Pestizide aus der Landwirtschaft
10. Nährstoffe via Dünger aus der Landwirtschaft
11. Mikroverunreinigungen, Nährstoffe, Kunststoffpartikel und andere Stoffe via gereinigtes Abwasser

12. Mikroverunreinigungen und andere Stoffe aus Industrie und Gewerbe via gereinigtes Abwasser
13. Mikroverunreinigungen, Kunststoffpartikel und andere Stoffe aus Siedlungsflächen
14. Mikroverunreinigungen, Nährstoffe und andere Stoffe aus Regenwasserentlastungen
15. Mikroverunreinigungen, Kunststoffpartikel und andere Stoffe aus Verkehrsflächen
16. Ungenügende Grundwasserschutzonen
17. Verunreinigtes Grundwasser bei der Trinkwasserfassung

d) Klimawandel, Wärme- und Kältenutzung

18. Steigende Temperaturen, verändertes Wasserdargebot
19. Thermische Kraftwerke, Industrieanlagen und Gebäude: Gewässernutzung zum Kühlen und Heizen

Abb. 2: Massnahmen für naturnahe Gewässer und nachhaltige Nutzung



a) Revitalisierung und ökologische Sanierung der Wasserkraft

1. Revitalisierung von Fliessgewässern und Seen
2. Gewässerraum: naturnah gestaltet und extensiv bewirtschaftet
3. Angemessene Restwassermengen
4. Sanierungsmassnahmen Fischwanderung, Schwall-Sunk und Geschiebehaushalt

b) Reinhaltung der Gewässer

5. Funktionierende und korrekte Entwässerung von Siedlungen ...
6. ... und Verkehrswegen
7. Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen
8. Reduktion der Emissionen aus Industrie und Gewerbe
9. Reduktion der Verunreinigungen durch die Landwirtschaft
10. Grundwasserschutz zonen und Zuströmbereiche für die Trinkwasserversorgung

1.2 Gesetzlicher Auftrag und Ziele des Gewässerberichts

Das Gewässerschutzgesetz beauftragt Bund und Kantone, die Auswirkungen der Massnahmen des Gesetzes zu prüfen und die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz und den Zustand der Gewässer zu informieren (Art. 50, GSchG). Vor diesem Hintergrund verfolgt der vorliegende Gewässerbericht zwei Ziele:

1. Beurteilung des Gewässerzustands (Kapitel 3 und 4) anhand von Daten aus nationalen Monitoringprogrammen, ergänzt mit Resultaten kantonaler Untersuchungen und wissenschaftlicher Studien (s. Kap 2.1). Bisher hat das BAFU über den Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers separat Bericht erstattet (Berichte der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA: Kunz et al., 2016; resp. der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA: BAFU (Hrsg.) 2019). Der vorliegende Gewässerbericht informiert erstmals über den Zustand der ober- und unterirdischen Gewässer in einem gemeinsamen Bericht. Zusätzlich zu aktuellen Daten über den chemischen und biologischen Zustand wird anhand mehrjähriger Messresultate auf bereits messbare Auswirkungen des Klimawandels wie Abflüsse, Temperatur und Biologie der Gewässer eingegangen (Kapitel 5).

2. Bestandsaufnahme zu den Massnahmen gemäss GSchG (Kapitel 6 und 7). Schwerpunkte des GSchG sind die Reinhaltung der Gewässer, die ökologische Sanierung der Wasserkraft (Wiederherstellung der Fischgängigkeit, Dämpfung von Abflussschwankungen bei der Wasserrückgabe (Schwall-Sunk), Geschiebetrieb unterhalb der Stau-mauer gewährleisten und genügend Restwasser unterhalb von Wasserentnahmen), sowie die Revitalisierung und das Ausscheiden des Gewässerraums. Im vorliegenden Bericht wird der Stand der Umsetzung dieser Massnahmen dargelegt. Die Gewässerbeurteilung und der Stand der umgesetzten Massnahmen führen zu **Fazit und dem noch verbleibenden Handlungsbedarf** für die Schweizer Gewässerschutzpolitik (Kapitel 8).

Die im Bericht verwendeten Daten, aber auch ergänzende Parameter, werden auf der Website des BAFU laufend aktualisiert. Der vorliegende Bericht kann nicht alle Themen rund um die Gewässer abdecken. Nicht behandelt wird etwa der Zustand von gewässernahen Ökosystemen, zum Beispiel von Auen oder von Amphibienlaichgebieten. Massnahmen zum Schutz vor Hochwasser (basierend auf dem Bundesgesetz über den Wasserbau), Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel (gemäss Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen) sowie die Massnahmen zum Schutz der einheimischen Tier- und Pflanzenwelt (gemäss Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz) sind ebenso wenig Bestandteil dieses Berichts, wie die Massnahmen zum Schutz von Fischen, Krebsen und Fischnährtieren sowie deren Lebensräumen (gemäss Bundesgesetz über die Fischerei). Hierzu wird auf folgende Internetseiten verwiesen:

- www.bafu.admin.ch > *Thema Biodiversität*
- www.bafu.admin.ch > *Thema Naturgefahren*
- www.bafu.admin.ch > *Thema Klima*

Weitere Informationen

- www.bafu.admin.ch > *Thema Wasser > Fachinformationen*
- www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/das-nccs/themen-schwerpunkte/hydro-ch2018.html

An underwater photograph showing a diver's mask and snorkel in clear blue water. The mask is in the foreground, and the snorkel is visible on the right. The water is clear and blue, with some light reflections on the mask and snorkel. The background shows some dark, possibly rocky or coral structures.

2 Gewässerzustand: Daten- und Beurteilungsgrundlagen

Die Beurteilung des Gewässerzustands stützt sich hauptsächlich auf die Resultate der nationalen Beobachtungsprogramme. Daten von kantonalen Untersuchungen und wissenschaftlichen Studien werden ergänzend beigezogen. Die Beurteilung erfolgt anhand der Anforderungen und Zielsetzungen der Gewässerschutzgesetzgebung sowie der Methoden und Vollzugshilfen, die daraus abgeleitet sind.

2.1 Monitoringprogramme

Für den vorliegenden Gewässerbericht wurden mehrheitlich Daten bis 2020 aus folgenden Monitoringprogrammen berücksichtigt:

Grundwasser

Die **Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA** erfasst seit mehr als zwanzig Jahren Zustand und Entwicklung von Grundwasserqualität und -quantität. NAQUA wird vom Bund in enger Zusammenarbeit mit den Kantonen betrieben. Das Langzeitmonitoring besteht aus den drei Modulen TREND, SPEZ und QUANT (BAFU (Hrsg.), 2019a). Neben den Grundwasserständen, Quellabflüssen und der Grundwassertemperatur werden primär Nitrat und Mikroverunreinigungen untersucht, je nach Parameter an bis zu 550 Messstellen (Tab. 1). Zusätzlich erlauben gezielte Spezialuntersuchungen, generell unerwünschte Entwicklungen und insbesondere das Vorkommen noch kaum untersuchter Mikroverunreinigungen und anderer Stoffe abzuklären. Aufgrund dieser Grundlage kann anschliessend entschieden werden, ob diese Stoffe in das Langzeitmonitoring miteinbezogen werden sollen (z. B. Kiefer et al., 2019).

Oberflächengewässer

Das **hydrologische Basismessnetz** des Bundes erfasst seit Jahrzehnten Abflussmengen in Flüssen und Bächen und dokumentiert Seepegel. Aktuell umfasst das Messnetz 260 Stellen. Ebenfalls seit Jahrzehnten dokumentiert der Bund die Temperatur der Fliessgewässer (**Messnetz Wassertemperatur**, aktuell rund 80 Messstellen).

Mit der **Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA** betreiben Bund und Kantone seit zehn Jahren ein gemeinsames Monitoringprogramm. Es besteht aus langfristig angelegten Daueruntersuchungen (Module

TREND und FRACHT/NADUF) zu Nährstoffen, Mikroverunreinigungen und biologischen Indikatoren für den ökologischen Gewässerzustand sowie Spezialkampagnen (SPEZ). Das Modul FRACHT/NADUF betreibt der Bund in Zusammenarbeit mit den beiden eidgenössischen Forschungsanstalten Eawag und WSL, um Stofffrachten in den grösseren Flüssen zu erheben. In NAWA integriert sind auch die biologischen Untersuchungen des Hochrheins, die im Rahmen des Rhein-Messprogramms Biologie der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) durchgeführt werden (Tab. 1; Rey et al., 2016).

Ergänzende Datenquellen

Daten aus den Fliessgewässeruntersuchungen des **Biodiversitäts-Monitorings Schweiz (BDM)** ergänzen die Daten der biologischen NAWA-Untersuchungen (Hutter et al., 2019). Weiter beurteilt das BAFU aufgrund kantonaler Daten die **Badwasserqualität von See- und Flussbadestellen**.

Da die **Seen** bisher nicht Teil des NAWA-Monitorings sind, stützt sich der Gewässerbericht in diesem Bereich auf die Daten der Kantone zu Nährstoffen, Sauerstoff, Mikroverunreinigungen, Temperatur und Biologie. Hierzu sind zum Teil Messreihen von über fünf Jahrzehnten vorhanden.

Wo möglich, wurden weitere Datenquellen verwendet – ohne Anspruch auf Vollständigkeit (s. Referenzen in den Kap. 3, 4 und 5). So wurden namentlich Berichte der kantonalen Gewässerschutzfachstellen sowie wissenschaftliche Studien beigezogen, beispielsweise zu Mikroverunreinigungen in Sedimenten oder zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässer (z. B. BAFU (Hrsg.), 2021b), aber auch zu Kunststoffen (insbesondere Mikroplastik), zum biologischen Zustand grosser Flüsse und zu invasiven, gebietsfremden Pflanzen und Tieren.

Tab. 1: Grundlagen für den Gewässerbericht: nationale und kantonale Monitoringprogramme

Der Begriff «Mikroverunreinigungen» umfasst Pestizide, Arzneimittel und weitere Chemikalien, die in sehr geringen Mengen im Gewässer vorkommen. Unter «Pestiziden» werden in diesem Bericht Wirkstoffe verstanden, die in Biozidprodukten oder Pflanzenschutzmitteln (PSM) verwendet werden.

Monitoringprogramm	Modul	Parameter, die im Bericht verwendet werden	Anzahl Messstellen	Beprobung
Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA von Bund und Kantonen BAFU (Hrsg.) (2019a)	TREND	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrat und andere anorganische Inhaltsstoffe • Mikroverunreinigungen • Grundwasserstand/ Quellabfluss • Temperatur 	• 50	<ul style="list-style-type: none"> • 1–4 Proben/Jahr • kontinuierlich
	SPEZ	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrat • Mikroverunreinigungen 	• 495	• 1–4 Probe/Jahr
	QUANT	<ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserstand/ Quellabfluss • Temperatur 	• 91 ²	• kontinuierlich
Hydrologisches Basismessnetz des Bundes BAFU (Hrsg.) (2021a)		<ul style="list-style-type: none"> • Wasserstände und Abflussmengen in den Flüssen und Seen 	• rund 260	• kontinuierlich
Temperaturmessnetz des Bundes BAFU (Hrsg.) (2021a)		<ul style="list-style-type: none"> • Wassertemperatur von Fließgewässern 	• rund 80	• kontinuierlich
Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität NAWA von Bund und Kantonen BAFU (2013), Doppler et al. (2020), Kunz et al. (2016)	TREND	<ul style="list-style-type: none"> • Nährstoffe • Mikroverunreinigungen • Bioindikatoren: Kieselalgen, Makrozoobenthos, Wasserpflanzen und Fische 	<ul style="list-style-type: none"> • 130 • 38 • 104, 107, 38, 63 	<ul style="list-style-type: none"> • 1x monatlich • kont. Sammelproben • alle 4 Jahre
	SPEZ	<ul style="list-style-type: none"> • Pestizide • Makrozoobenthos Kieselalgen und Fische 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 • 100, 81, 49 	<ul style="list-style-type: none"> • kont. Sammelproben • 1- bis 2-mal/Jahr
	FRACHT/NADUF	<ul style="list-style-type: none"> • Nährstoffe • Schwermetalle • pH-Wert, Sauerstoffgehalt, elektrische Leitfähigkeit 	• 22	<ul style="list-style-type: none"> • kontinuierliche Sammelproben • Livedaten
	Biologische Bestandsaufnahme Hochrhein im Rahmen des Rheinmessprogramms	<ul style="list-style-type: none"> • Phytoplankton • Makrozoobenthos • Kieselalgen • Jungfische • Wasserpflanzen 	• 9	• alle 5 Jahre
Trübungs- und Schwebstoffmessnetz des Bundes		<ul style="list-style-type: none"> • Trübung • Schwebstoffgehalt und -frachten 	• 14	<ul style="list-style-type: none"> • kontinuierlich • 2x/Woche
Biodiversitäts-Monitoring Schweiz BDM des Bundes		<ul style="list-style-type: none"> • Makrozoobenthos 	• ca. 500	• alle 5 Jahre
Seenüberwachung der Kantone		<ul style="list-style-type: none"> • Phosphor- und Sauerstoffkonzentrationen • Mikroverunreinigungen 	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 20 Seen • ca. 5 Seen 	<ul style="list-style-type: none"> • i. d. R. mehrmals/Jahr • i. d. R. mehrmals/Jahr
	Badegewässerqualität laut kantonalen Erhebungen	<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i> und intestinale Enterokokken 	• ca. 200	• mind. 4/Badesaison

² Z. T. überschneidend mit den Messnetzen TREND und SPEZ

2.2 Kriterien zur Beurteilung des Gewässerzustands

Der Zustand der Gewässer wird anhand der Anforderungen an die Wasserqualität und den geforderten ökologischen Zielen in den Anhängen 1 und 2 der Gewässerschutzverordnung (GSchV) beurteilt. Da die verschiedenen Beurteilungskriterien nicht dieselbe Verbindlichkeit haben, werden die darauf abgestützten Beurteilungen entsprechend unterschiedlich dargestellt (Tab. 2).

2.2.1 Beurteilungskriterien für Stoffe mit Grenzwerten

Die in Anhang 2 aufgeführten Anforderungen an die Wasserqualität sind rechtlich verbindlich. Wenn sie nicht eingehalten werden, gilt ein Gewässer als verunreinigt und die zuständigen Behörden sind verpflichtet, notwendige Massnahmen zur Einhaltung der Anforderungen zu ergreifen.

Für eine Reihe von Stoffen sind diese Anforderungen als maximal zulässige Konzentrationen, sogenannte numerische Anforderungen, im Anhang 2 der GSchV aufgeführt.³ Darüber hinaus enthält der Anhang aber auch allgemein formulierte Anforderungen in beschreibender Form. Diese allgemeinen Anforderungen wurden zum Teil zusätzlich konkretisiert, damit die Wasserqualität effektiv beurteilt werden kann. Solche Konkretisierungen sind für Nährstoffe und zur Beurteilung der Badegewässerqualität in Vollzugshilfen aufgeführt (Liechti, 2010, Schaffner et al., 2013). Eine weitere allgemeine Anforderung verlangt, dass Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, die Höchstwerte der Lebensmittelgesetzgebung einhalten muss, gegebenenfalls nach Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren. Bei Stoffen, für welche die GSchV keine numerische Anforderung enthält, gelten somit im Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, die Höchstwerte für Trinkwasser. Für als trinkwasserrelevant eingestufte Abbauprodukte (Metaboliten) von Pestiziden ist dies beispielsweise ein Höchstwert von 0,1 µg/l.

In diesem Bericht werden die in Anhang 2 GSchV aufgeführten numerischen Anforderungen und die aus allgemeinen Anforderungen abgeleiteten Werte als Grenzwerte bezeichnet, da sie rechtlich verbindlich sind. Ihre Beurteilung wird mit dem Farbschema Nr. 1 dargestellt (Tab. 2).

2.2.2 Beurteilungskriterien für Stoffe ohne Grenzwerte

Bei Stoffen, für die keine Grenzwerte rechtlich festgelegt wurden, werden Beurteilungskriterien verwendet, die sich so weit wie möglich an ähnlichen Stoffen orientieren, für die ein Grenzwert besteht. Zu den derart beurteilten Stoffen zählen beispielsweise die meisten Arzneimittel, sowie im Grundwasser jene Pestizidmetaboliten, die als nicht trinkwasserrelevant eingestuft sind.

Diese zusätzlichen Beurteilungskriterien sind keine rechtlich verbindlichen Grenzwerte. Werden sie überschritten, bedeutet dies in der Regel nicht, dass eine Verunreinigung des Gewässers vorliegt, bei welcher zwingend Massnahmen ergriffen werden müssen. Darum wird die Beurteilung dieser Stoffe im Bericht anhand des Farbschemas Nr. 2 ausgewiesen, das sich klar vom Farbschema Nr. 1 unterscheidet, mit dem die Beurteilung anhand der verbindlichen Grenzwerte dargestellt wird (Tab. 2).

2.2.3 Beurteilungskriterien für Lebensgemeinschaften in Oberflächengewässern

Gemäss den ökologischen Zielen von Anhang 1 GSchV, sollen die Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen in den Oberflächengewässern naturnah, standortgerecht und typisch für nicht oder nur schwach belastete Gewässer sein.⁴ Die für die Beurteilung dieser Ziele notwendigen Methoden wurden für Fliessgewässer im Modul-Stufen-Konzept (MSK)⁵ definiert. Für die Beurteilung wird die im MSK gebräuchliche fünfstufige Klassierung mit dem Farbschema Nr. 3 verwendet (Tab. 2).




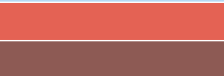
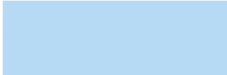


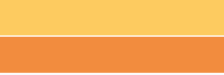





³ Anh. 2 Ziff. 11 Abs. 3, Ziff. 12 Abs. 5, Ziff. 13 Abs. 3 Bst. b und Ziff. 22 Abs. 2 GSchV

⁴ Anhang 1 Ziff. 1 Abs. 1 GSchV

⁵ www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Daten, Indikatoren und Karten > Methoden > Modul-Stufen-Konzept

Tab. 2: Die stoffliche Belastung der Gewässer und der biologische Zustand der Fliessgewässer werden im Bericht anhand dreier unterschiedlicher Schemata beurteilt

Für die Beurteilung von Stoffen werden grundsätzlich die zweistufigen Schemata 1 oder 2 angewendet. Um eine detailliertere Beurteilung zu ermöglichen, werden die zwei Abstufungen **Grenzwert/Beurteilungskriterium eingehalten** bzw. **nicht eingehalten** bei Bedarf nochmals mit einer zusätzlichen Abstufung des jeweiligen Farbtons (hell/dunkel) unterteilt. Für die Beurteilung des ökologischen Zustandes der Fliessgewässer wird das fünfstufige Schema gemäss Modul-Stufen-Konzept verwendet.

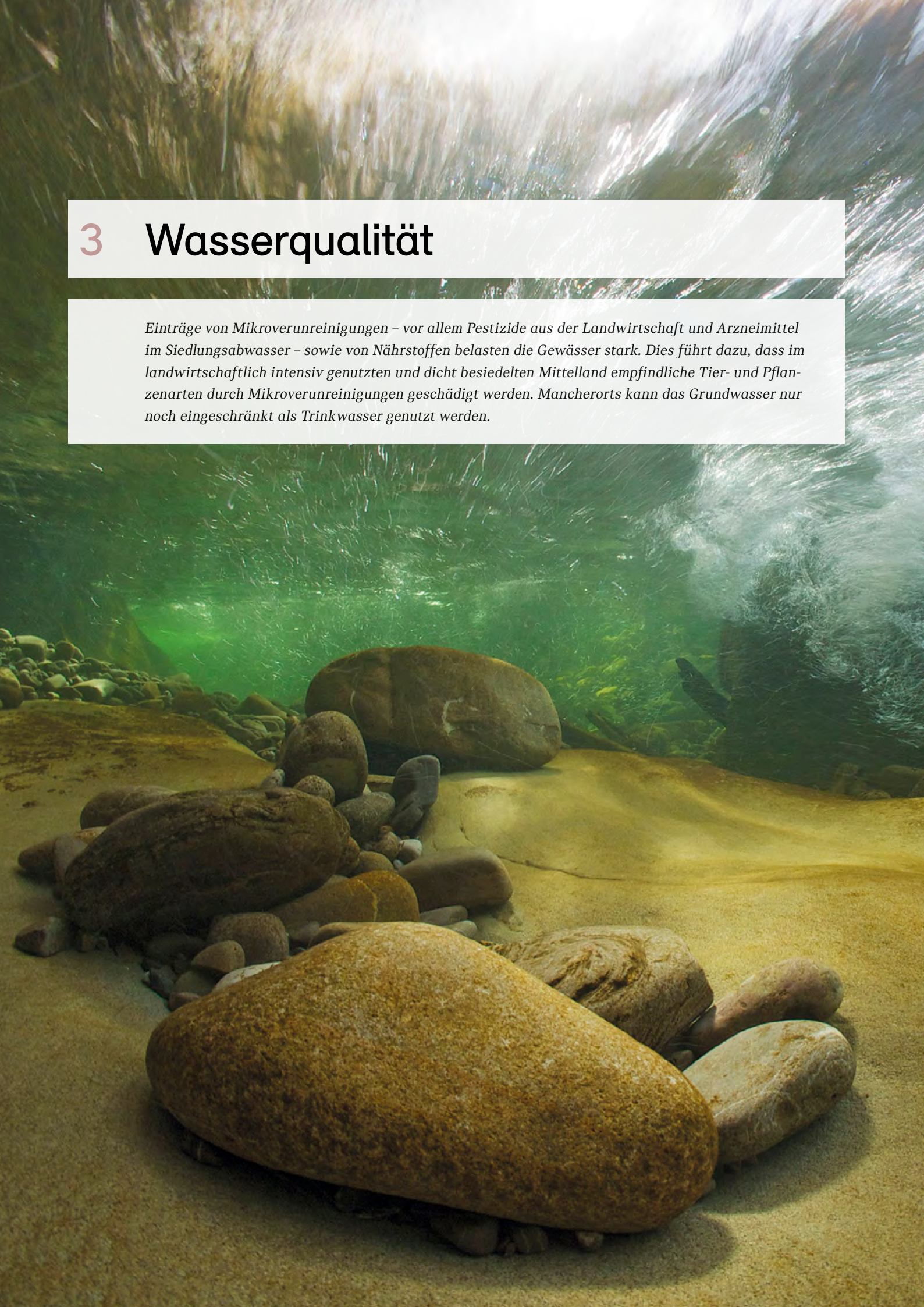
Zweck	Farbschema, mit möglicher Abstufung	Beurteilung	
1. Stoffe mit Grenzwerten			Grenzwert eingehalten
			Grenzwert überschritten
2. Stoffe ohne Grenzwerte			Beurteilungskriterium eingehalten
			Beurteilungskriterium überschritten
3. Lebensgemeinschaften in Fliessgewässern		Sehr gut	Ökologische Ziele gemäss Anhang 1 GSchV erfüllt
		Gut	
		Mässig	Ökologische Ziele gemäss Anhang 1 GSchV nicht erfüllt = ungenügender ökologischer Zustand
		Unbefriedigend	
	Schlecht		

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Daten, Indikatoren und Karten > Messnetze
- www.biodiversitymonitoring.ch
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Daten, Indikatoren und Karten > Methoden > Modul-Stufen-Konzept

3 Wasserqualität

Einträge von Mikroverunreinigungen – vor allem Pestizide aus der Landwirtschaft und Arzneimittel im Siedlungsabwasser – sowie von Nährstoffen belasten die Gewässer stark. Dies führt dazu, dass im landwirtschaftlich intensiv genutzten und dicht besiedelten Mittelland empfindliche Tier- und Pflanzenarten durch Mikroverunreinigungen geschädigt werden. Mancherorts kann das Grundwasser nur noch eingeschränkt als Trinkwasser genutzt werden.



3.1 Mikroverunreinigungen

In den Schweizer Gewässern können zahlreiche Mikroverunreinigungen nachgewiesen werden. In Bächen und kleinen Fließgewässern überschreiten vor allem Pestizide ihre ökotoxikologischen Grenzwerte, in grossen Flüssen hingegen einzelne Arzneimittel. In den betroffenen Fließgewässern werden empfindliche Tier- und Pflanzenarten einem zu hohen Risiko für Schädigungen durch diese Stoffe ausgesetzt. Das Grundwasser ist verbreitet mit den Abbauprodukten (Metaboliten) des Pestizids Chlorothalonil belastet.

3.1.1 Fließgewässer

Viele Gewässer des Mittellandes und der Talebenen sind mit Mikroverunreinigungen belastet. Dies zeigen die Ergebnisse der NAWA TREND-Untersuchungen (Box 1). 21 Mikroverunreinigungen überschritten im Jahr 2020 ihren in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) festgelegten ökotoxikologischen Grenzwert (Box 1). Nur in fünf der 33 untersuchten Gewässer wurden die Grenzwerte eingehalten.

Pestizide überschreiten Grenzwerte in vielen kleinen und mittelgrossen Fließgewässern

Am stärksten ausgeprägt sind Verunreinigungen durch Pestizide in den untersuchten kleinen und mittelgrossen Fließgewässern (Definition Pestizide vgl. Box 2). In fast allen diesen Gewässern überschritten Pestizide ihre ökotoxikologischen Grenzwerte (Abb. 3). Deutlich geringer ist die Pestizidbelastung in den grossen Fließgewässern. In der Mehrzahl dieser Gewässer überschritten keine Pestizide ihre ökotoxikologischen Grenzwerte. In der Rhone und Aare wurde jeweils ein Pestizid während zwei Wochen im Verlauf der Jahre 2018–2020 in Konzentrationen über 0,1 µg/l gemessen. Somit wurde in den drei grossen Flüssen (Rhein, Rhone, Aare) auch der trinkwasserbezogene Grenzwert für Pestizide (Box 1) mit zwei Ausnahmen immer eingehalten.

Box 1: Seit 2018 Mikroverunreinigungen im NAWA-Monitoringprogramm

Neu werden im Langzeit-Monitoringprogramm NAWA TREND auch Mikroverunreinigungen in Fließgewässern untersucht. Für den vorliegenden Bericht wurden Messungen von 33 Messstellen der Jahre 2018, 2019 und 2020 ausgewertet. Die Proben von allen 33 Messstellen werden auf 49 Pestizide, 13 Arzneimittel und 3 weitere Stoffe untersucht. In Proben von einigen Messstellen werden zusätzlich bis zu einigen Hundert weitere Mikroverunreinigungen gemessen, unter anderem auch künstliche Süsstoffe oder einzelne Industriechemikalien (Doppler et al., 2020)

Mikroverunreinigungen sind unterschiedlich giftig für Wasserlebewesen

Mikroverunreinigungen sind für die Wasserlebewesen sehr unterschiedlich giftig. So sind viele Stoffe, die in grossen Mengen über Kläranlagen in die Gewässer gelangen, etwa künstliche Süsstoffe, aus ökotoxikologischer Sicht wenig problematisch. Viele Pestizide und auch Arzneimittel hingegen sind schon in sehr tiefen Konzentrationen giftig für empfindliche Wasserlebewesen.

Neue Grenzwerte für Mikroverunreinigungen berücksichtigen die Giftigkeit

Seit April 2020 gelten für 19 Pestizide und 3 Arzneimittel ökotoxikologisch basierte Grenzwerte (Anh. 2 Ziff. 11 Abs. 3 Nr. 3 und 4 GSchV). Sie berücksichtigen die unterschiedliche Giftigkeit der Stoffe. Da die Effekte der Mikroverunreinigungen auch von der Dauer der Belastung abhängen, gilt für jeden der 22 Stoffe jeweils ein Grenzwert für kurzzeitige Belastungen (darf nie überschritten werden) und einer für andauernde Belastungen (darf gemittelt über zwei Wochen nicht überschritten werden). Für alle nicht neu geregelten, organischen Pestizide gilt wie bisher der generelle Grenzwert von 0,1 µg/l. In Gewässern, aus denen Trinkwasser gewonnen wird, gilt dieser Grenzwert – er entspricht dem Höchstwert für Trinkwasser – weiterhin auch als Obergrenze für die ökotoxikologisch geregelten Pestizide mit einem ökotoxikologisch basierten Grenzwert grösser als 0,1 µg/l.

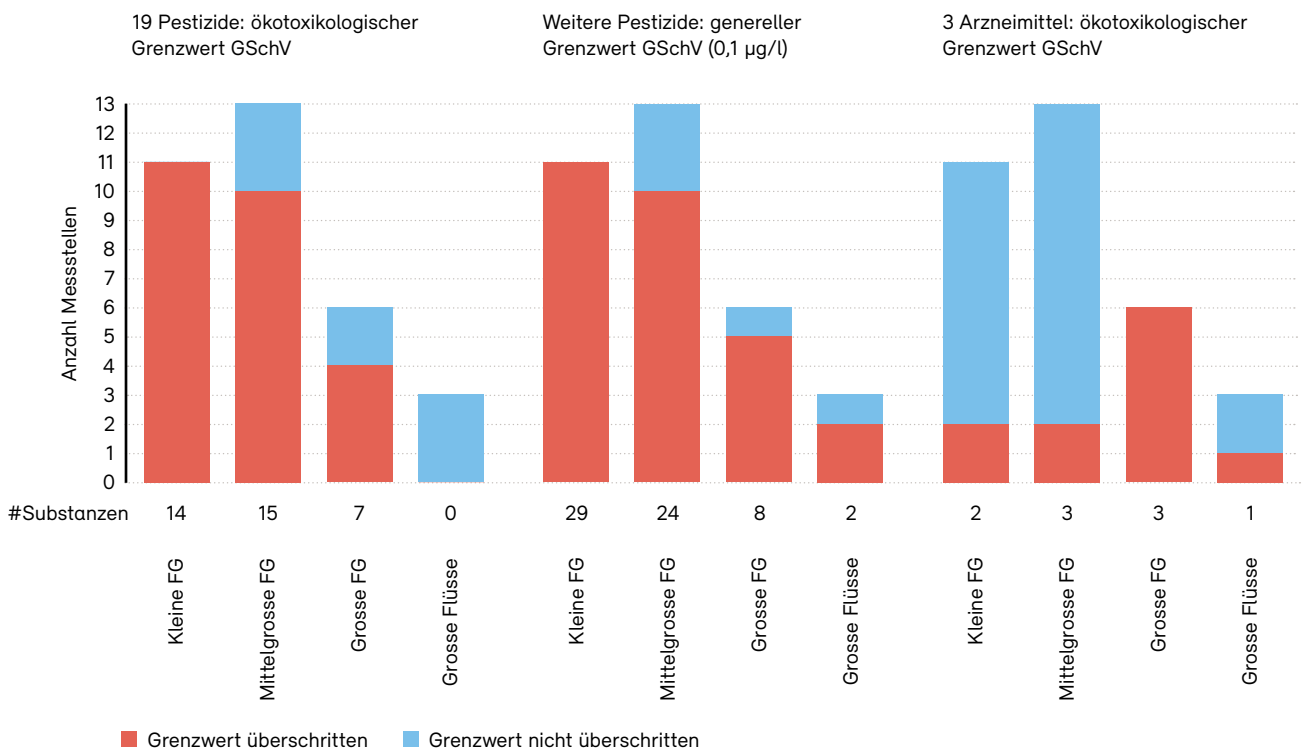
Box 2: Pestizide, Pflanzenschutzmittel, Biozide

Als Pestizide werden in diesem Bericht Stoffe bezeichnet, die in Pflanzenschutzmitteln (Schutz von Pflanzen) oder in Biozidprodukten (Schutz von Mensch/Tier/Material) als Wirkstoffe eingesetzt werden. Einige Wirkstoffe werden sowohl in Pflanzenschutzmitteln (PSM) wie auch in Biozidprodukten verwendet. Je nach Anwendungszweck wird im Bericht unterschieden, zwischen Wirkstoffen die gegen unerwünschte Pflanzen (Herbizide), gegen Insekten (Insektizide) oder gegen Pilzkrankheiten (Fungizide) wirken.

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in der Landwirtschaft ist die Hauptursache für die beobachtete Pestizidbelastung in den kleinen Bächen. In diese Bäche wird kein gereinigtes Abwasser aus Abwasserreinigungsanlagen (ARA) eingeleitet. Zudem überschreiten verschiedene ausschliesslich für den Einsatz als PSM zugelassene Pestizide ihre Grenzwerte. In Tabelle 3 ist für die gemessenen Pestizide angegeben, für welchen Bereich eine Anwendung im Jahr 2020 erlaubt war (Biozid, PSM, Tierarzneimittel). Heute dürfen viele der aufgeführten Pestizide nicht mehr eingesetzt werden oder der Entzug der Bewilligung wurde eingeleitet. Die Belastung durch diese Stoffe (bspw. Chlorpyrifos, Isoproturon, Thiaclopid) dürfte in Zukunft folglich abnehmen.

Auch die Anwendungen von Biozidprodukten können zu Überschreitungen der Grenzwerte führen. Da aber nur ein Pestizid, das ausschliesslich in Biozidprodukten eingesetzt wird, seinen ökotoxikologischen Grenzwert überschritten

Abb. 3: Pestizide überschreiten die Grenzwerte vor allem in kleinen und mittelgrossen Fließgewässern, Arzneimittel in grossen Fließgewässern
 Pro Fließgewässer jeder Grössenkategorie ist die Anzahl Messstellen, an denen Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt wurden, rot dargestellt. Unter den Balken ist pro Gewässertyp die Anzahl Substanzen (# Substanzen) aufgeführt, die über den Grenzwerten nachgewiesen wurden.



Daten: NAWA 2020

Tab. 3: Die 22 Mikroverunreinigungen mit ökotoxikologischen Grenzwerten unterscheiden sich bezüglich der maximalen Überschreitung des Grenzwertes (Verhältnis von Maximalkonzentration zu Grenzwert), der Anzahl Nachweise über den Grenzwerten und der Anzahl von Gewässern, in denen sie über ihrem Grenzwert nachgewiesen wurden

Dargestellt sind die Überschreitungen der Grenzwerte für die andauernde und die kurzzeitige Belastung (Box 1). Für jeden Stoff ist angegeben, ob die Anwendung als Biozid (B), Pflanzenschutzmittel (PSM), Tierarzneimittel (TA) oder Humanarzneimittel (HA) zum Zeitpunkt der Untersuchungen erlaubt war; n. b. = nicht bestimmbar, da es für Diclofenac keinen ökotoxikologischen Grenzwert für kurzzeitige Belastungen gibt.

	Wirkstoff	Wirkstoffgruppe	Maximale Überschreitung	# Überschreitungen des Grenzwerts für andauernde Belastungen	# Überschreitungen des Grenzwerts für kurzzeitige Belastungen	# Gewässer mit Überschreitungen
Pestizide	Azoxystrobin (B, PSM)	Fungizid	4,8	3	6	2
	Cyprodinil (PSM)	Fungizid	16	3	2	2
	Epoxiconazol (PSM)	Fungizid	2,3	2	3	2
	Diuron (B, PSM)	Algizid/Herbizid	2,1	9	3	5
	Isoproturon (B, PSM)	Algizid/Herbizid	1,3	1	–	1
	MCPA (PSM)	Herbizid	0,8	0	–	–
	Metazachlor (PSM)	Herbizid	17	23	3	7
	Metolachlor (PSM)	Herbizid	1,4	1	–	1
	Metribuzin (PSM)	Herbizid	16	11	2	6
	Nicosulfuron (PSM)	Herbizid	9,4	35	–	16
	Terbuthylazin (PSM)	Herbizid	22	12	4	5
	Terbutryn (B)	Algizid	3,3	6	–	1
	Chlorpyrifos (PSM)	Insektizid	21	73	11	9
	Cypermethrin (B, PSM)	Insektizid	22	21	7	7
	Diazinon (TA)	Insektizid	6,9	11	10	7
	Imidacloprid (B, PSM, TA)	Insektizid	3,4	21	–	3
	Pirimicarb (PSM)	Insektizid	1,4	1	–	1
	Thiacloprid (B, PSM)	Insektizid	11	15	3	6
Thiamethoxam (B, PSM)	Insektizid	5,7	13	–	3	
Arzneimittel	Azithromycin (HA)	Antibiotikum	4,8	26	–	4
	Clarithromycin (HA)	Antibiotikum	1,5	4	–	2
	Diclofenac (HA)	Schmerzmittel	34	163	n. b.	10

Daten: NAWA 2020

hat (Tab. 3), lässt sich die Bedeutung der Biozidanwendungen nicht abschliessend beurteilen. Auch für die Pestizide, die sowohl als PSM wie auch als Biozid eingesetzt werden, lässt sich nicht ausschliessen, dass Anwendungen als Biozid ebenfalls zu Überschreitungen der Grenzwerte geführt haben.

Nicht alle Pestizide überschritten Grenzwerte gleich häufig und gleich deutlich (Tab. 3). Beispielsweise sind drei Pestizide für die Hälfte aller Überschreitungen verantwort-

lich. Zudem gibt es Pestizide, die nur knapp über ihrem Grenzwert nachgewiesen wurden, andere hingegen überschreiten ihre Grenzwerte um das Zwanzigfache.

Von den fast 120 analysierten Pestiziden ohne ökotoxikologischen Grenzwert, wurden im Jahr 2020 44 über dem generellen Grenzwert für Pestizide von 0,1 µg/l nachgewiesen. Dies wiederum vorwiegend in kleinen und mittelgrossen Fließgewässern (Abb. 3). Für 20 dieser rund 120 Pestizide wurden Konzentrationen festgestellt, bei denen

eine Beeinträchtigung von Wasserlebewesen nicht ausgeschlossen werden kann. Knapp die Hälfte dieser 20 Pestizide sind ausschliesslich als PSM zugelassen.

Arzneimittel überschreiten Grenzwerte in vielen mittelgrossen und grossen Gewässern

Die drei in der GSchV geregelten Arzneimittel (Azithromycin, Clarithromycin, Diclofenac) überschritten die Grenzwerte mehrheitlich in mittelgrossen bis grossen Fliessgewässern (Abb. 2). Dabei verursachte das Schmerzmittel Diclofenac weitaus am meisten Überschreitungen des ökotoxikologischen Grenzwerts (Tab. 3).

An einigen NAWA TREND-Messstellen wurden bis zu 36 weitere Arzneimittel und 16 zusätzliche Mikroverunreinigungen wie bspw. Süsstoffe oder Industriechemikalien untersucht. Für zwei dieser Arzneimittel sowie einer Industriechemikalie wurden im Jahr 2020 Konzentrationen festgestellt, bei denen sich eine Beeinträchtigung von Wasserlebewesen nicht ausschliessen lässt.

Der Einfluss des kommunalen Abwassers auf die Arzneimittelkonzentrationen ist deutlich sichtbar: Je höher der Anteil an gereinigtem Abwasser in den Gewässern, desto höher liegen die Konzentrationen von Arzneimittelrückständen und umso häufiger werden deren Grenzwerte überschritten. Auch in kleinen Fliessgewässern ohne ARA-Einleitung können in seltenen Fällen Mischwasserereignisse bei Regenereignissen oder Fehlanschlüssen an die Regenwasserkanalisation punktuelle Überschreitungen von Arzneimitteln verursachen (Abb. 4).

Nebst Pestiziden und Arzneimitteln überschreiten auch Schwermetalle, insbesondere Kupfer und Zink, die entsprechenden Grenzwerte der GSchV und verunreinigen die Fliessgewässer zusätzlich (Box 3).

Mehrere Fliessgewässer permanent belastet

Die Belastung der untersuchten Gewässer ist sehr unterschiedlich. Es finden sich solche, in denen keine oder nur vereinzelte Überschreitungen von Grenzwerten festgestellt wurden. Hingegen wurden in mehreren Gewässern während der gesamten Untersuchungszeit Grenzwerte von mindestens einem Stoff nicht eingehalten (Abb. 4). Für Pflanzen und Tiere bedeutet dies, dass sie sich aufgrund der lang

Box 3: Rheinüberwachung und Bedeutung der industriellen Einleiter

An der internationalen Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (RÜS) werden im Rhein bei Basel mit modernster Analysetechnologie 680 Parameter gemessen, mehr als die Hälfte davon täglich. Zusätzlich wird täglich auch nach unbekanntem Stoffen gesucht (Screening). So wird eine Gesamtfracht von rund 140 Tonnen organischen Mikroverunreinigungen pro Jahr erfasst. Im Jahr 2020 führte der Rhein bspw. Jahresfrachten von 30 Tonnen des Komplexbildners EDTA, 17 Tonnen des Arzneimittelabbauprodukts Guanylarnstoff, 8 Tonnen der Industriechemikalie Melamin und 7 Tonnen des künstlichen Süsstoffs Acesulfam mit sich.

Mit der Screening-Methode werden immer wieder neue Stoffe nachgewiesen. Dabei handelt es sich auch um Stoffe, die aus der industriellen Produktion stammen, nur lokal von Bedeutung sind und deren Eintragsdynamiken sehr variabel sein können. Auf der Grundlage dieser Nachweise werden industrielle Einleiter identifiziert und die Verunreinigungen in Zusammenarbeit mit den Verursachern reduziert.

Eine Situationsanalyse zu industriellen Abwässern, die unter anderem auf die Resultate der RÜS aufbaut, bestätigt, dass mit Industrieabwässern bedeutende Mengen an Mikroverunreinigungen in einzelne Gewässer gelangen können. Dabei unterscheidet sich das Stoffspektrum je nach Produktionsstandort stark. In Einzelfällen kann die Giftigkeit der Stoffe für die Wasserlebewesen ein Problem sein. Meist liegt das Hauptproblem aber darin, dass diese hohe Mengen einzelner Stoffe auch in Gewässer gelangen, die der Trinkwassernutzung dienen (Wunderlin und Gulde, 2022).

andauernden Belastung nicht mehr erholen können. Das Schmerzmittel Diclofenac überschritt an sechs Messstellen praktisch während des ganzen Jahres seinen Grenzwert. Grund dafür ist der kontinuierliche Eintrag über das gereinigte Abwasser aus den ARA. Vor allem mittelgrosse und grosse Fliessgewässer im Mittelland mit einem hohen Anteil an gereinigtem Abwasser sind lang andauernden Belastungen mit Arzneimitteln ausgesetzt (z. B. Furtbach, Glatt, Mönchalt-dorfer Aa, Urtenen in Abb. 4). Aber auch Pestizide können

zu langanhaltenden Belastungen führen (Abb. 4). Dabei sind es aber oft verschiedene Stoffe, die nacheinander ihre Grenzwerte überschreiten.

Spezialuntersuchungen bestätigen hohes Risiko für schädigende Wirkung auf Gewässerlebewesen

Im Rahmen von Spezialkampagnen (NAWA SPEZ) wurde jeweils eine grössere Anzahl Pestizide als im Langzeitmonitoring (NAWA TREND) untersucht. Diese zeigten, dass Insektizide aus den Stoffgruppen der Pyrethroide und Organophosphate insgesamt die höchsten Risiken für Wasserlebewesen darstellen (Moschet et al., 2015, Rösch et al., 2019). Weiter bewies die Eawag mit einer neuen Messmethode in Echtzeit, dass kurzzeitige Konzentrationsspitzen mit der in NAWA TREND angewendeten Probenahme um mehr als das Hundertfache unterschätzt werden können. Das heisst, dass die Grenzwerte effektiv noch deutlicher überschritten werden, als mit NAWA TREND aufgezeigt wird (Dax et al., 2020). Schliesslich bestätigten weitere NAWA SPEZ-Studien, dass einzelne Pestizide nicht nur über längere Zeit in

zu hohen Konzentrationen vorkommen, sondern auch oft verschiedene Pestizide gleichzeitig zu hohe Risiken für die Gewässerlebewesen verursachen (Doppler et al., 2017, Spycher et al., 2019). Dies kann die schädigende Wirkung noch verstärken – insbesondere bei gleicher oder ähnlicher Wirkungsweise der Stoffe. Die schädigende Wirkung bestätigen denn auch biologische Untersuchungen in den Gewässern: So lebt in Gewässern, in deren Einzugsgebiet grosse Mengen PSM in der Landwirtschaft eingesetzt werden, eine geringere Anzahl an empfindlichen Wirbellosen (s. Kap. 4.2.2). In einer Forschungsarbeit wurde gezeigt, dass der Einfluss der Landwirtschaft auf die Artenvielfalt in der Schweiz grundsätzlich stärker ist als der Einfluss der ARA (Burdon et al., 2019).

Mikroverunreinigungen belasten auch Sedimente

Sedimentuntersuchungen des Oekotoxenzentrums von 20 Bächen zeigen, dass die Metalle Kupfer, Zink, Blei und Quecksilber sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und polychlorierte Bisphenyle (PCB) verbreitet in Sedimenten vorkommen. In einigen Fällen waren die Konzentrationen so hoch, dass die Lebewesen in und an der Gewässersohle dadurch geschädigt werden können (Casado-Martinez et al., in Erarbeitung). Eine Zusammenstellung kantonaler Sedimentmessdaten aus dem Jahr 2016 zeigt ein ähnliches Bild: In rund 6 Prozent der untersuchten Sedimente ist eine Schädigung dieser Lebewesen durch Kupfer, Zink und teilweise auch durch Blei wahrscheinlich. Die Blei- und Quecksilberkonzentrationen in Sedimenten waren im Gegensatz zu jenen von PAK, Kupfer und Zink in den letzten Jahren rückläufig. An den Standorten, in deren Einzugsgebieten die Landwirtschaft grosse Mengen PSM einsetzt, wurden zudem erhöhte Konzentrationen einzelner Pestizide im Sediment gemessen. (Casado-Martinez et al., 2016)

Box 4: Auch Schwermetalle überschreiten die Grenzwerte

In der GSchV sind nicht nur Grenzwerte für Pestizide und Arzneimittel festgelegt, sondern auch für Schwermetalle. Die Konzentrationen von Schwermetallen in den Fliessgewässern sind dank dem Anschluss der häuslichen Abwässer an ARA sowie dank optimierter Prozessabläufe in Industrie und Gewerbe zurückgegangen, so dass in den grossen Flüssen heute keine Überschreitungen der Grenzwerte mehr vorkommen (NADUF, 2019). Kantonale Untersuchungen in kleineren Flüssen und Bächen zeigen jedoch, dass Kupfer und Zink die entsprechenden Grenzwerte immer noch überschreiten und somit die Wasserlebewesen schädigen können (AFU SO, 2020, AWA BE (Hrsg.), 2019, AWE SG, 2014, OCEau GE, 2020). Beide Metalle gelangen aus verschiedenen Quellen in die Gewässer, z. B. aus Baumaterialien, von Autoreifen und von Bremsabrieb sowie von Strassenbelägen, von Eisenbahnen, aus der Industrie oder aus belasteten Standorten und auch aus der Anwendung als PSM in der Landwirtschaft (Kupfer) oder von Futtermittelzusätzen über den Austrag von Hofdünger (Kupfer und Zink).

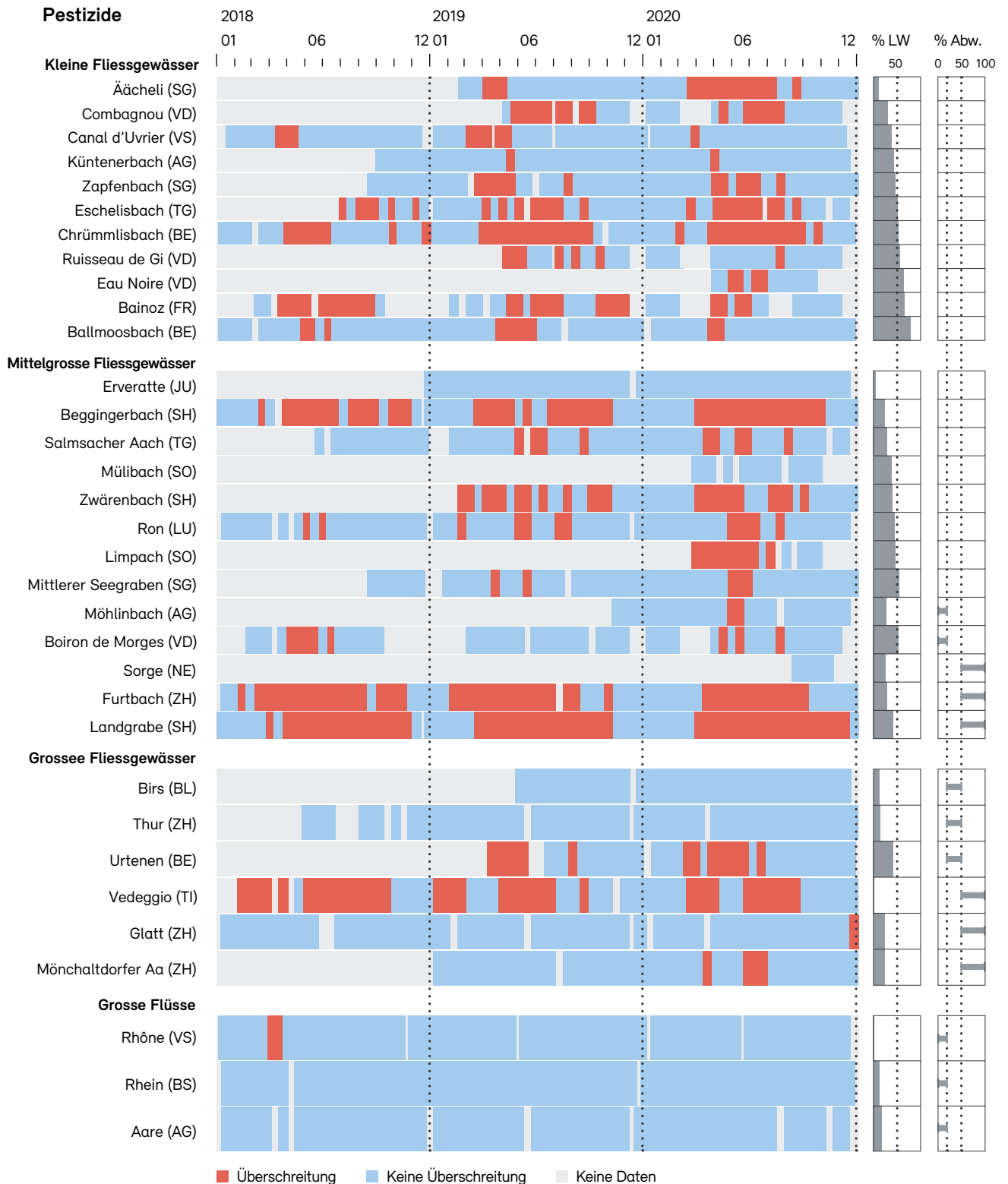
3.1.2 Seen

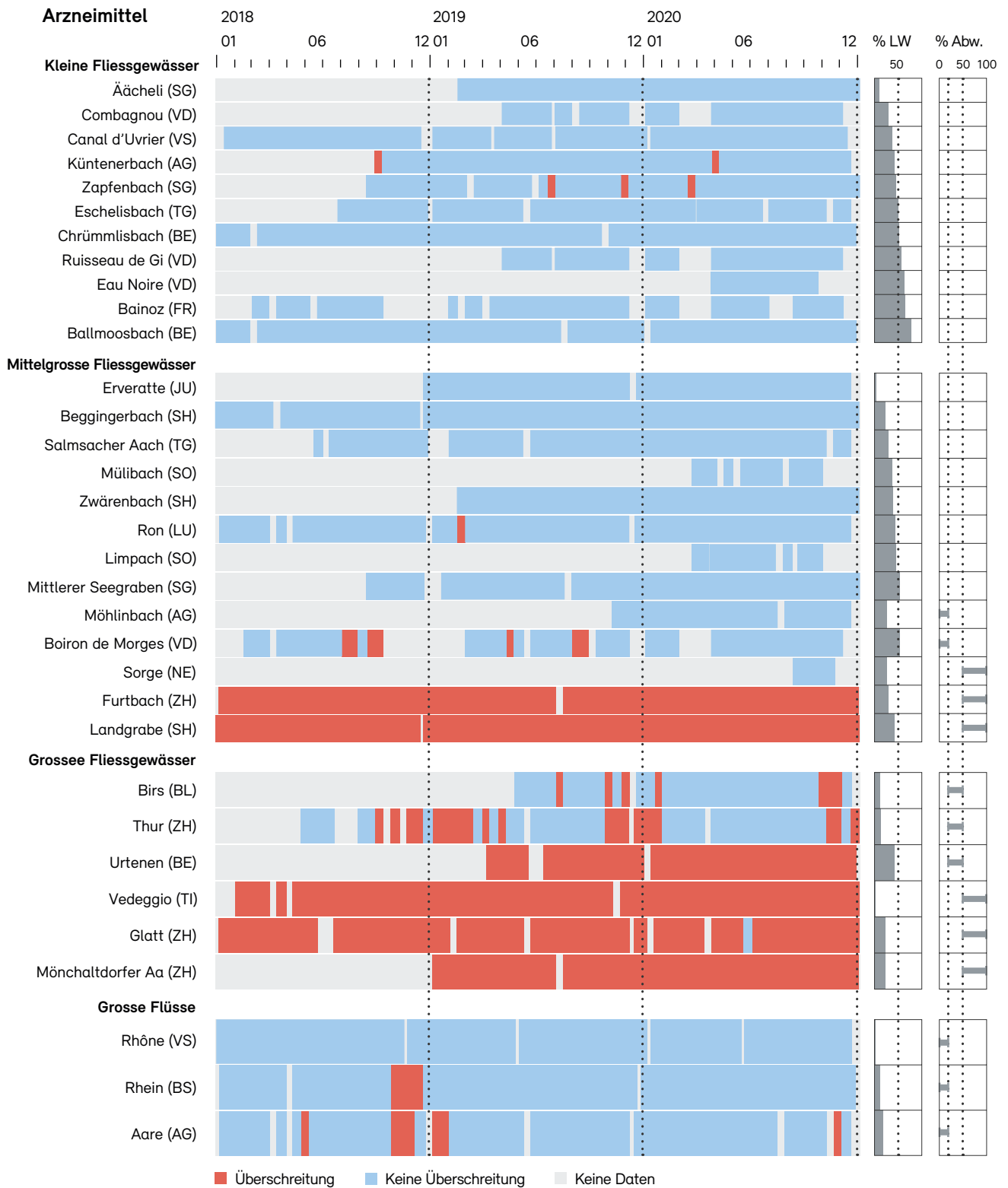
Tiefe Konzentrationen von Mikroverunreinigungen in grossen Seen

In Seen finden sich grundsätzlich dieselben Pestizide, Arzneimittel und Schwermetalle wie in Fliessgewässern. In grossen Seen werden diese Mikroverunreinigungen allerdings in tieferen Konzentrationen nachgewiesen, und die Grenzwerte werden dort in der Regel eingehalten. In den höchsten

Abb. 4: Viele Fließgewässer sind praktisch permanent durch Mikroverunreinigungen über den Grenzwerten belastet

Jahresverlauf der Überschreitungen der ökotoxikologischen Grenzwerte an 33 Standorten. Angaben zur Landnutzung: % LW = Anteil Landwirtschaftsfläche mit hohem PSM-Einsatz (Ackerland, Obst, Reben) im Einzugsgebiet, % Abw. = Anteil gereinigtes Abwasser bei Niedrigwasserabfluss (Q347) in den untersuchten Fließgewässern.





Box 5: Kein nationales Programm zur Untersuchung der Wasserqualität in Seen

Die Wasserqualität der Schweizer Seen wird im Rahmen von Bundesprogrammen nicht überwacht. Die in diesem Kapitel vorgenommene Beurteilung stützt sich auf ausgewählte Studien und auf Daten von kantonalen Fachstellen und internationalen Wasserkommissionen sowie von Wasserversorgungsunternehmen.

Konzentrationen kommen künstliche Süsstoffe, Korrosionsschutzmittel und Industriechemikalien vor.

Metaboliten des Fungizids Chlorothalonil, die das Grundwasser grossflächig mit Konzentrationen über 0,1 µg/l belasten (vgl. ausführliche Diskussion im Kapitel 3.1.3), wurden auch in einigen Seen untersucht. Je nach See sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich. Zum Beispiel erreichten die Konzentrationen im Jahr 2019 im Zürichsee nur 0,005 µg/l, während sie im Bieler-, Neuenburger-, Baldegger- und Sempachersee zeitweise bei über 0,1 µg/l lagen. Chlorothalonil-Metaboliten werden also nicht nur im Grundwasser, sondern teilweise auch in Seen in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen.

Mikroverunreinigungen lagern sich über Jahrzehnte in Seesedimenten ab

Seesedimente werden nur selten untersucht. Im Genfersee allerdings misst die internationale Kommission zum Schutz des Genfersees (CIPEL) seit über 30 Jahren Mikroverunreinigungen in den Sedimenten. Grundsätzlich werden dieselben Stoffe gemessen wie in Fließgewässersedimenten: Schwermetalle, PCBs, persistente Pestizide oder andere organische Schadstoffe (wie Korrosionsschutzmittel, Weichmacher, Lösungsmittel, Dioxine, Furane). Vergleicht man die verfügbaren aktuellen Ergebnisse mit früheren Studien, kann man insbesondere für die seit langem verbotenen Stoffe Quecksilber, PCB und DDT eine deutliche Abnahme in den Konzentrationen feststellen (CIPEL, 2017).

Untersuchungen im Greifensee bestätigen die breite Palette an Stoffen, die in Seesedimenten vorkommen. Von über 500 gesuchten Stoffen wurden rund 70 festgestellt (Chiaia-Hernandez et al., 2013). Mehr als die Hälfte davon waren Pestizide, aber auch Arzneimittel, Korrosionsschutzmittel, Industriechemikalien, Kosmetika und Desin-

fektionsmittel wurden gefunden. Im Moossee, der typisch für viele kleinere Seen im Mittelland ist, hat die Universität Bern zudem eine hohe Sedimentbelastung durch Pestizide festgestellt. Die in der Gewässersohle lebenden Tiere wurden folglich über die letzten Jahrzehnte permanent durch diese Stoffe beeinträchtigt (Chiaia-Hernández et al., 2020). Bei den Schwermetallen führen vor allem Kupfer und Zink zu höheren Belastungen in Sedimenten von Kleinseen, wie eine Studie im Kanton Bern zeigte (AWA BE (Hrsg.), 2015).

3.1.3 Grundwasser

Pestizide überschreiten die Grenzwerte im Grundwasser (s. Box 5) nur selten. Die Grundwasserqualität ist dagegen durch Pestizidmetaboliten deutlich beeinträchtigt, insbesondere durch die Metaboliten des Fungizids Chlorothalonil. Dies zeigen die Untersuchungen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA. Betroffen sind vor allem Gebiete im Mittelland mit Ackerbau. Entlang der Fließgewässer und unter Siedlungsgebieten treten auch weitere Mikroverunreinigungen im Grundwasser auf, die aus Industrie und Altlasten sowie von Gewerbe und Haushalten stammen.

Pestizide selten über Grenzwert

Pestizide überschreiten den Grenzwert von 0,1 µg/l an rund 2 Prozent aller NAQUA-Messstellen (Abb. 5). In den letzten fünf Jahren wurden insgesamt 65 verschiedene Pestizide im Grundwasser nachgewiesen, davon überschritten in diesem Zeitraum 14 Pestizide den Grenzwert von 0,1 µg/l an einzelnen Messstellen. Für die meisten Überschreitungen sind drei Herbizide (Bentazon, Chlortoluron und Metolachlor) verantwortlich, die ausschliesslich als PSM zugelassen sind. Bentazon und Metolachlor dürfen in einem Teil der Grundwasserschutzzonen, den Zonen S2 und Sh, nicht mehr eingesetzt werden.

Vereinzelt treten zudem weitere Pestizide in Konzentrationen über dem Grenzwert auf, darunter 2,4-D, Glyphosat, Mecoprop oder Metamitron. Tendenziell häufiger betroffen ist Karstgrundwasser im Jura. Weil der Boden dort meist wenig mächtig ist und es im Karst grossvolumige unterirdische Fließwege gibt, können Pestizide leicht ins Grundwasser eingetragen und im Untergrund rasch über grössere Distanzen transportiert werden. Aufgrund der geringen Verweilzeit im Untergrund, werden die Pestizide

Box 6: Grenzwerte für Grundwasser

Entsprechend den ökologischen Zielen für Gewässer nach Anhang 1 der GSchV soll Grundwasser generell keine künstlichen langlebigen Stoffe enthalten. Für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist, gelten nach Anhang 2 GSchV für verschiedene Stoffe (Nitrat, Pestizide, FHKW, PAK etc.) Grenzwerte. Als Trinkwasser genutztes bzw. zur Nutzung vorgesehenes Grundwasser muss zudem – gegebenenfalls nach einfacher Aufbereitung – die Höchstwerte des Lebensmittelrechts für Trinkwasser erfüllen (entsprechend der Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen TBDV). So gilt z. B. für Metaboliten von Pestiziden, die als trinkwasserrelevant eingestuft sind, der Höchstwert von 0,1 µg/l.

dort kaum abgebaut und können kurzfristig in erhöhten Konzentrationen in Quelfassungen gelangen, in denen Grundwasser wieder an der Oberfläche austritt.

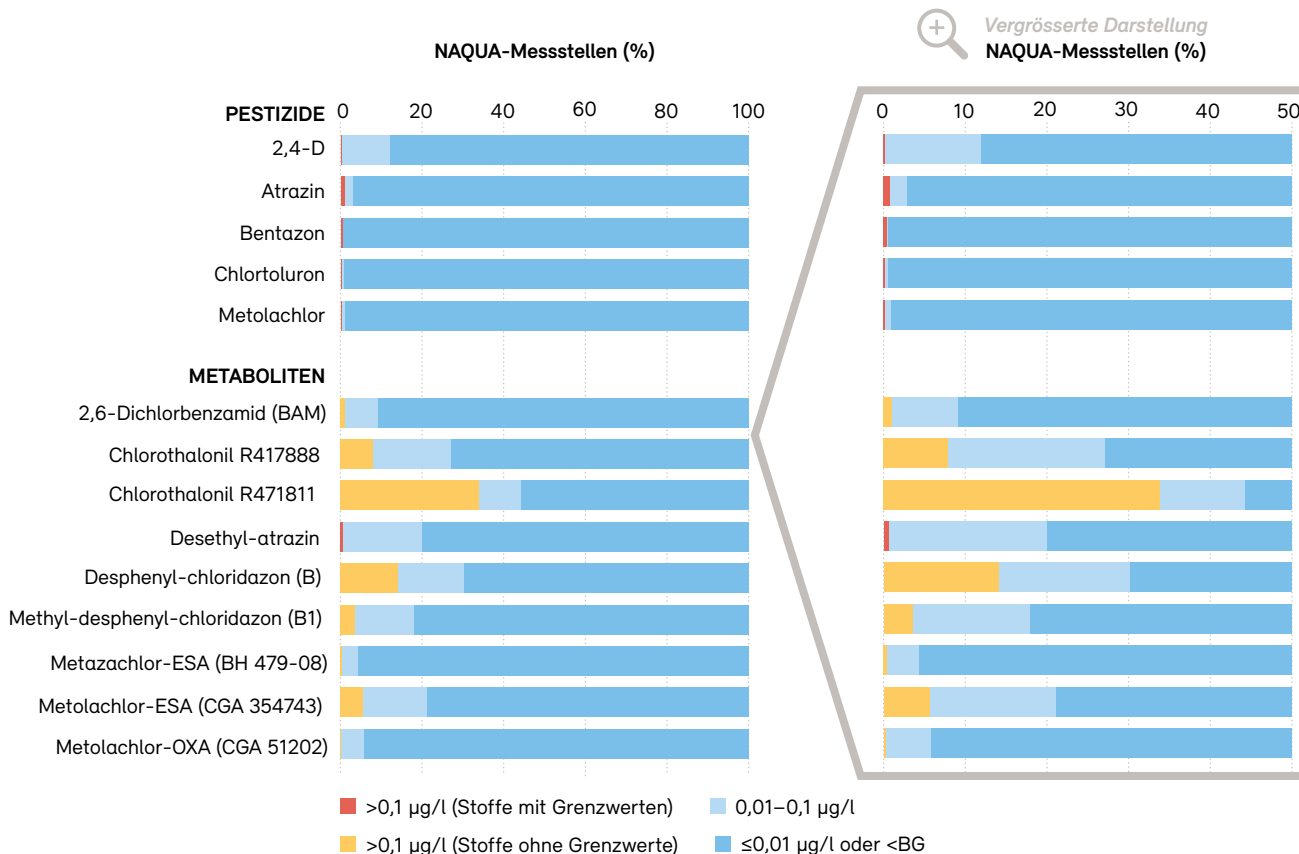
Zusätzlich zum Langzeitmonitoring wurden in einer Screening-Spezialuntersuchung 2017/2018 an ausgewählten NAQUA-Messstellen im Mittelland insgesamt rund 180 verschiedene Pestizide analysiert (Kiefer et al., 2019). Diese umfassende Untersuchung hat bestätigt, dass Pestizide den Grenzwert im Lockergesteins-Grundwasser nur selten überschreiten.

Metaboliten von Pestiziden belasten Grundwasser grossflächig

Pestizidmetaboliten sind im Vergleich zu den Pestiziden oft mobiler und zugleich langlebiger. Sie beeinträchtigen die Grundwasserqualität deshalb sogar in den kiesigen oder

Abb. 5: Metaboliten von wenigen Pestiziden werden im Grundwasser verbreitet nachgewiesen

Dargestellt sind alle Pestizide und Pestizidmetaboliten, die 2020 im Langzeitmonitoring landesweit an mehr als 500 Messstellen analysiert und in Konzentrationen über 0,1 µg/l im Grundwasser nachgewiesen wurden. BG = Bestimmungsgrenze



Daten: NAQUA 2020

sandigen Lockergesteinen in den Talebenen, die eigentlich durch relativ mächtige und gut ausgebildete Böden durchaus gegen den Eintrag von gering mobilen Stoffen geschützt sind.

An mehr als 60 Prozent der Messstellen im Mittelland treten Pestizidmetaboliten in Konzentrationen von mehr als 0,1 µg/l im Grundwasser auf. Landesweit ist gut jede dritte NAQUA-Messstelle betroffen. Insgesamt wurden in den letzten fünf Jahren Metaboliten von mehr als 30 Pestiziden im Grundwasser nachgewiesen, Metaboliten von 12 dieser Pestizide auch in Konzentrationen von mehr als 0,1 µg/l (vollständige aktuelle Tabelle unter *Pestizide im Grundwasser*). Pro Pestizid wurden im Grundwasser bis zu sieben Metaboliten nachgewiesen. Der Wert von 0,1 µg/l gilt als Grenzwert für Pestizidmetaboliten, die als trinkwasserrelevant eingestuft sind (Box 5). Die Einstufung der Metaboliten kann sich je nach aktuellem Kenntnisstand verändern. Dieser Grenzwert wurde 2020 von dem Chlorothalonil-Metabolit SYN 507900 und Desethylatrazin, einem Metabolit von Atrazin, an 5 bzw. 3 Messstellen überschritten.

Neben den Chlorothalonil-Metaboliten (siehe nächster Abschnitt) treten am häufigsten Metaboliten der Herbizide Chloridazon und (S-)Metolachlor im Grundwasser in Konzentrationen über 0,1 µg/l auf (Abb. 5). Die Metaboliten dieser beiden Herbizide sind als nicht trinkwasserrelevant eingestuft (BLV et al., 2022). Anfang 2020 wurde die Zulassung von Chloridazon aufgehoben. Die Restbestände durften noch bis Anfang 2022 verwendet werden. Da die Metaboliten von Chloridazon im Grundwasser jedoch sehr langlebig sind, dürften sie die Grundwasserqualität noch während vieler Jahre beeinträchtigen. Das immer noch verbreitete Vorkommen der Metaboliten von Atrazin, einem Herbizid dessen Einsatz bereits seit vielen Jahren verboten ist, verdeutlicht, dass sich Grundwasser meist nur sehr langsam erneuert.

Dass die Metaboliten der Pestizide Chlorothalonil, Chloridazon und Metolachlor am verbreitetsten im Grundwasser nachgewiesen werden, haben auch die Ergebnisse der oben erwähnten Spezialuntersuchung (Kiefer et al., 2019) bestätigt. Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt 68 Pestizidmetaboliten untersucht und 31 davon nachgewiesen.

Nach dem aktuellen Kenntnisstand ist somit davon auszugehen, dass ein Grossteil der grundwassergängigen Pestizide und Pestizidmetaboliten mit den aktuellen Analyseprogram-

men erfasst wird. Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass auch in Zukunft einzelne weitere Stoffe im Grundwasser gefunden werden, insbesondere, wenn sich die schweizweit angewendeten Mengen der Pestizide ändern, neue Pestizide eingesetzt werden oder die Analytik weiterentwickelt wird.

Chlorothalonil-Metaboliten im Grundwasser

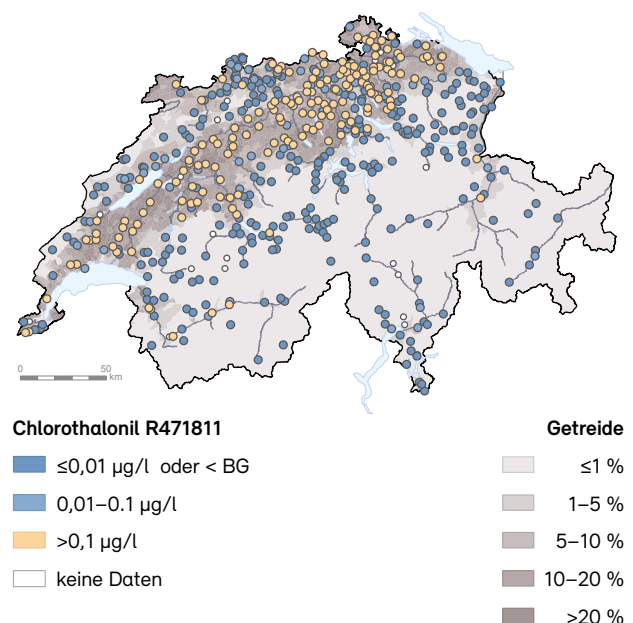
Das Fungizid Chlorothalonil wurde in der Schweizer Landwirtschaft seit den 1970er Jahren eingesetzt. Seit Anfang 2020 dürfen keine Chlorothalonil-haltigen PSM-Produkte mehr angewendet werden.

Metaboliten von Chlorothalonil wurden erstmals 2017 im Rahmen einer Spezialuntersuchung an ausgewählten NAQUA-Messstellen analysiert (Kiefer et al., 2019). Nachdem sich die Ergebnisse 2018 an weiteren Messstellen bestätigten, werden die Chlorothalonil-Metaboliten R417888 und R471811 seit 2019 bzw. 2020 auch landesweit im Langzeitmonitoring von NAQUA analysiert.

Demnach belasten mehrere Chlorothalonil-Metaboliten das Grundwasser mit mehr als 0,1 µg/l (vollständige aktuelle Tabelle unter www.bafu.admin.ch/chlorothalonil). Ins-

Abb. 6: Der Chlorothalonil-Metabolit R471811 belastet das Grundwasser im Mittelland grossflächig mit mehr als 0,1 µg/l

BG: Bestimmungsgrenze.



Daten: NAQUA 2020

besondere die beiden Metaboliten R471811 und R417888 verunreinigen das Grundwasser in vielen landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Mittellandes grossflächig. Ob diese beiden Metaboliten als trinkwasserrelevant einzustufen sind, ist Stand Juli 2022 noch nicht abschliessend geklärt.

Am stärksten ist das Grundwasser durch den Chlorothalonil-Metaboliten R471811 belastet, der jeweils die höchsten Konzentrationen pro Messstelle aufweist (Abbildung 6). Chlorothalonil R471811 überschreitet im Mittelland an mehr als 60% der NAQUA-Messstellen 0,1 µg/l. An verschiedenen Messstellen erreichen die Konzentrationen dieses Metaboliten sogar mehr als 1 µg/l. Solch weit verbreitete Belastungen des Grundwassers mit Werten von mehr als 0,1 µg/l sind aussergewöhnlich, sowohl im Vergleich mit anderen Pestizidrückständen als auch mit anderen Mikroverunreinigungen.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe in Gebieten mit hoher Siedlungsdichte

An Messstellen, in denen der Siedlungsanteil im Einzugsgebiet dominiert, überschreiten primär flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW) die entsprechenden Grenzwerte im Grundwasser. Sie stammen meist aus belastete

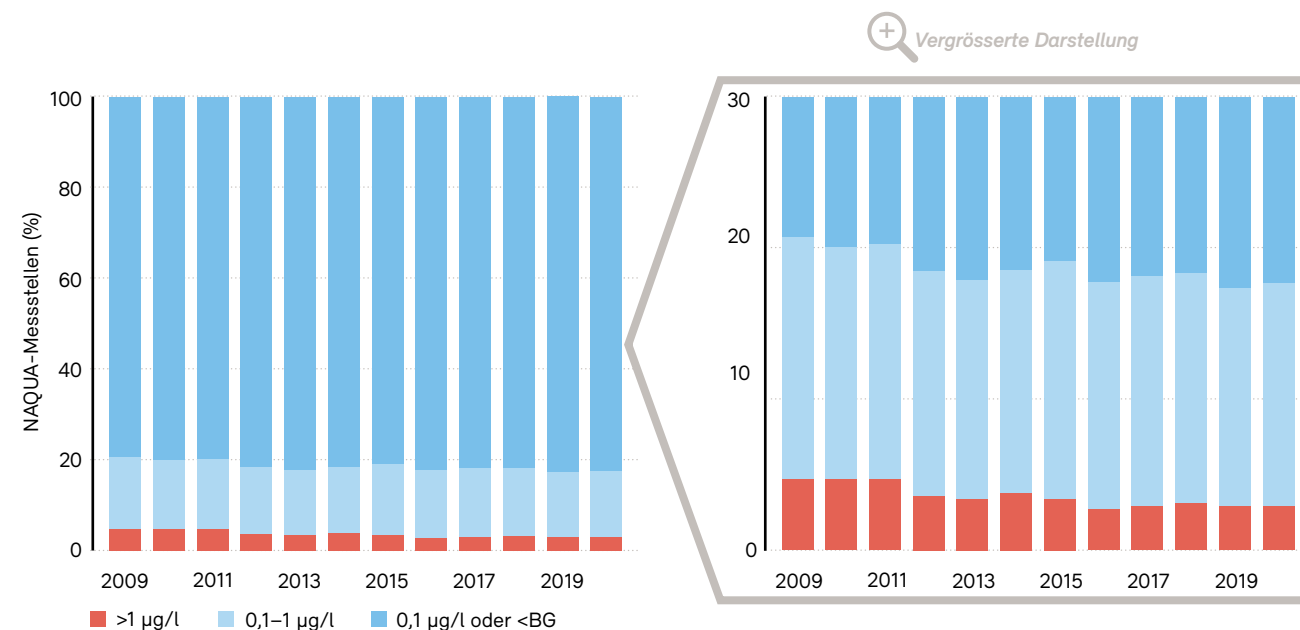
ten Standorten, beispielsweise ehemaligen Industrie- und Gewerbebetrieben oder Deponien. FHKW wurden früher in grossen Mengen etwa als Reinigungs- und Lösungsmittel sowie bei der Herstellung von Kunststoffen eingesetzt. Vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind beim unsachgemässen Umgang mit diesen Substanzen oder bei Unfällen FHKW ins Grundwasser gelangt. Aufgrund ihrer Langlebigkeit verunreinigen sie das Grundwasser bis heute.

Landesweit überschreiten FHKW den Grenzwert von 1 µg/l an insgesamt 3 Prozent der NAQUA-Messstellen (Abb. 7). In Einzugsgebieten mit hohen Siedlungsdichten sind rund 10 Prozent der Messstellen von Überschreitungen des Grenzwerts betroffen. Dies bestätigt, dass FHKW primär im Siedlungsgebiet ins Grundwasser gelangen. Die Zahl der Messstellen, an denen der FHKW-Grenzwert überschritten wird, ist auch infolge der Sanierung von belasteten Standorten in den letzten Jahren leicht zurückgegangen (Abb. 7).

Für monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (MAKW) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) ist in der GSchV ein Grenzwert von 1 µg/l bzw. 0,1 µg/l festgelegt. MAKW und PAK überschreiten den jeweiligen Grenz-

Abb. 7: Die Grenzwertüberschreitungen durch flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW) im Grundwasser gingen in den letzten Jahren auch dank der Sanierung belasteter Standorte leicht zurück

BG: Bestimmungsgrenze.



Daten: NAQUA 2020

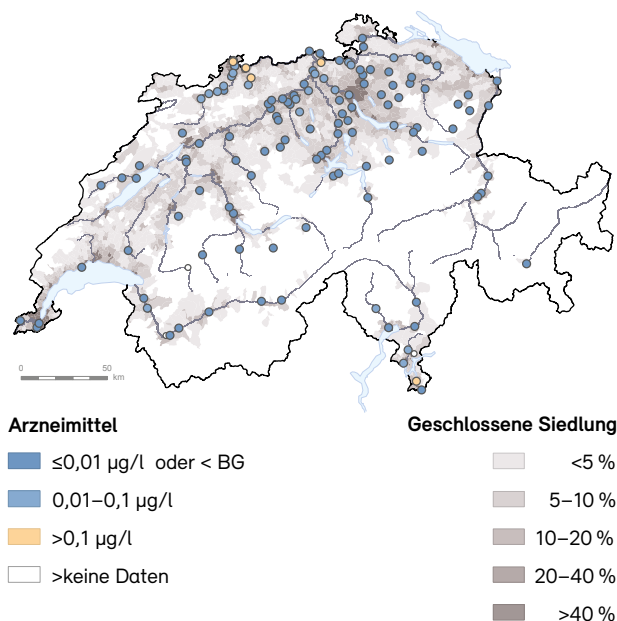
wert im Grundwasser nur sehr selten. Der Benzinzusatzstoff MTBE, für den in der GSchV kein Grenzwert enthalten ist, wird an 3 bis 4 Prozent der Messstellen in Konzentrationen von bis zu 1 µg/l nachgewiesen. Für Trinkwasser gilt ein Höchstwert für die Summe der Benzinzusatzstoffe MTBE und ETBE von 5 µg/l.

Arzneimittel, Haushalts- und Industriechemikalien im flussnahen Grundwasser

In den Lockergesteins-Grundwasserleitern entlang vieler Fliessgewässer werden verschiedene Mikroverunreinigungen nachgewiesen, die mit dem gereinigten Abwasser in die Fliessgewässer und von dort durch Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser gelangen. Dazu zählen beispielsweise Arzneimittel, Röntgenkontrastmittel, Reinigungsmittel oder Kosmetika. Im Grundwasser sind diese Substanzen weniger zahlreich und geringer konzentriert als im Flusswasser, da viele von ihnen im Boden zurückgehalten werden. Mobile Substanzen hingegen können auch bis ins Grundwasser gelangen. Für die meisten dieser Stoffe bestehen keine Grenzwerte.

Abb. 8: Im flussnahen Grundwasser des Mittellands treten Rückstände von Arzneimitteln auf

Dargestellt sind ausschliesslich die Messstellen, an denen Flusswasser ins Grundwasser infiltriert. BG: Bestimmungsgrenze.



Daten: NAQUA 2020

Arzneimittel werden landesweit an rund 15 Prozent der Messstellen im Grundwasser nachgewiesen, in Flussnähe sind gut 25 Prozent der Messstellen betroffen. Dies zeigt, dass Arzneimittel primär mit dem Flusswasser ins Grundwasser gelangen (Abb. 8). Nachgewiesen werden etwa das Antibiotikum Sulfamethoxazol oder das Antiepileptikum Lamotrigin. Röntgenkontrastmittel gehören ebenfalls zu den Substanzen, die flussnah in erhöhten Konzentrationen im Grundwasser auftreten. Die Konzentrationen der Arzneimittel im Grundwasser liegen meist unter 0,1 µg/l.

Verschiedene Reinigungs- und Korrosionsschutzmittel werden ebenfalls relativ häufig im Grundwasser nachgewiesen. So tritt etwa Benzotriazol, das als Silberschutzmittel in Geschirrspülmitteln enthalten ist, landesweit an rund 15 Prozent der Messstellen auf. Auch der Komplexbildner EDTA wird im Grundwasser nachgewiesen. EDTA ist Bestandteil industrieller und gewerblicher Wasch- und Reinigungsmittel, kommt aber auch als Stabilisator in Konserven und Kosmetika sowie in Düngemitteln zum Einsatz. Für EDTA gilt ein Trinkwasser-Höchstwert von 200 µg/l (TBDV). Die gemessenen Konzentrationen liegen mit einem Maximalwert von 7,4 µg/l deutlich tiefer.

Weitere Chemikalien, die von einzelnen Industriebetrieben mit dem Abwasser in die Fliessgewässer eingeleitet werden, können das Grundwasser lokal oder sogar regional belasten. So wird beispielsweise 1,4-Dioxan, das als Lösungsmittel in der Industrie eingesetzt wird, im Rhonetal unterhalb von Visp bis zum Genfersee in vielen flussnahen NAQUA-Messstellen im Grundwasser nachgewiesen. Die Konzentrationen lagen in den letzten Jahren bei maximal 1,7 µg/l. Für 1,4-Dioxan gilt ein Trinkwasser-Höchstwert von 6 µg/l (TBDV).

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Fliessgewässer > Wasserqualität > Mikroverunreinigungen
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Seen > Qualität
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Grundwasser > Grundwasser-Qualität

3.2 Nährstoffe

Die Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind vielerorts zu hoch: Etwa jede siebte Messstelle überschreitet den Nitratgrenzwert der Gewässerschutzverordnung. Ab den 1980er Jahren haben die Phosphorkonzentrationen der Seen abgenommen. Gewisse Seen und Fließgewässer enthalten aber immer noch zu viel Phosphor und Stickstoff. Das hat Folgen: Manche Seen leiden unter Sauerstoffmangel und die Schweiz exportiert über ihre Flüsse grosse Mengen Stickstoff, vor allem als Nitrat, in die Meere.

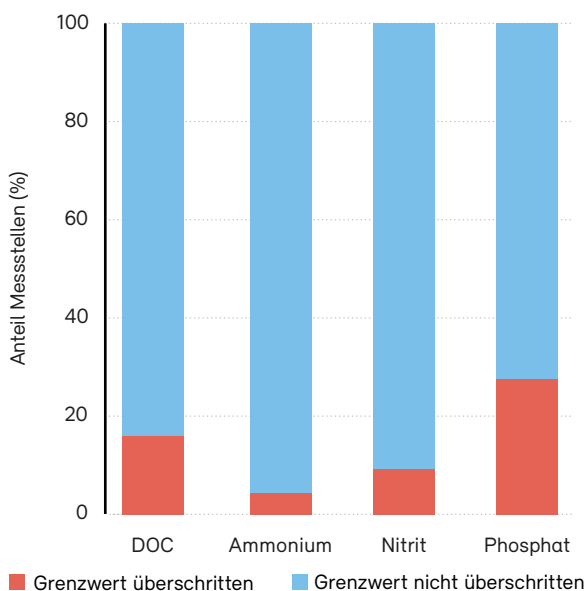
3.2.1 Fließgewässer

Nährstoffkonzentrationen weiterhin hoch

Im letzten Jahrzehnt überschritten Nährstoffkonzentrationen deren Grenzwerte an 5 bis 30 Prozent der NAWA-Messstellen. Ausgewertet wurde der gelöste organische Kohlenstoff (DOC), Stickstoff in der Form von Ammonium und Nitrit sowie Phosphor in der Form von algenverfügbarem Phosphat (Abb. 10).

Phosphat wurde nur für diejenigen 31 Flüsse berechnet, die in einen See münden. Der Grund dafür ist, dass die erhöhten Phosphatkonzentrationen die Flüsse kaum negativ beein-

Abb. 9: Nährstoffe überschreiten immer noch an rund 5–30 Prozent der NAWA-Messstellen ihre Grenzwerte

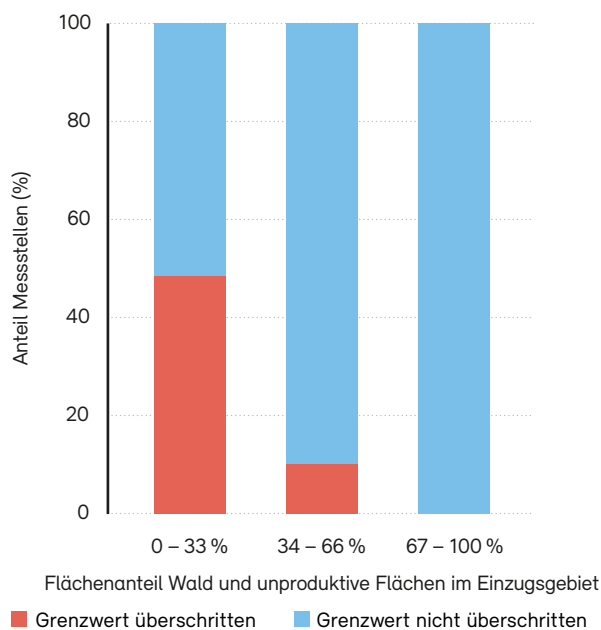


Daten: NAWA; gemittelt über die Messperioden 2011–2020. Anzahl Messstellen: DOC 95, Ammonium und Nitrit 105, Phosphat 31 an Seezuflüssen

flusst. Zu viel Phosphat überdüngt jedoch die Seen. Die GSchV gibt vor, dass der Nährstoffgehalt in Seen höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulassen darf. Der Phosphatgrenzwert für Fließgewässer oberhalb von Seen wurde anschliessend so festgelegt, dass bei dessen Einhaltung der See nicht überdüngt wird (Liechi, 2010). Die Nährstoffbelastung in den Fließgewässern konnte in den letzten Jahrzehnten drastisch reduziert werden. Ausschlaggebend dafür war vor allem die praktisch flächendeckende Abwasserreinigung (s. Kap. 6.2). Gegenüber der Zeit vor 1990 sind fischtoxische Ammonium- und Nitritkonzentrationen deshalb seltener geworden. Lokal kommt es wegen Gülleunfällen allerdings noch immer zu akut toxischen Nährstoffkonzentrationen, die jedes Jahr zu mehreren Dutzend Fischsterben führen (BAFU, 2020, s. Kap. 4.2.4).

Die Nährstoffkonzentrationen sind in jenen Fließgewässern am höchsten, deren Einzugsgebiete intensiv vom Menschen genutzt werden. In diesen Flüssen und Bächen konzentrieren sich die Nährstoffeinträge via ARA und aus der Landwirtschaft. Dies ist vor allem im Mittelland und in den Talebenen der Fall. Das zeigt sich auch an den NAWA-Resultaten: Je geringer im Einzugsgebiet einer Messstelle der Flächenan-

Abb. 10: Je geringer der Flächenanteil Wald und unproduktive Flächen im Einzugsgebiet einer Messstelle, desto höher sind die DOC-Konzentrationen



Daten: NAWA 2019, 107 Messstellen

teil an Wald und unproduktive Flächen – und somit je höher die Anteile von Siedlungs- und intensiver Landwirtschaftsflächen, desto höher sind die Nährstoffkonzentrationen (Abb. 10).

In kleinen Fließgewässern werden Nährstoffe weniger stark verdünnt. Nährstoffmessungen von NAWA und von Kantonen (z. B. AWE SG, 2014) bestätigen eine höhere Belastung der kleinen Bäche.

Die Schweiz exportiert zu viel Stickstoff in die Meere

Die Ökosysteme von Seen und Meeren können durch Nährstoffe, die von den Fließgewässern eingetragen werden, beeinträchtigt werden. In den Seen ist es der Phosphor, in den Meeren vor allem überschüssiger Stickstoff in Form von Nitrat, der zu einer Überdüngung führt.

Nitrat, eine Verbindung aus Stickstoff und Sauerstoff, liefert den grössten Beitrag an die Stickstofffracht, welche die Schweiz über ihre Flüsse in die Meere exportiert und diese überdüngt. Im Rhein bei Basel hat die Stickstofffracht, die die Schweiz verlässt, in den 1990er Jahren zwar um circa 30 Prozent abgenommen. Seit den 2000er Jahren hat sie sich jedoch kaum mehr verändert, so dass das Reduktionsziel zum Schutz der Nordsee noch nicht erreicht werden konnte (OSPAR, 1992). Anders präsentiert sich die Situation beim Phosphor. Hier sind die Frachten im Rhein unter das Reduktionsziel gesunken. In den Zuflüssen einzelner Schweizer Seen sind die Phosphorfrachten allerdings nach wie vor zu hoch, so dass diese Seen immer noch unter Überdüngung und Sauerstoffmangel leiden (s. Kap. 3.2.2).

3.2.2 Seen

Phosphorbelastung in einigen Seen zu hoch

Während die Stickstoffeinträge in den letzten rund 20 Jahren konstant geblieben sind, ist die Phosphorkonzentration in den meisten grösseren Schweizer Seen seit den 1980er Jahren auf ein naturnahes Niveau gesunken. Neben dem flächendeckenden Ausbau der Abwasserreinigung hat auch das 1985 eingeführte Phosphatverbot für Textilwaschmittel zur Reduktion dieser Belastung beigetragen. Einzelne grössere Seen sind allerdings noch immer zu stark mit Phosphor belastet und somit weiterhin überdüngt. Sie liegen in Gebieten mit intensiver Viehmast (z. B. Baldeggersee) oder in dicht besiedelten Regionen (z. B. Greifensee). Die Seeüberdüngung begünstigt übermässiges Algenwachstum. Müssen

in einem See viele Algen abgebaut werden, wird dadurch im Tiefenwasser der Sauerstoff aufgezehrt. Der Sauerstoffmangel wirkt sich negativ auf die Artenzusammensetzung in den Seen aus: So sind während der Überdüngungsphase häufig jene Fische ausgestorben, die ans Leben in grossen Tiefen angepasst waren (s. Kap. 4.3).

Am Seegrund wird der Sauerstoff knapp

Zurzeit erfüllen gut 60 Prozent der grösseren Schweizer Seen den Grenzwert von 4 Milligramm Sauerstoff pro Liter nicht (z. B. Greifensee) oder nur dank künstlicher Belüftung (z. B. Sempachersee; Abb. 11). Obwohl sich die Wasserqualität in vielen Fällen als Folge der abnehmenden Phosphorbelastung verbessert hat, erholt sich die Sauerstoffversorgung nur langsam. Dies zeigt sich beispielsweise beim Bielersee, wo sich der Anteil des Tiefenwassers, das zu wenig Sauerstoff enthält, seit den 1990er Jahren zwar verringert hat, der Grenzwert jedoch weiterhin jährlich unterschritten bleibt (Abb. 11). Auch in Seen, die sich erholt haben, kann künftig die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser wieder abnehmen, da sich einige Seen wegen des Klimawandels (steigende Wassertemperaturen) weniger gut durchmischen (s. Kap. 5.1.2). Ein Beispiel dafür ist der Zürichsee, in dem sich die sauerstoffarme Zone des Tiefenwassers kontinuierlich vergrössert.

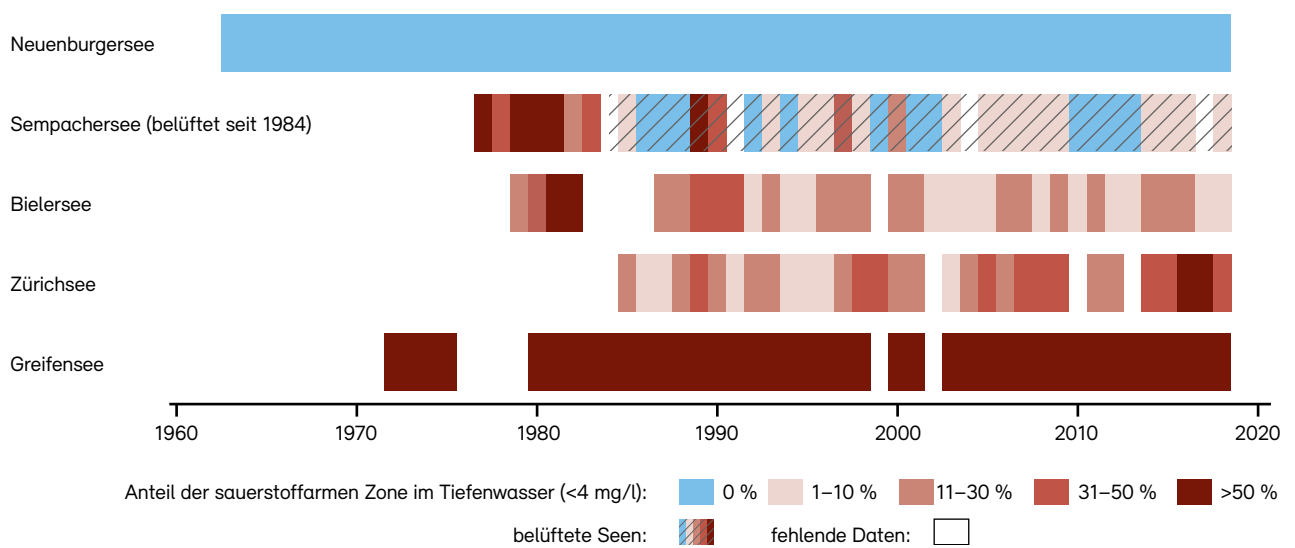
Bei den von den Kantonen untersuchten Kleinseen erreichen nur rund zwei Drittel einen naturnahen Zustand bezüglich Nährstoffen (Binderheim, 2019). In tieferen Lagen weist gar die Hälfte der Kleinseen eine zu hohe Belastung auf und ist überdüngt. Hauptverantwortlich dafür sind die hohen Einträge von Nährstoffen aus der Landwirtschaft.

3.2.3 Grundwasser

Gegenwärtig überschreiten landesweit fast 15 Prozent der Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA den Nitratgrenzwert der GSchV. Dieser Wert liegt für Grundwasser bei 25 mg/l (Abb. 12). Seit Beginn der landesweiten NAQUA-Erhebungen im Jahr 2002 ist der Anteil an Überschreitungen insgesamt kaum gesunken (BAFU, 2019a). Zuletzt ist die Nitratkonzentration in Ackerbaugebieten vier Jahre in Folge sogar wieder angestiegen. Die Nitratkonzentration im Grundwasser verharrt im Mittelland vielerorts auf hohem Niveau. Nitrat ist neben den Pestizidmetaboliten der Stoff, der das Grundwasser am stärksten belastet (s. Kap. 3.1.3).

Abb. 11: Der Grossteil der Schweizer Seen erfüllt die Sauerstoffgrenzwerte im Tiefenwasser nicht

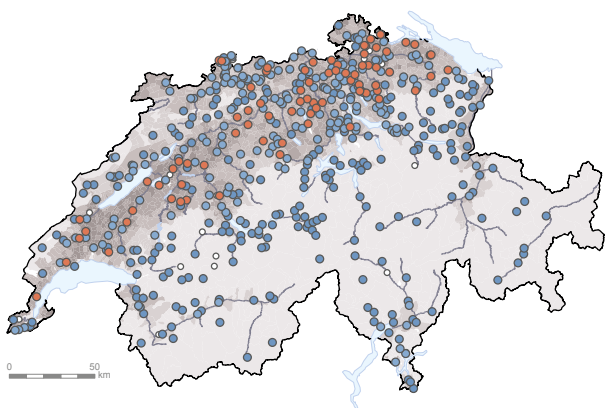
Während des ganzen Jahres genügend Sauerstoff haben wie der Neuenburgersee auch Briener-, Boden-, Langen-, Thuner-, Walen- und Vierwaldstättersee. Seen wie der Sempachersee erreichen nur dank technischer Belüftung genügend hohe Sauerstoffkonzentrationen. Auch wenn in einigen Seen die Sauerstoffkonzentration immer noch regelmässig unter 4 mg/l sinkt, ist im Vergleich zu früher oft ein geringerer Anteil des Tiefenwassers betroffen (z. B. Bielersee). Weil sich grössere Seen wie der Zürichsee aufgrund des Klimawandels vermehrt weniger gut durchmischen, werden diese Seen weniger gut mit Sauerstoff versorgt, so dass sich der von Sauerstoffarmut betroffene Anteil des Tiefenwassers trotz verringertem Phosphoreintrag erhöht hat. Sauerstofffreies Tiefenwasser haben nährstoffreiche Seen (z. B. Greifensee).



Kantonale Daten, Stand 2019

Abb. 12: An fast 15 Prozent der NAQUA-Grundwassermessstellen überschreitet Nitrat den Grenzwert

In Gebieten mit intensiver Landwirtschaft wird der Grenzwert an 50 Prozent der Messstellen überschritten.



Nitrat

- ≤10 mg/l
- 10–25 mg/l
- >25 mg/l
- keine Daten

Offenes Ackerland

- <1 %
- 1–5 %
- 5–20 %
- 20–40 %
- >40 %

Daten: NAQUA 2020

Grundwasser enthält von Natur aus wenig Nitrat. In nicht von Menschen genutzten Gebieten liegt die Nitratkonzentration bei weniger als 5 mg/l, im Wald meist bei weniger als 10 mg/l. Im intensiv genutzten Mittelland hingegen wird an 80 Prozent der Messstellen eine Nitratkonzentration von mehr als 10 mg/l nachgewiesen.

Die grossflächige Belastung des Grundwassers mit Nitrat ist auf die intensive Landwirtschaft zurückzuführen. In Gebieten, in denen überwiegend Acker- oder Gemüsebau betrieben wird, wird der Grenzwert an 50 Prozent der Messstellen überschritten.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Fließgewässer > Wasserqualität > Nährstoffe in Fließgewässern
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Grundwasser > Grundwasser-Qualität > Nitrat

3.3 Kunststoffe

Kunststoffe sind in der Umwelt allgegenwärtig, auch als Plastik- oder Gummipartikel in Flüssen und Seen. Die grössten Mengen eingetragener Kunststoffe stammen aus dem Reifenabrieb. In den Schweizer Oberflächengewässern wurden zudem Plastikpartikel nachgewiesen, die beispielsweise durch das Waschen von Kunstfaserkleidern oder achtloses Wegwerfen von Abfall ins Wasser gelangen.

Grosse Mengen an Kunststoff gelangen in die Gewässer
Reifenabrieb stellt gemäss Schätzungen die grösste Quelle von Kunststoffen in der Umwelt dar. Von den insgesamt rund 13 500 t Reifenabrieb bestehen 60 Prozent oder 8100 t aus Kunststoff. Der grösste Teil davon landet auf Böden, etwa ein Viertel dieses Kunststoffs oder rund 2000 t gelangen in Flüsse und Seen (Steiner, 2020). Wie sich dieser Abrieb in den Gewässern verteilt und welche Effekte er auf Wasserorganismen hat, ist Gegenstand aktueller Forschung. Bereits heute wird allerdings vielerorts der Reifenabrieb von den Gewässern ferngehalten. So werden schätzungsweise 25 Prozent der meistbefahrenen Strassen via Strassenabwasserbehandlungsanlagen oder kommunale ARA entwässert, in denen der Abrieb grösstenteils zurückgehalten wird (s. Kap. 6.1).

Der jährliche Eintrag der sieben meistverwendeten Plastikarten – darunter Polyethylen und PET – in die Oberflächengewässer der Schweiz wird auf rund 110 Tonnen Makroplastik und auf rund 15 Tonnen Mikroplastik geschätzt. Diese Plastikarten werden in Verpackungen, Textilien, Isolationsmaterial und Landwirtschaftsfolien eingesetzt (Kawecki und Nowack, 2019). Mikroplastik, das in die Gewässer gelangt, stammt hauptsächlich von Kunstfaserkleidern oder aus Kosmetika. Der allergrösste Teil von Mikro- und Makroplastik wird in den ARA aus dem Abwasser herausgefiltert. Makroplastik in den Gewässern ist vor allem eine Folge von Littering, dem achtlosen Wegwerfen von Abfall. Zwar zerfällt Makroplastik in den Gewässern durch Strömungen, Wellen, Sonnenlicht und weiteren Faktoren langsam zu Mikroplastik, dieses aber zersetzt sich nur äusserst langsam, lagert sich ab oder wird in den Gewässern weitertransportiert. Kunststoffe verbleiben deshalb über mehrere Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Umwelt und in den Gewässern.

Box 7: Kunststoffe, die in die Gewässer gelangen

Bei den Kunststoffteilchen unterscheidet man zwischen Mikroplastik (Partikelgrösse kleiner 5 mm) und Makroplastik (Teilchen grösser als 5 mm).

Mikro- und Makroplastik sind in den Gewässern häufig präsent

Mikroplastik findet sich in allen untersuchten Oberflächengewässern und Sedimenten, selbst an abgelegenen Orten (Faure und de Alencastro, 2014, Faure et al., 2015). Genfersee, Bodensee, Neuenburgersee, Lago Maggiore, Zürichsee und Brienersee sowie die Rhone bei Genf enthalten im Schnitt ähnlich viele Mikroplastikpartikel wie andere Gewässer in Europa. In das Grundwasser wird Mikroplastik nach heutigem Wissen kaum transportiert, da die Plastikpartikel im Untergrund herausgefiltert werden. Ausnahmen können Grundwasserleiter in Karstgebieten darstellen.

Bei einigen Fischen und Vögeln wurden kleine Mengen an Mikro- und Makroplastik im Verdauungstrakt gefunden. Es ist aber unwahrscheinlich, dass in der Schweiz Tiere durch verschluckte Plastikstücke verenden, wie man es beispielsweise von Meeresvögeln kennt. Nach den heutigen Erkenntnissen besteht bei den bisher gemessenen Mikroplastikkonzentrationen keine Gefährdung für Wasserlebewesen in der Schweiz (Adam et al., 2019) und auch im Schweizer Trinkwasser wurde bis jetzt noch nie Mikroplastik nachgewiesen. Die tatsächliche Belastung durch Mikroplastik wird jedoch unterschätzt, da bisherige Analysetechniken kleinere Partikel nicht erfassen konnten und auch die reale Wirkung auf Organismen noch kaum untersucht wurde. Bezüglich dieser Fragen besteht weiterer Forschungsbedarf. Unabhängig davon sind Kunststoffe in Gewässern unerwünscht, ihre Präsenz steht im Widerspruch zum geltenden Verunreinigungsverbot der Gewässerschutzgesetzgebung.

Weitere Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Abfall > Fachinformationen > Abfallpolitik und Massnahmen > Kunststoffe in der Umwelt

3.4 Badegewässerqualität

In der Schweiz kann in fast allen Gewässern bedenkenlos gebadet werden. In der nationalen Beurteilung der Badegewässerqualität werden 98 Prozent der Fluss- und Seebäder als von mindestens ausreichender Qualität bewertet. Dies bedeutet, dass an diesen Badeplätzen kein gesundheitliches Risiko durch Bakterien im Wasser besteht.

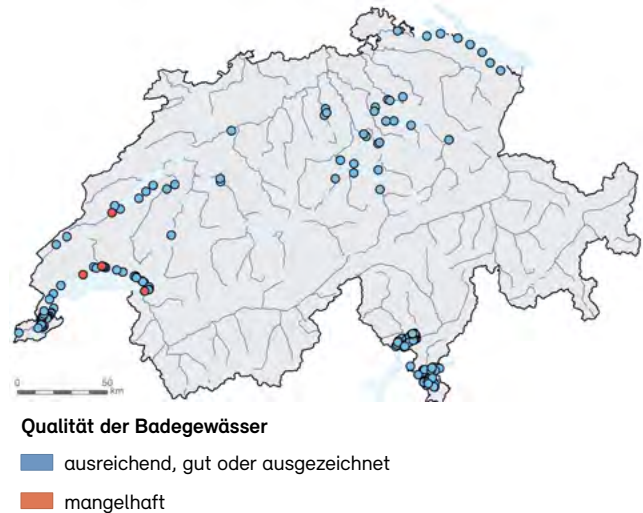
Schweizweit fast ausschliesslich ausgezeichnete Badegewässerqualität

Die Badegewässerqualität bei öffentlichen Badeplätzen und an stark frequentierten Orten in Flüssen und Seen wird jeden Sommer durch kantonale Fachstellen untersucht. Diese Untersuchungen beruhen hauptsächlich auf Messungen von Indikatoren fäkaler Verunreinigungen (E. coli, intestinale Enterokokken), die auf eine Verunreinigung durch häusliche Abwässer oder durch Hofdünger hindeuten. Mit pathogenen Mikroorganismen verunreinigtes Wasser kann beispielsweise zu Magenbeschwerden und Durchfall führen.

Die schweizweite Beurteilung der Badegewässerqualität basiert auf einer Auswahl von Messergebnissen an Badeplätzen, die von den Kantonen einheitlich nach der europäischen Badegewässerrichtlinie beprobt wurden. Gemäss dieser Beurteilung ist die Badegewässerqualität in den Schweizer Flüssen und Seen sehr gut. Im Jahr 2021 entsprachen 90,2 Prozent der nach EU-Methoden bewertbaren Badegewässer der Qualitätsklasse «ausgezeichnet», 5,2 Prozent wurden als «gut» und 2,3 Prozent als «ausreichend» bewertet (Abb. 13). Nur 2,3 Prozent der Messstellen wurde als «mangelhaft» eingestuft. Diese Situation ist seit Jahren stabil.

Die nationale Beurteilung deckt nur einen Teil der Badegewässer in der Schweiz ab, doch die durch kantonale Fachstellen veröffentlichten zusätzlichen Informationen zeigen dasselbe Resultat: Es wird immer nur über einzelne Badeplätze mit mangelhafter hygienischer Qualität berichtet. Diese befinden sich vor allem an den grossen Flüssen im Mittelland oder beispielsweise in der Nähe von Einläufen von Kläranlagen. Die Beurteilung der hygienischen Qualität von Gewässern ist allerdings immer nur eine Momentaufnahme. Nach starken Regenfällen oder

Abb. 13: In der Schweiz kann fast überall bedenkenlos gebadet werden



Von den Kantonen nach der europäischen Badegewässerrichtlinie erhobene und bewertbare Daten von 2021

bei Hochwasser wird immer vom Baden in Flüssen abgeraten, da eine verstärkte Belastung mit pathogenen Mikroorganismen möglich ist. Ursachen dafür sind zum Beispiel die Regenwasserüberläufe der Kanalisation oder abgeschwemmter Hofdünger.

Während Hitzeperioden werden in einzelnen Seen Massenvermehrungen von Cyanobakterien beobachtet. Die Cyanobakterien kommen natürlicherweise vor und werden auch Blaualgen genannt. Diese können Giftstoffe produzieren, die beim Verschlucken gesundheitsgefährdend sind oder Hautausschläge verursachen (zum Einfluss des Klimawandels s. Kap. 5.3). Wegen dieser Giftstoffe sind Massenvermehrungen von Cyanobakterien ein häufiger Grund für lokale Badeverbote. Nach dem Bad in einem warmen See berichten Badende manchmal auch von der durch einen Wasservogelparasiten («Entenfloh») verursachten Hauterkrankung Badedermatitis.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Fliessgewässer > Wasserqualität > Badegewässerqualität

4 Biologischer Gewässerzustand

Ein Grossteil der Gewässer im Mittelland kann ihre Rolle als Lebensraum für Tiere und Pflanzen nur noch eingeschränkt wahrnehmen. Dies macht die biologische Beurteilung der Bäche und der kleinen Flüsse deutlich. Auch in Seen und grossen Flüssen ist die Zusammensetzung der Arten stark von menschlichen Einflüssen und invasiven gebietsfremden Pflanzen und Tieren geprägt. Die starke Beeinträchtigung der Gewässer spiegelt sich auch in den Roten Listen wider. Über 50 Prozent aller Arten, die in und an Gewässern leben, sind gefährdet oder bereits ausgestorben.



4.1 Biodiversität in und an den Gewässern

Grundsätzlich zählen Bäche, Flüsse, Teiche und Seen und ihre Uferbereiche zu den artenreichsten Lebensräumen. In der Schweiz sind genau diese am stärksten bedroht.

Entsprechend sind auch viele Arten, die in und an Gewässern und in Feuchtgebieten leben, gefährdet oder bereits ausgestorben.

Box 8: Biodiversität

Biodiversität beschreibt die Vielfalt des Lebens auf all seinen Ebenen – von der Vielfalt der Lebensräume, über die Artenvielfalt bis hin zur genetischen Vielfalt innerhalb von Arten. Sie beeinflusst das Funktionieren von Ökosystemen entscheidend: Lebensgemeinschaften mit einer intakten Biodiversität sind resilienter (widerstandsfähiger) gegenüber Umweltveränderungen, denn eine hohe genetische Vielfalt einer Art oder Population steigert deren Anpassungsfähigkeit zum Beispiel angesichts des Klimawandels.

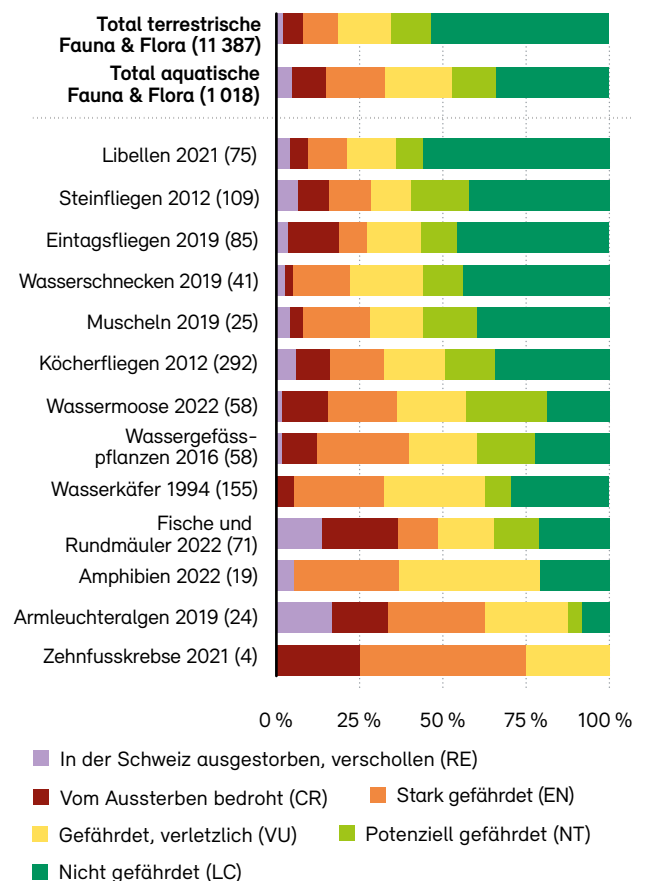
Fliessgewässer, Seen, stehende Kleingewässer sowie Auengebiete tragen massgeblich zur Biodiversität in der Schweiz bei: Über 80 Prozent aller bekannten Tierarten kommen in Gewässern und den direkt an sie anschliessenden Ufer- und Auenlebensräumen vor. Zudem wandern viele Tierarten zwischen Gewässern und den angrenzenden Auen, Wäldern, Wiesen und Feldern hin und her. Natürliche Ufer sind daher wichtige Verbindungselemente zwischen diesen beiden Lebensräumen.

Die Lebensräume in und an den Gewässern sowie Feuchtgebiete sind jedoch besonders stark bedroht (Delarze et al., 2016). Die Fläche der Auengebiete beispielsweise hat seit 1850 in der Schweiz insgesamt um rund 90 Prozent abgenommen, und sogar die geschützten Auen von nationaler Bedeutung befinden sich mehrheitlich in einem unbefriedigenden Zustand (BAFU (Hrsg.), 2020, Müller-Wenk et al., 2003).

Entsprechend sind auch viele Arten bedroht, die in und an Gewässern und in Feuchtgebieten leben. In keiner Pflanzengruppe ist der Anteil bedrohter Arten so hoch wie bei den Wasserpflanzen. 65 Prozent der Fische und

Abb. 14: Gewässerlebewesen sind in hohem Masse bedroht

36 Prozent aller bewerteten einheimischen Arten (n = 12 405 Arten) sind gefährdet oder bereits ausgestorben (Kategorie RE, CR, EN und VU). Gewässerorganismen sind überdurchschnittlich stark gefährdet (53 Prozent gefährdet oder ausgestorben).



Quelle: aktuelle Rote Listen der Schweiz bzw. für Zehnfusskrebse: Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF). Aktualisierung der Roten Listen für Eintagsfliegen, Wasserschnecken, Muscheln und Armleuchteralgen gemäss BAFU 2019: Liste der Nationalen Prioritären Arten und Lebensräume.

Rundmäuler sind gemäss der Roten Liste gefährdet oder bereits ausgestorben (RE, CR, EN und VU; Abb. 14). Insgesamt nimmt die Zahl der bedrohten Fischarten weiter zu. So gilt zum Beispiel der Aal ab 2021 neu als «vom Aussterben bedroht» und die Äsche als «stark gefährdet» (VBGF).

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Biodiversität

4.2 Fliessgewässer

Tier- und Pflanzengesellschaften in Gewässern sind oft nicht naturnah, besonders in den dicht besiedelten und intensiv genutzten Gebieten des Mittellands. Dies zeigen Monitoringprogramme des Bundes und der Kantone. Bis zu 80 Prozent der untersuchten Fliessgewässer können ihre Funktion als Lebensraum nur ungenügend wahrnehmen. Die Gründe dafür sind Verunreinigungen, das Fehlen vielfältig strukturierter Lebensräume und die starke Zerstückelung der Gewässer durch Wanderhindernisse.

Anhand der Bioindikatoren Kieselalgen, Makrozoobenthos, Wasserpflanzen und Fische lässt sich beurteilen, wie gut ein Gewässer seine Funktion als Lebensraum für Tiere und Pflanzen erfüllt und ob die ökologischen Ziele der Gewässerschutzverordnung (GSchV) erreicht werden. Diese Ziele besagen, dass die Gemeinschaften von Wasserlebewesen naturnah und standortgerecht sein sollen. Die Indizes, die basierend auf den obengenannten Bioindikatoren berechnet werden, weisen teilweise spezifisch auf einen menschlichen Einfluss hin. Die meisten Bioindikatoren reagieren zwar gleichzeitig auf unterschiedliche Einflüsse, dennoch können durch vertiefte Auswertungen von Monitoringergebnissen und dank des Wissens über Organismen und ihre Lebensweise, Rückschlüsse auf die dominierenden Ursachen der festgestellten Defizite gezogen werden.

Präsentiert werden nachfolgend die Daten aus dem seit 2012 laufenden NAWA TREND-Monitoringprogramm sowie der Spezialkampagne NAWA SPEZ, die 2018 und 2019 durchgeführt wurde. Während das TREND-Monitoring vorwiegend mittelgrosse Fliessgewässer umfasst, hatte die NAWA SPEZ-Kampagne das Ziel, den biologischen Zustand kleiner Fliessgewässer zu beurteilen.

4.2.1 Kieselalgen

Kieselalgen zeigen geringe Nährstoffbelastung in Fliessgewässern

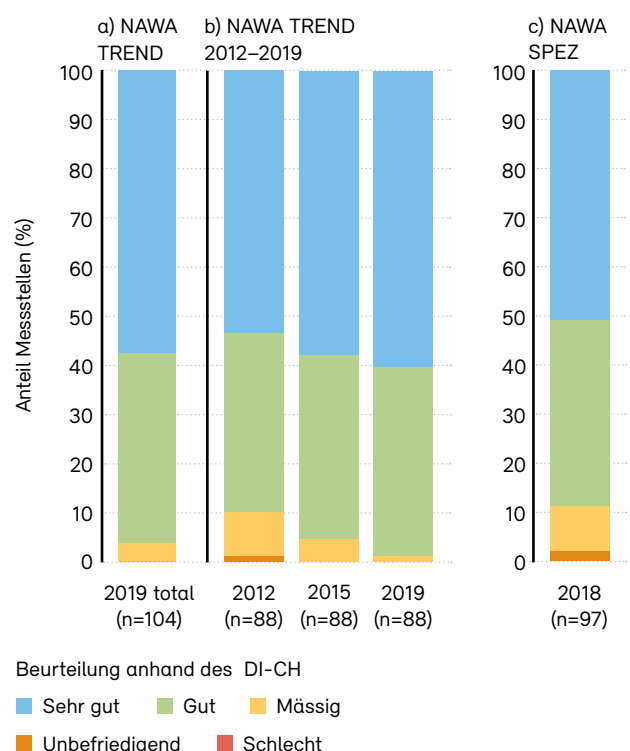
In einem Grossteil der untersuchten Gewässer ist die Wasserqualität gemäss dem Schweizer Diatomeen-Index DI-CH gut bis sehr gut (Abb. 15a). Zwischen den Jahren 2012, 2015 und 2019 gab es nur geringe Unterschiede (Abb. 15b) (Abb. 15b; Gufler et al., 2021). Diese Resultate bestätigen die Nährstoffmessungen an Fliessgewäs-

Box 9: Kieselalgen als Gewässerqualitätsanzeiger

Kieselalgen (Diatomeen) sind einzellige Algen mit einer kieselsäurehaltigen Zellwand (Siliziumdioxid). Sie werden seit Jahrzehnten als Bioindikatoren für die Nährstoffbelastung verwendet, da sie in allen Fliessgewässern ganzjährig vorkommen und ihre Reaktion auf die Nährstoffkonzentrationen im Wasser gut bekannt ist. Die Bewertung der Wasserqualität hinsichtlich des Nährstoffgehaltes basiert auf dem Schweizer Diatomeen-Index (DI-CH), gemäss MSK-Modul Kieselalgen (Hürlimann und Niederhauser, 2007).

Abb. 15: 5 bis 10 Prozent der untersuchten Fliessgewässer weisen gemäss DI-CH eine zu hohe Nährstoffkonzentration auf

Eine zu hohe Nährstoffkonzentration und dementsprechend ein ungenügender Zustand wird mit mässig, unbefriedigend und schlecht angezeigt. a) Alle Messstellen NAWA TREND 2019; b) zeitliche Veränderung zwischen 2012 und 2019, nur Messstellen, die 2012, 2015 und 2019 in NAWA TREND beprobt wurden; c) NAWA SPEZ: Spezialuntersuchung an kleinen Bächen.



sern (s. Kap. 3.2.1). Auch die 2019 untersuchten kleinen Fließgewässer wurden mehrheitlich als gut bis sehr gut bewertet. Rund 10 Prozent dieser kleinen Bäche weisen jedoch gemäss DI-CH eine zu hohe Nährstoffkonzentration auf (Abb. 15c; Gufler et al., 2021). Die Bäche werden also etwas stärker durch Nährstoffe belastet als mittelgrosse Flüsse, da die Nährstoffeinträge bei geringerem Abfluss weniger stark verdünnt werden.

Die grossen Flüsse, in denen die Kieselalgen im Rahmen von kantonalen Kampagnen und internationalen Rheinuntersuchungen überprüft werden, weisen ebenfalls mehrheitlich eine gute bis sehr gute Gewässerqualität auf. In einem Grossteil der untersuchten Flüsse nimmt die Gewässerqualität im Fliessverlauf und unterhalb grosser Kläranlagen tendenziell ab (Wüthrich, 2021).

Zu viele Nährstoffe aus Kläranlagen und Landwirtschaft

Dank des flächendeckend ausgebauten ARA-Netzes, werden ungefähr 90 Prozent der organischen Belastung und der Phosphorfracht sowie ca. 50 Prozent des Stickstoffeintrages aus Siedlungen zurückgehalten. Trotz der guten Reinigungsleistung der ARA ist die Nährstoffkonzentration in den Gewässern stellenweise immer noch zu hoch. Das ist dann der Fall, wenn ein Gewässer einen hohen Anteil an gereinigtem Abwasser aufweist. Fließgewässer, die gar kein oder nur wenig Abwasser enthalten und sich gemäss DI-CH trotzdem in einem ungenügenden Zustand befinden, liegen alle in stark landwirtschaftlich geprägten Gebieten. Diese Beobachtung bestätigt die wichtige Rolle der Landwirtschaft beim Eintrag von Nährstoffen in die Gewässer (s. Kap. 3.2.1).

Kieselalgen durch weitere Faktoren beeinträchtigt

Kieselalgen werden aber nicht nur durch Nährstoffe beeinträchtigt. So können zum Beispiel erhöhte Schwebstoffkonzentrationen, wie sie unter anderem durch Stauespülungen verursacht werden, zu mechanischen Schädigungen von Kieselalgen führen. Ausserdem nahmen gebietsfremde Kieselalgenarten in den letzten Jahren sowohl in ihrer Anzahl, wie auch in ihrer Verbreitung zu. Das Massenaufreten der invasiven *Achnanthes delmontii* etwa beeinflusst die Lebensgemeinschaften von Kieselalgen in der oberen Aare und im Hochrhein bereits deutlich. In der Aare stellt die eingewanderte Art 38 Pro-

zent aller Individuen von Kieselalgen dar, im Rhein sind es 8 Prozent (s. Kap. 4.4) (Wüthrich, 2021).

4.2.2 Makrozoobenthos

Fehlende Insekten

An jeder vierten NAWA TREND-Messstelle fehlen diejenigen Insektenfamilien, die als besonders empfindlich gelten. Die Lebensgemeinschaft der am Gewässergrund lebenden Kleinlebewesen ist stark verarmt. Folglich wird die Gewässerqualität gemäss IBCH_2019 als ungenügend beurteilt (Abb. 16a; Haberthür, 2021). Die rund 500 Messstellen, an denen im Rahmen des Biodiversitätsmonitorings das Makrozoobenthos untersucht wird, zeigen ein ähnliches Bild (Abb. 16d).

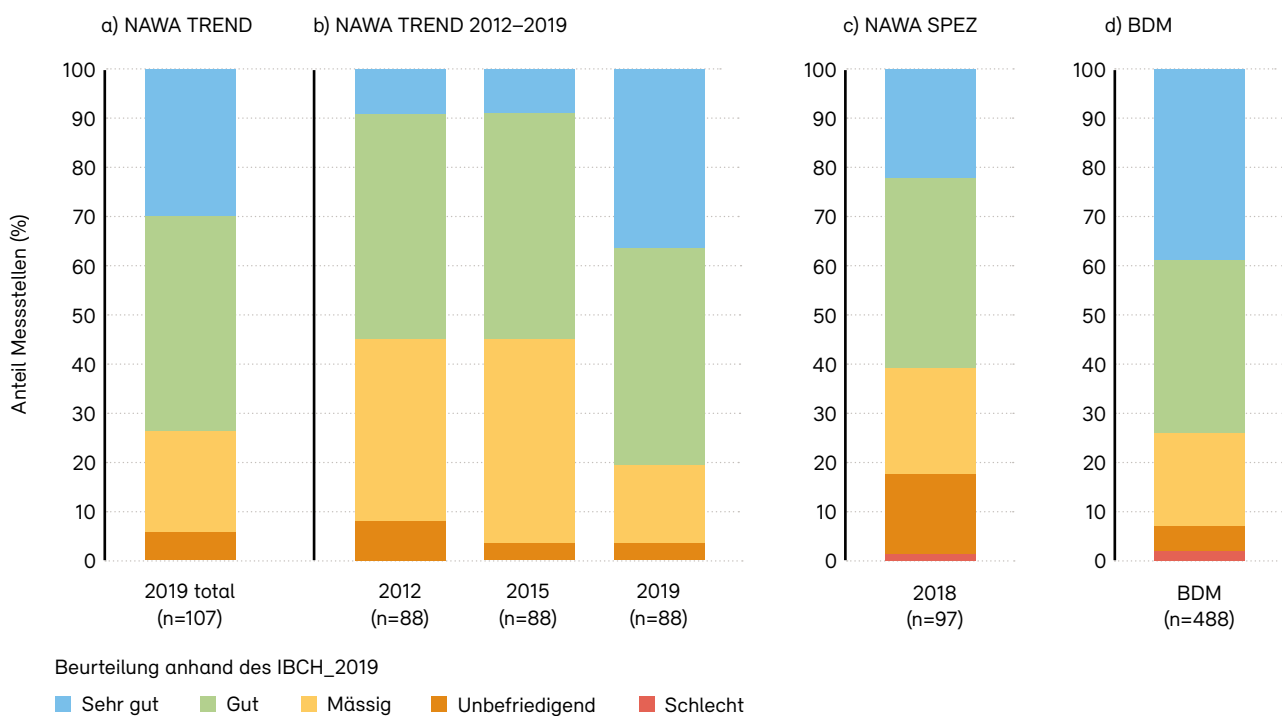
Verschiedene Faktoren führten zu einer deutlich besseren Bewertung der NAWA TREND-Messstellen mit dem IBCH_2019 im Jahr 2019 im Vergleich zu den Erhebungen in den Jahren 2012 und 2015 (Abb. 16b). Beispielsweise nahm die durchschnittliche Anzahl Makrozoobenthos-Arten pro Untersuchungsstelle vermutlich aufgrund des

Box 10: Makrozoobenthos als Gewässerqualitätsanzeiger

Auf oder im Gewässergrund leben Kleinlebewesen (Makrozoobenthos), darunter vor allem Insektenlarven, Kleinkrebse, Schnecken, Muscheln und Würmer. Sie reagieren unterschiedlich auf Temperatur, Wasserqualität und Strukturvielfalt eines Gewässers. Der Schweizer Makrozoobenthos-Index IBCH zeigt Defizite, vor allem im Bereich der Wasserqualität und der strukturellen Lebensraumvielfalt an. 2019 wurde der IBCH zum IBCH_2019 überarbeitet (BAFU (Hrsg.), 2019b). Für diesen Gewässerbericht wurden alle vorhandenen Daten in den IBCH_2019 umgerechnet. Um den spezifischen Einfluss von Pestiziden auf die Makrozoobenthos-Gemeinschaft zu ermitteln, wird der $SPEAR_{Pesticides}$ -Index verwendet. Dieser Index zeigt den Anteil gegenüber Pestiziden empfindliche Arten an der Gesamtanzahl des vorhandenen Makrozoobenthos an. Für grosse Fließgewässer fehlt ein Index zur Beurteilung des Makrozoobenthos. Erhebungen an diesen Gewässern werden deshalb nur beschreibend interpretiert.

Abb. 16: 20 bis 40 Prozent der untersuchten kleinen bis mittelgrossen Fließgewässer befinden sich gemäss IBCH_2019 in einem ungenügenden ökologischen Zustand

Ein ungenügender Zustand wird mit mässig, unbefriedigend und schlecht angezeigt. a) Alle Messstellen NAWA TREND 2019; b) zeitliche Veränderung zwischen 2012 und 2019, nur Messstellen, die 2012, 2015 und 2019 in NAWA TREND beprobt wurden; c) NAWA SPEZ: Spezialuntersuchung an kleinen Bächen; d) BDM: Messstellen aus dem Biodiversitätsmonitoring Schweiz.



Klimawandels zu. Diese Zunahme konnte in verschiedenen Monitoringprogrammen festgestellt werden und hat einen Effekt auf die Bewertung mittels IBCH_2019. Andere Faktoren waren die Anzahl Winterhochwasser und methodischen Änderungen, die eine gründlichere Auslese des Makrozoobenthos im Labor notwendig machten (Haberthür et al., 2021).

Auch viele kleine Fließgewässer befinden sich in einem ungenügenden Zustand, wie die im Jahr 2018 durchgeführte Spezialuntersuchung zeigt (Abb. 16c; Stucki und Knispel, 2020). Summarisch kann festgehalten werden, dass sich je nach Untersuchungsjahr und der Auswahl der Messstellen 20 bis 40 Prozent der untersuchten kleinen bis mittelgrossen Fließgewässer gemäss IBCH_2019 in einem ungenügenden ökologischen Zustand befinden.

Doch auch in den grossen Flüssen sind die Lebensgemeinschaften der Kleinlebewesen stark defizitär. Dies zeigen sowohl die regelmässig stattfindende Hochrheinuntersuchung als auch kantonale Kampagnen. Spezialisierte Arten, die beispielsweise strömungsberuhigte Ufer oder Auen als Lebensraum brauchen, sind sehr selten geworden. Generalisten und gebietsfremde Arten prägen die Makrozoobenthos-Gesellschaften in grossen Flüssen (Wüthrich, 2021, s. Kap. 4.4).

Mittelland stärker betroffen als höhere Lagen

Eine kombinierte Auswertung der Resultate aus unterschiedlichen Monitoringprogrammen (TREND, SPEZ, BDM) zeigt, dass in 40 Prozent der Bäche im Mittelland und in den Talebenen (<600 m ü. M.) die Makrozoobenthos-Lebensgemeinschaften verarmt sind (Abb. 17). Das überrascht nicht, da sich in tieferen Lagen viel mehr menschliche Einflüsse auf die Gewässer auswirken.

Bedrohung durch Pestizide

Pestizide sind für das Makrozoobenthos eine besonders starke Gefährdung. Dies gilt vor allem in Gewässern, die einen hohen Anteil an Ackerland, Obstkulturen oder Reben im Einzugsgebiet haben. Dort kommen Arten und Familien, die als besonders empfindlich gelten, nicht mehr vor (Abb. 18).

Eine vertiefte Auswertung von Makrozoobenthos-Daten aus kantonalen und nationalen Monitoringprogrammen an kleinen und mittelgrossen Bächen durch das Wasserforschungsinstitut der ETH (Eawag), bestätigt die starken Auswirkungen der Landwirtschaft. Sie hat nach der Temperatur den zweitgrössten Einfluss auf die Artenzusammensetzung in Gewässern (Schuwirth et al., 2019). Doch auch eine verarmte morphologische Struktur der Fliessgewässer beeinflusst die Artzusammensetzung des Makrozoobenthos negativ (Hutter et al., 2019, Schuwirth et al., 2019). In den grossen Flüssen sind die Hauptgründe für Defizite bei der Makrozoobenthos-Gesellschaft hydrologische und morphologische Beeinträchtigungen (Wüthrich, 2021).

Der Rückgang der Kleinlebewesen in den Gewässern hat weitreichende Konsequenzen für das Funktionieren von Gewässerlebensräumen und die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Gruppen von Arten. Wasseramseln

Abb. 17: Im Mittelland und in den Talebenen ist der ökologische Zustand deutlich schlechter als in höheren Lagen
Dargestellt sind jeweils die neusten Daten pro Stelle aus den NAWA- und BDM-Kampagnen.

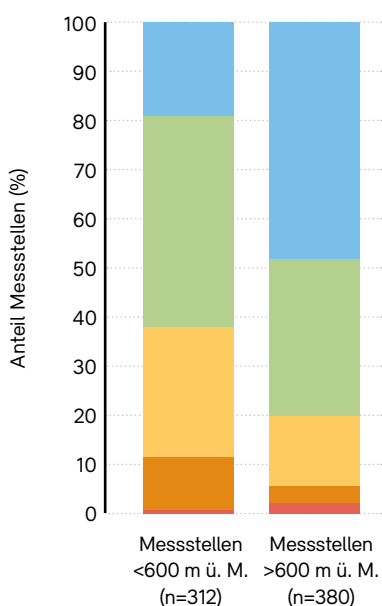
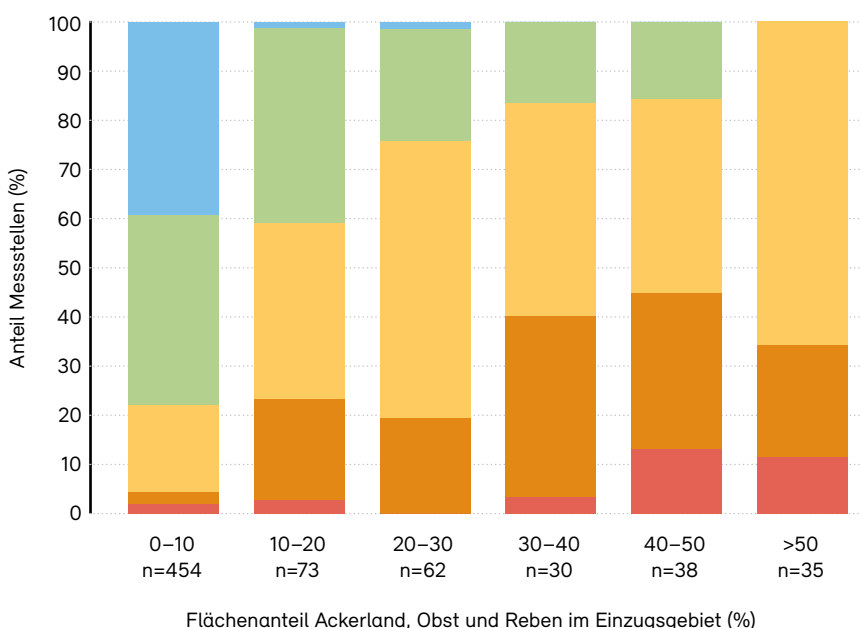


Abb. 18: Je höher der Anteil Ackerland, Obst und Reben im Einzugsgebiet, desto schlechter die Bewertung anhand des SPEAR_{Pesticides}-Index
Dargestellt sind jeweils die neusten Daten pro Stelle aus den NAWA- und BDM-Kampagnen.



Beurteilung anhand des IBCH_2019
 Sehr gut (blau) Gut (grün) Mässig (gelb)
 Unbefriedigend (orange) Schlecht (rot)

Beurteilung anhand des SPEAR_{pesticide}
 Sehr gut (blau) Gut (grün) Mässig (gelb)
 Unbefriedigend (orange) Schlecht (rot)

und Gebirgsstelzen leben beispielsweise am häufigsten an Bächen, die eine hohe Anzahl Gewässerinsekten aufweisen und mit dem Makrozoobenthos-Index als gut bewertet werden. Diese beiden Vogelarten ernähren sich zu einem grossen Teil von Insektenlarven. Die Wasseramsel fehlt hingegen völlig an Bächen mit ungenügender Qualität (Martinez et al., 2020). Auch das Nahrungsangebot für Fische verringert sich bei einem Rückgang von Gewässerinsekten und anderer Makrozoobenthos-Arten, was zu einem Rückgang der Fischdichte führen kann (Schneeweiss et al., 2019).

4.2.3 Wasserpflanzen

Vegetation oft nicht naturnah

Ein Grossteil der untersuchten NAWA-Messstellen ist natürlicherweise vegetationslos oder vegetationsarm und kann deshalb mittels Makrophyten-Index nicht beurteilt werden. Es bleiben 38 Bäche, bei denen eine Beurteilung möglich war. Bei rund 70 Prozent von ihnen wird der ökologische Zustand als ungenügend bewertet (Abb. 19; Küry und Mulattieri, 2021). Auch in den untersuchten grossen Flüssen ist die Zusammensetzung der Wasserpflanzen stark von menschlichen Einflüssen geprägt. Dies zeigen die regelmässig stattfindende Hochrheinuntersuchung sowie kantonale Kampagnen (Wüthrich, 2021). Hinzu kommt, dass rund die Hälfte der Makrophytenarten in der Schweiz als bedroht gelten (Bornand et al., 2016).

Ökomorphologie beeinflusst den Zustand stark

Fliessgewässer mit einer natürlichen oder naturnahen Ökomorphologie werden anhand des Makrophyten-Index häufiger als gut oder sehr gut bewertet als Fliessgewässer mit eingeschränkter Ökomorphologie (Abb. 20). Kantonale Daten bestätigen dieses Bild und zeigen, dass durch Gewässerverbauungen und den damit verbundenen Verlust an unterschiedlichen Lebensräumen, die Anzahl und die Vielfalt der Wasserpflanzen abnehmen (AWEL, 2018). Zahlreiche Gewässer werden trotz eines guten ökomorphologischen Zustands gemäss dem Makrophyten-Index als ungenügend bewertet (Abb. 20). Die entsprechenden Messstellen liegen allesamt in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft oder weisen hohe Abwasseranteile auf. Dies zeigt, dass sich auch eine schlechte Wasserqualität negativ auf die Makrophyten auswirkt.

Box 11: Wasserpflanzen als Gewässerqualitätsanzeiger

Wasserpflanzen, die von blossen Auge erkennbar sind, werden zu den sogenannten Makrophyten gezählt. Darunter fallen Gefässpflanzen, Moose und Algen. Da diese Arten meist standortgebunden und mehrjährig sind, integrieren sie die auf Gewässer einwirkenden Einflüsse über einen längeren Zeitraum. Diese Einwirkungen können von chemischer, morphologischer und hydrologischer Art sein.

Seit 2018 kommt eine neue Beurteilungsmethode zur Bewertung der Makrophyten zum Einsatz (Känel et al., 2018). Dies erklärt, weshalb die Beurteilung der Daten von 2012 und 2015 von jener im letzten Fliessgewässerbericht abweicht (Kunz et al., 2016).

Für grosse Fliessgewässer fehlt ein Index zur Beurteilung. Makrophyten-Erhebungen an diesen Gewässern werden deshalb nur beschreibend interpretiert.

Die Zusammensetzung der Wasserpflanzen in den grossen Flüssen ist stark von hydrologischen und morphologischen Beeinträchtigungen geprägt. Als Folge der Begradigungen und Verbauungen verschwanden bedeutende Vorkommen höherer Wasserpflanzen. Die aufgestauten Bereiche mit viel Sand und Schlamm sind zudem von Algen und Wasserpflanzen besiedelt, die für Flüsse eher untypisch sind (Wüthrich, 2021).

Abb. 19: Rund 70 Prozent der für eine Beurteilung geeigneten Bäche befinden sich gemäss dem Makrophyten-Index in einem ungenügenden Zustand

Ein ungenügender Zustand wird mit mässig, unbefriedigend und schlecht angezeigt. a) Alle NAWA TREND 2019; b) zeitliche Veränderung zwischen 2012 und 2019; nur Messstellen, welche 2012, 2015 und 2019 in NAWA TREND beprobt wurden.

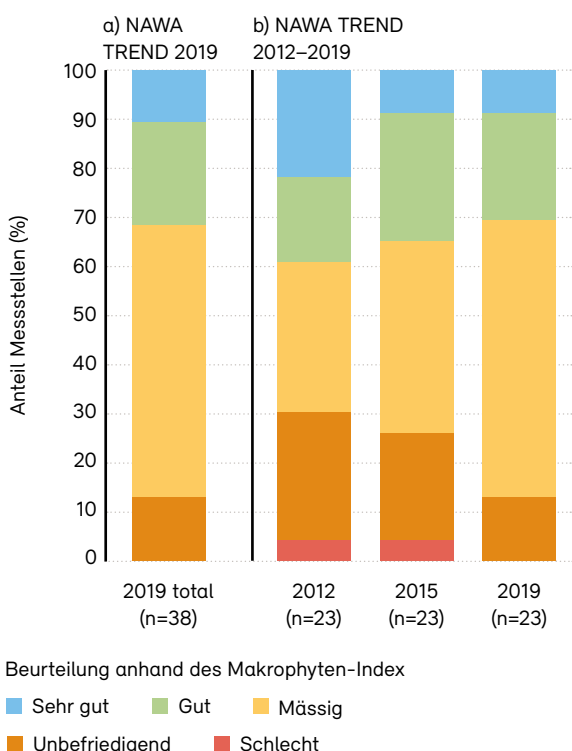
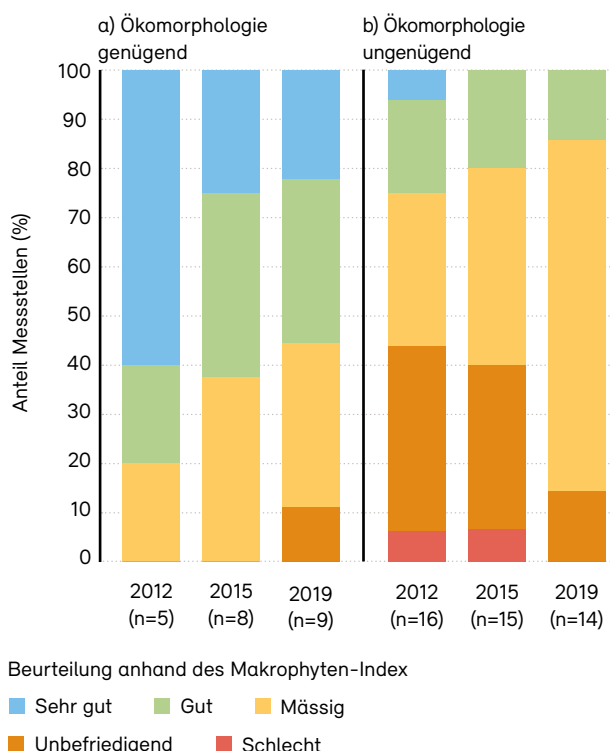


Abb. 20: Stellen mit einem ungenügenden ökomorphologischen Zustand zeigen gemäss Makrophyten-Index oft ebenfalls eine ungenügende ökologische Qualität

a) Ökomorphologie natürlich bis wenig beeinträchtigt; b) Ökomorphologie stark beeinträchtigt bis künstlich. Daten: NAWA TREND



4.2.4 Fische

Oft zu geringe Fischdichte

An über 60 Prozent der 63 im Rahmen von NAWA TREND untersuchten Stellen wird der Gewässerzustand basierend auf dem Fisch-Index als ungenügend beurteilt (Abb. 21a). Das heisst, dass die Artenzusammensetzung der Fische oft nicht standorttypisch ist, zu wenig Fischindividuen vorhanden sind und es von verschiedenen Arten nicht genügend Jungfische gibt (Abb. 22). Über die Zeit ist die Beurteilung mittels Fisch-Index sehr ähnlich geblieben (Abb. 21b; Ninck et al., 2021).

Die 2019 durchgeführte Spezialkampagne an kleinen Fließgewässern beurteilt 39 Prozent, der mittels Fisch-Index untersuchten Gewässer, als ungenügend (Abb. 21c) (Ninck et al., 2021).

Typische Fluss- und Wanderfische stark unter Druck

Langdistanzwanderer wie Lachs, Flussneunauge oder Maifisch sind in der Schweiz bereits seit längerer Zeit ausgestorben – wohl primär aufgrund der vielen kraftwerksbedingten Wanderhindernisse. Andere Wanderfische wie der Aal oder die Seeforelle sind stark gefährdet. In den grossen Fließgewässern sind auch die Bestände anderer Fische, mit geringer Toleranz gegenüber Veränderungen

Box 12: Fische als Gewässerqualitätsanzeiger

Fische sind gute Indikatoren zur Beurteilung des Gewässerzustands, weil sie das Zusammenwirken verschiedener menschlicher Einflüsse auf die Gewässer über längere Zeiträume anzeigen. Dazu gehören Veränderungen der strukturellen Lebensraumvielfalt oder Abflussregulierungen, Wanderhindernisse im Längsverlauf oder die Vernetzung der Gewässer mit ihren Zuflüssen. Von Bedeutung sind auch die chemische Wasserqualität und die Temperaturverhältnisse.

Die Fisch-Methode nach Modul-Stufen-Konzept (Fisch-Index) beurteilt den gesamtheitlichen Zustand basierend auf der Zusammensetzung der Fischarten, den Alters- oder Populationsstrukturen ausgewählter Fischarten, den Dichten typischer Fischarten sowie gemäss dem Gesundheitszustand der Fische (Schager und Peter, 2004). Die vier Parameter werden unterschiedlich gewichtet und zu einer Gesamtbewertung aufsummiert. Gegenwärtig wird das Modul überarbeitet. Der Fisch-Index kann an sehr grossen, nicht wabaren Fließgewässern nicht angewendet werden. Informationen zu den Fischbeständen in diesen Gewässern fließen hier deshalb nur beschreibend ein.

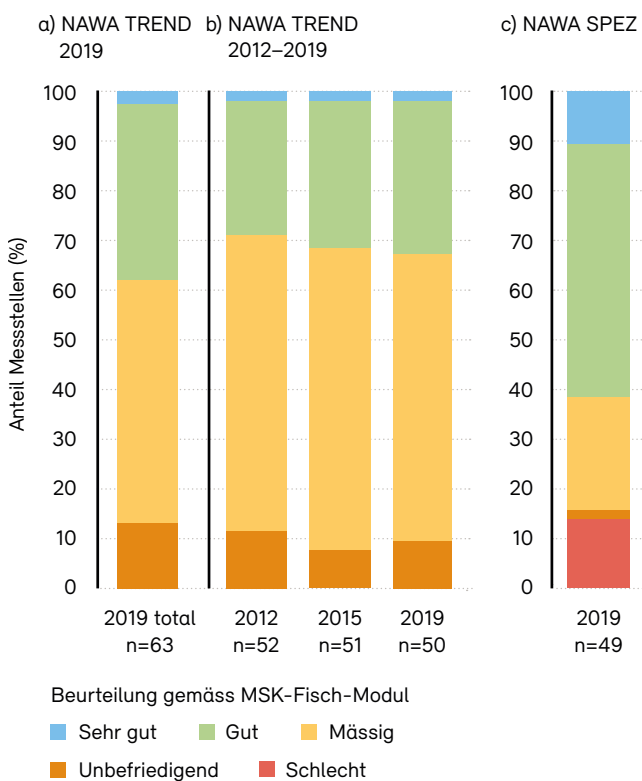
ihres Lebensraums, weiter rückläufig. Das betrifft insbesondere Spezialisten für frei fließende und kühle Flüsse. Die typischen Flussfischarten wie Nase, Äsche, Schneider und Strömer reagieren sensibel auf Wanderhindernisse, aber auch auf Veränderungen des Strömungscharakters oder des Geschiebetriebes sowie auf die Wassertemperatur und das Fehlen lockerer Kiesgründe als Laichplätze. In den stark von den grossen Flusskraftwerken geprägten Abschnitten ist folglich die Artenzusammensetzung nicht standorttypisch. Egli, Hechte, Welse und verschiedene Karpfenartige Fische sind an langsam fließende oder stehende Gewässer angepasst und ersetzen oft die typischen strömungs- und kaltwasserangepassten, kieslachenden Flussfische (Wüthrich, 2021).

Fische brauchen vielfältig strukturierte Lebensräume

Vielältig strukturierte Lebensräume mit unterschiedlichen Wassertiefen, Strömungsgeschwindigkeiten und variierender Gewässerbreite wirken sich positiv auf den Fischbestand aus. Die NAWA TREND-Stellen sind in ihrer strukturellen Vielfalt

Abb. 21: Bei 60 Prozent der mittelgrossen und 39 Prozent der kleinen Fließgewässer wird der Gewässerzustand anhand der Fische als ungenügend bewertet

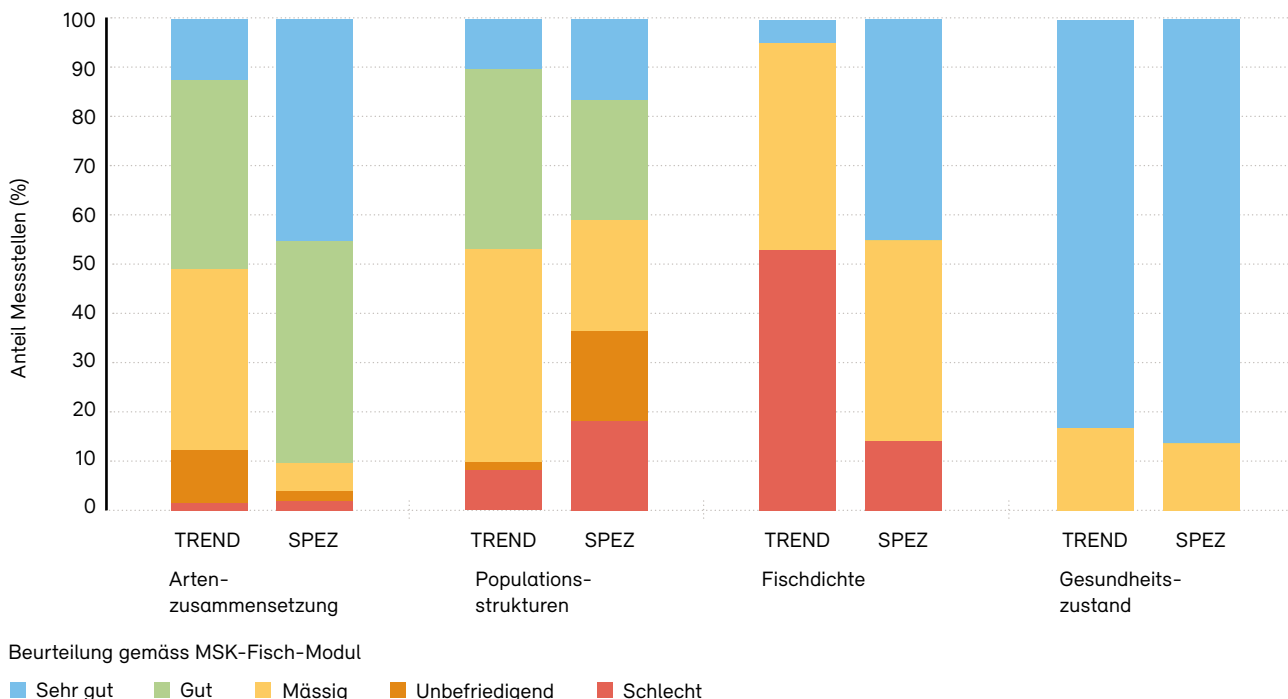
Ein ungenügender Zustand wird mit mässig, unbefriedigend und schlecht angezeigt. a) Alle Messstellen NAWA TREND 2019; b) zeitliche Veränderung zwischen 2012 und 2019, nur Messstellen, welche 2012, 2015 und 2019 in NAWA TREND beprobt wurden; c) NAWA SPEZ: Spezialuntersuchung an kleinen Bächen.



stärker beeinträchtigt als die NAWA SPEZ-Stellen – ihre Ökomorphologie wird im Durchschnitt um eine Klasse schlechter bewertet als an den SPEZ-Stellen. Dies ist wahrscheinlich mit ein Grund für die besseren Bewertung der SPEZ-Stellen (Abb. 21). Insgesamt unterstreicht der gemäss Fisch-Index bessere ökologische Zustand, dass die kleinen Gewässer wichtige Lebensräume für Fische darstellen. Generell sind kleine Fließgewässer ein zentrales Element des gesamten Gewässernetzwerks (Peter und Schölzel, 2018).

Abb. 22: Besonders schlecht bewertet wird der Parameter «Fischdichte»

Dargestellt sind die NAWA TREND- (63 Stellen an überwiegend mittelgrossen Fliessgewässern) und SPEZ-Erhebungen (49 Stellen an kleinen Bächen) von 2019. Der flächendeckend sehr gut bewertete Parameter «Gesundheitszustand» beschränkt sich auf von blossen Auge erkennbare Deformationen des Körperbaus und ist nicht geeignet, um Stress oder Fischkrankheiten wie die proliferative Nierenkrankheit PKD anzuzeigen.



Jeden zweiten Tag ein Fischsterben

Gewässerverunreinigungen bedrohen Fische ebenfalls. So kommt es in der Schweiz durchschnittlich jeden zweiten Tag zu einem Fischsterben durch Gülle, Zementwasser oder andere Ursachen (BAFU, 2020). Auch Mikroverunreinigungen aus häuslichem Abwasser können bei Fischen Stress auslösen. Dies gilt insbesondere dort, wo die Kläranlagen nicht mit einer vierten Reinigungsstufe ausgerüstet sind (Zöllig et al., 2017). Pflanzenschutzmittel (PSM) aus der Landwirtschaft können sich in Konzentrationen, wie sie in Schweizer Gewässern beobachtet werden, direkt auf das Wachstum, die Fortpflanzung oder den Geruchssinn von Fischen auswirken. Frühe Lebensstadien wie Fischlarven sowie forellenartige Fische (Salmoniden), scheinen gegenüber PSM besonders empfindlich zu sein. PSM-Effekte auf wichtige Fischnährtiere (s. Kap. 4.2.2) können die Nahrungsgrundlage der Fische gefährden (Schneeweiss et al., 2019).

Fischbesatz, Wasserkraft und weitere Einflussfaktoren

Mit Fischbesatz, dem künstlichen Erbrüten und Aussetzen von Fischen wird versucht, menschengemachte Gewässerdefizite mit negativen Auswirkungen auf den Fischbestand und somit auch auf die fischereiliche Nutzung zu kompensieren. Doch Besatz kann selbst zu einer Verarmung der Fischvielfalt führen. Beispielsweise dominieren heute als Folge von Besatz nichteinheimische Atlantische Forellen oder Rotaugen die Gewässer der Alpensüdseite. Die differenzierten genetischen Eigenschaften zahlreicher Lokalpopulationen wurden zudem vereinheitlicht.

Die Wasserkraftnutzung ihrerseits kann neben den schon erwähnten negativen Auswirkungen auf die Fische in grossen Flüssen zu unnatürlichen Schwall-Sunk- oder Restwasserabflüssen führen. Auf stark von Schwall-Sunk geprägten Abschnitten oder wenn gesetzlich vorgeschriebene Restwassermengen nicht eingehalten werden, kann sich keine intakte Fischgesellschaft entwickeln.

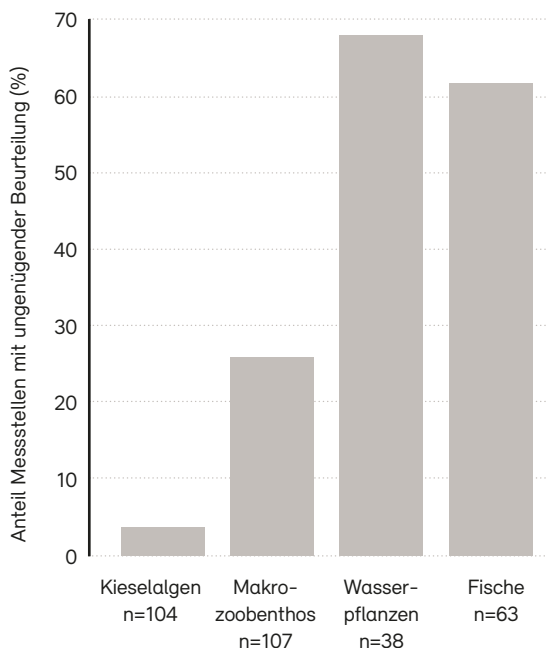
4.2.5 Gesamtbetrachtung

Die verwendeten biologischen Indizes reagieren unterschiedlich auf Gewässerbelastungen. So wird ein Fließgewässerabschnitt mit geringer Nährstoffbelastung, aber hohen strukturellen Defiziten beispielsweise mit dem Kieselalgen-Index als gut bewertet, mit dem Fisch- und Makrophyten-Index jedoch als schlecht. Ein Fließgewässer mit geringer Nährstoffbelastung, hoher Pestizidbelastung, aber guten strukturellen Bedingungen wird mit dem Kieselalgen-Index als gut, hinsichtlich Makrozoobenthos als schlecht und hinsichtlich Fischen allenfalls als mässig bewertet.

Aus diesem Grund ist der Prozentsatz der Fließgewässer, welche die ökologischen Ziele nicht erreichen, je nach Indikator unterschiedlich hoch (Abb. 23). Besonders schlecht fällt die Beurteilung anhand der Indikatoren «Fische» und «Makrophyten» aus. Diese beiden Indikatoren reagieren auf

Abb. 23: Die biologischen Indizes beurteilen unterschiedliche Faktoren der Gewässerqualität, weshalb sich der Zielerfüllungsgrad je nach Index stark unterscheidet

Kieselalgen indizieren die Nährstoffbelastung, Makrozoobenthos die Gewässerqualität und die Vielfalt der Habitate, Wasserpflanzen und Fische integrieren die unterschiedlichen Belastungen.

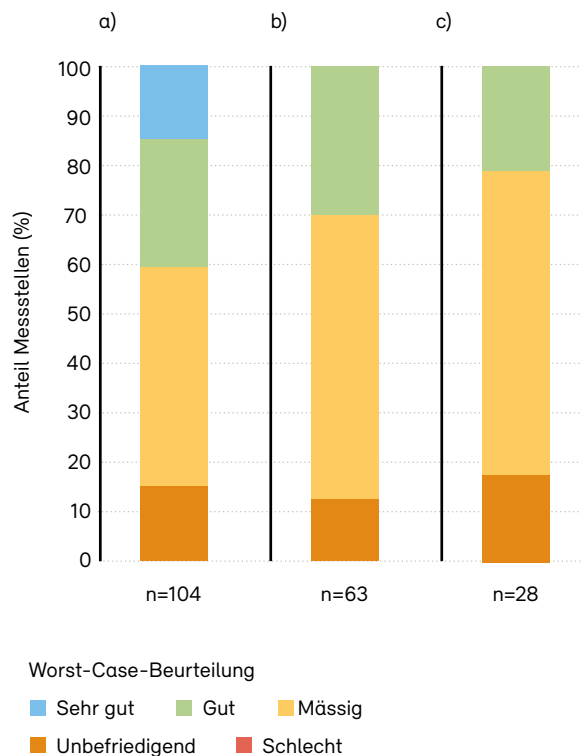


eine Vielzahl von Belastungen und sind daher besonders gut geeignet, die Summe und das komplexe Zusammenspiel der menschlichen Einflüsse gesamthaft abzubilden.

Eine umfassende Beurteilung des ökologischen Zustands eines Fließgewässers ist möglich, wenn alle Indikatoren gemeinsam miteinbezogen werden. Der Gesamtzustand eines Gewässerabschnitts wird – analog dem Vorgehen gemäss der EU Wasserrahmenrichtlinie – jeweils vom Indikator mit der schlechtesten Bewertung bestimmt. So zeigt sich, dass über 60 Prozent der Fließgewässer die ökologischen Ziele der GSchV nicht erfüllen (Abb. 24a). Werden nur die Gewässer beurteilt, an denen der Gewässerzustand

Abb. 24: Je mehr biologische Indikatoren zur Beurteilung eines Gewässers herangezogen werden, desto schlechter wird die Beurteilung

Der Gesamtzustand wird jeweils vom Indikator mit der schlechtesten Bewertung bestimmt a) Beurteilung aller NAWA TREND-Messstellen anhand von zwei bis vier Indikatoren; b) Beurteilung anhand von drei Indikatoren (Kieselalgen, Makrozoobenthos und Fische); c) Beurteilung anhand von vier Indikatoren (Kieselalgen, Makrozoobenthos, Fische und Wasserpflanzen).



auch mit Fischen bewertet werden kann, sind es gar über 70 Prozent, die einen ungenügenden Zustand aufweisen (Abb. 24b). Betrachtet man nur die Gewässer, an denen alle vier biologischen Indikatoren erhoben werden konnten, dann weisen sogar rund 80 Prozent der Stellen einen ungenügenden Zustand auf (Abb. 24c).

Die umfassende biologische Beurteilung zeigt also, dass ein Grossteil der untersuchten Bäche und Flüsse keinen funktionsfähigen Lebensraum für Tiere und Pflanzen darstellt. Sie erfüllen somit die ökologischen Ziele der GSchV nicht. Dieser ungenügende Zustand deckt sich mit der Tatsache, dass der Anteil gefährdeter Arten in und an Fließgewässern sehr hoch ist (s. Kap. 4.1).

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > *Thema Wasser* > *Fachinformationen* > *Zustand der Gewässer* > *Fließgewässer* > *Wasserqualität* > *Biologie*
- www.modul-stufen-konzept.ch

4.3 Seen

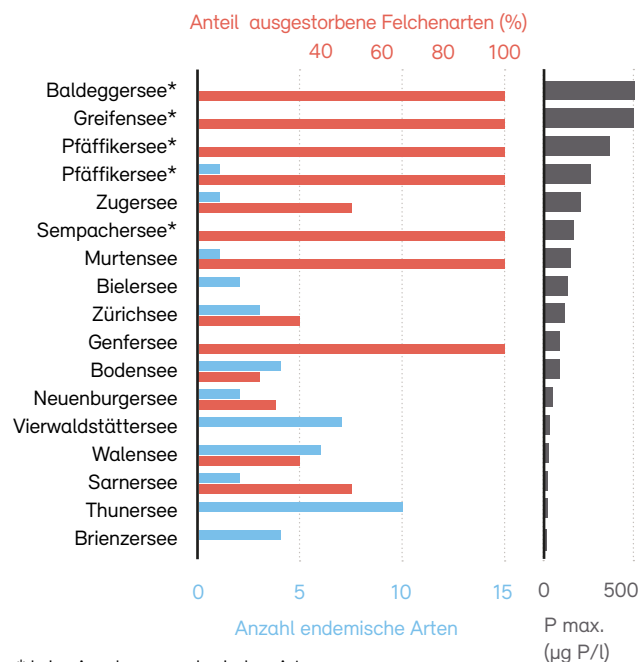
Die heutigen Pflanzen- und Tiergesellschaften der Schweizer Seen sind stark von menschlichen Einflüssen geprägt. Die stärksten Auswirkungen auf die Artenzusammensetzungen in den Seen hat nach wie vor die Nährstoffbelastung, die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ihren Höhepunkt erreichte.

Folgen der Überdüngung deutlich sichtbar

Die Algenmengen haben erst in einem Drittel der grösseren Seen wieder ein naturnahes Niveau erreicht, obwohl die Phosphorkonzentrationen seit den 1980er Jahren deutlich zurückgegangen sind (s. Kap. 3.2.2). Insbesondere die Kleinseen im Mittelland sind aber nach wie vor häufig von zu hohen Nährstoffkonzentrationen betroffen, was zu Sauerstoffdefiziten und dem Verlust von Lebensräumen führt. In vielen Seen hat sich zudem in den letzten Jahren die Zusammensetzung der

Abb. 25: Die heutige Fischzusammensetzung in den Schweizer Seen ist stark vom maximalen Phosphorgehalt während der Überdüngungsphase geprägt

Anteil der Felchenarten, die während der Überdüngungsphase in 17 grossen Seen ausgestorben sind (Vonlanthen et al., 2012) und Anzahl heute vorhandener endemischer Arten (Alexander und Seehausen, 2021). Die Seen sind geordnet nach dem maximalen Phosphorgehalt ($\mu\text{g/l}$) während der Überdüngungsphase (Vonlanthen et al., 2012).



Box 13: Beurteilung der Seen

Grundlage für die biologische Beurteilung von Seen bilden kantonale Untersuchungsprogramme, Programme der internationalen Seekommissionen und wissenschaftliche Untersuchungen. Da es für Seen keine standardisierten Bewertungsmethoden nach MSK gibt, wurde die Entwicklung der Seen in den letzten Jahrzehnten primär verbal beschrieben.

Algen stark verändert – mit Folgen für das gesamte Nahrungsnetz. So konnten sich Blaualgen (Cyanobakterien) tendenziell ausbreiten (s. Kap. 5.3). Nur in Seen wie dem Walen-, Brienzer- oder Vierwaldstättersee, die nie überdüngt waren, entspricht auch die Algenzusammensetzung heute einem natürlichen Zustand (Binderheim, 2021).

Einzigartige Fischarten ausgestorben

Die Schweizer Seen werden von überdurchschnittlich vielen endemischen Fischarten bewohnt – Arten also, die nur ein kleines Verbreitungsgebiet haben. Während der Überdüngungsphase sind wegen des knappen Sauerstoffs am Seegrund häufig jene Fische ausgestorben, die ans Leben in grossen Tiefen angepasst waren. Dazu gehören insbesondere Felchenarten (Abb. 25). Nur in nie überdüngten Seen wie dem Brienzer-, dem Thuner- oder dem Walensee leben in grossen Tiefen nach wie vor viele Felchen- und Saiblingsarten.

Verbesserungen erkennbar

Es lassen sich aber auch positive Entwicklungen beobachten: Im Hallwilersee zeigt sich zum Beispiel, dass dank besserer Sauerstoffversorgung das Makrozoobenthos erneut in grössere Tiefen vordringt (Binderheim, 2021). Im Vierwaldstättersee wurde der ausgestorbene geglaubte Edelfisch coregonus nobilis wiederentdeckt – wohl wegen der sich wieder verbesserten Sauerstoffverhältnisse. Positiv ist auch, dass in manchen Seen die Felchen wieder in tieferen sauerstoffreicheren Schichten laichen.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Seen > Qualität

4.4 Invasive gebietsfremde Pflanzen und Tiere

In den Schweizer Gewässern leben immer mehr gebietsfremde Pflanzen und Tiere. Besonders häufig sind sie in den grossen Flüssen und in einigen Seen, wo invasive Arten ganze Lebensräume stark verändern können und somit einen der Gründe für den Rückgang der Biodiversität darstellen.

In den Schweizer Bächen und in den kleinen bis mittelgrossen Flüssen kommen bis anhin nur wenige gebietsfremde Arten vor. An den NAWA TREND-Stellen wurden keine gebietsfremden Wasserpflanzen gefunden (Küry und Mulattieri, 2021), und nur an fünf Strecken wurden gebietsfremde Fische gefangen (Ninck et al., 2021). Der Anteil an der Gesamtzahl der Fischindividuen ist zudem klein. Gebietsfremde Kieselalgen und gebietsfremdes Makrozoobenthos hingegen haben sich in den letzten Jahren weiterverbreitet (Gufler et al., 2021, Haberthür 2021).

Stark betroffen: Rhein, Aare und andere grosse Flüsse

Besonders ausgeprägt ist die Zunahme von gebietsfremden Arten in den grossen Flüssen. Im Hochrhein etwa waren bei einer Untersuchung im Jahr 2018 rund 13 Prozent der total 199 bestimmten Makrozoobenthosarten nicht einheimisch. Einige dieser gebietsfremden Arten kommen in sehr hoher Zahl vor. So macht der Anteil der gebietsfremden Arten an einigen Untersuchungsstellen über 70 Prozent aller Individuen aus (Abb. 26). Da viele dieser Arten zudem viel grösser werden als die angestammten, kann ihr Anteil an der gesamten Biomasse sogar über 90 Prozent betragen. Die angestammten Arten konnten sich nur in den noch verbliebenen naturnahen Fliessabschnitten in ausreichend grosser Zahl und Qualität halten, da dort eine grosse Vielfalt von Lebensräumen existiert: Hemishofen, Rheinau, Ellikon, Tösslegg (Rey und Hesselschwerdt, 2021).

Stark invasiv sind Muscheln-, Schnecken- und Flohkrebsarten sowie die Donau-Assel. Der Gewässergrund des Hochrheins ist teilweise richtiggehend von Muschelteppichen bedeckt – mit bis zu über 10 000 Tieren pro Quadratmeter. Doch auch unter den invasiven Arten herrscht Konkurrenzdruck: Momentan breitet sich im Rhein die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) aus und verdrängt dabei die Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*).

Box 14: Eingeführte Pflanzen und Tiere und ihre Transportwege in Schweizer Gewässer

Viele gebietsfremde Arten sind unproblematisch, doch einige von ihnen breiten sich bei uns stark aus und verursachen grosse Schäden. In diesen Fällen wird von invasiven gebietsfremden Arten gesprochen. Sie können einheimische Arten durch Konkurrenz, Frassdruck oder das Übertragen von Krankheiten gefährden. Ausserdem können sie zu einem gesundheitlichen Problem für Menschen werden oder ökonomische Schäden anrichten.

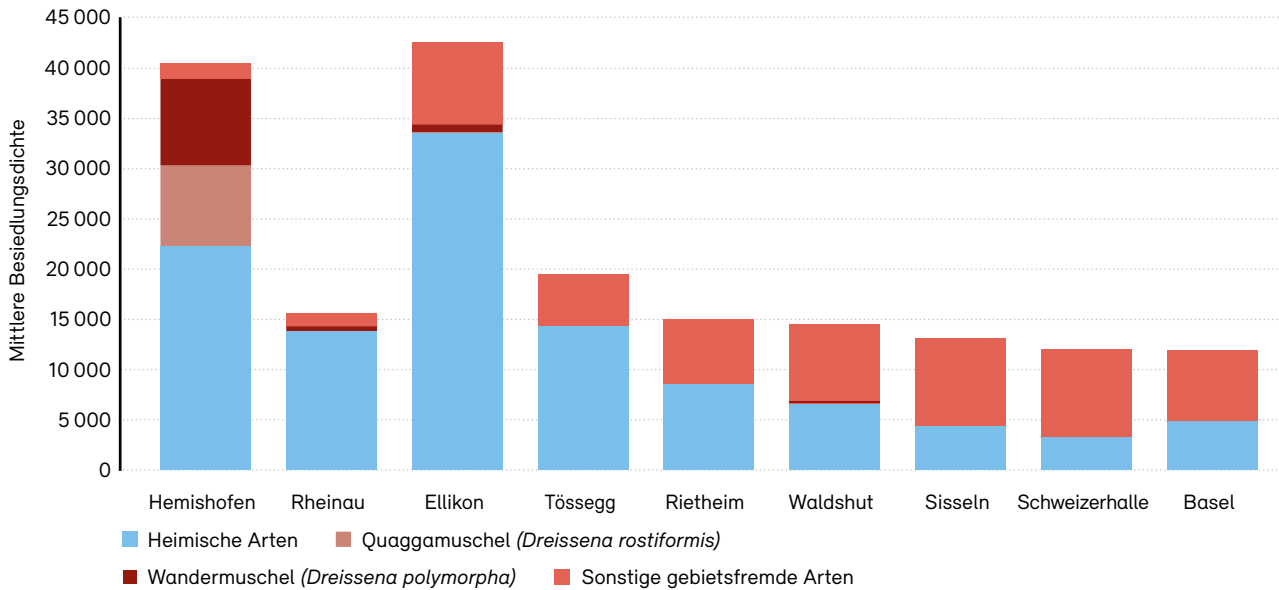
Gebietsfremde Gewässerlebewesen werden hauptsächlich als blinde Passagiere durch die Schifffahrt eingeschleppt. Innerhalb der Schweiz werden Lebewesen auch beim Transport von Freizeitbooten, durch Vögel oder Kiestransporte bei Wasserbauprojekten verfrachtet. Gebietsfremde Arten werden aber auch absichtlich eingeführt, zum Beispiel die fischereilich attraktiven Regenbogenforellen oder Zander. Auch robuste amerikanische Krebsarten wurden eingeführt, um die Verluste der heimischen Edelkrebspopulationen wettzumachen. Die gebietsfremden Krebsarten sind Träger der Krebspest, die sich auf die einheimischen Arten übertragen und deren Populationen stark reduziert hat. Daneben wurden und werden immer noch zahlreiche Arten aus der Heimtierhaltung illegal ausgesetzt, beispielsweise Goldfische.

Analog zum Hochrhein wurden auch in der Aare zwischen Bielersee und Rheinmündung sowie in den Aarezufliessen Reuss und Limmat eine rasch verlaufende Ausbreitung gebietsfremder Makrozoobenthosarten und Kieselalgen dokumentiert (Abb. 28). Noch stärker ausgeprägt ist der Anteil nichteinheimischer Fischarten an der gesamten Anzahl Fischarten (Abb. 28 Wüthrich, 2021).

Eine grossangelegte Erhebung der Fischbiodiversität in Schweizer Fliessgewässern (Progetto Fiumi) wies insgesamt elf nichteinheimische Fischarten nach. An 26 von 324 untersuchten Stellen wurden nichteinheimische Arten gefunden. Einige von ihnen – etwa die Schwarzmundgrundel – kommen nur lokal begrenzt vor, aber in so hohen Dichten, dass sie einen grossen Einfluss auf die Zusammensetzung der Artengemeinschaft haben. Andere sind relativ weit verbreitet, machen aber nur einen kleinen Teil der lokalen Fischgemein-

Abb. 26: Nur an den naturnahen Streckenabschnitten des Hochrheins konnten sich heimische Arten gut halten

Mittlere Makrozoobenthos-Besiedlungsdichte (Anzahl Individuen pro m^2) an den neun Probenahmequerschnitten im Rhein zwischen Bodensee und Basel im Hochrhein. Daten von 2017 und 2018 (Rey und Hesselschwerdt, 2021).



schaft aus (beispielsweise die Regenbogenforelle). Die meisten nicht heimischen Arten finden sich in Staubereichen, in langsam fließenden Gewässern, in der Nähe von Seen oder werden aus fischereilichen Gründen ausgesetzt (Brodersen et al., in Erarbeitung).

Abb. 27: Der Hochrhein und auch andere Schweizer Flüsse und Seen werden teilweise durch Teppiche invasiver Muscheln richtiggehend bedeckt

Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) im Bodensee bei Münsterlingen.



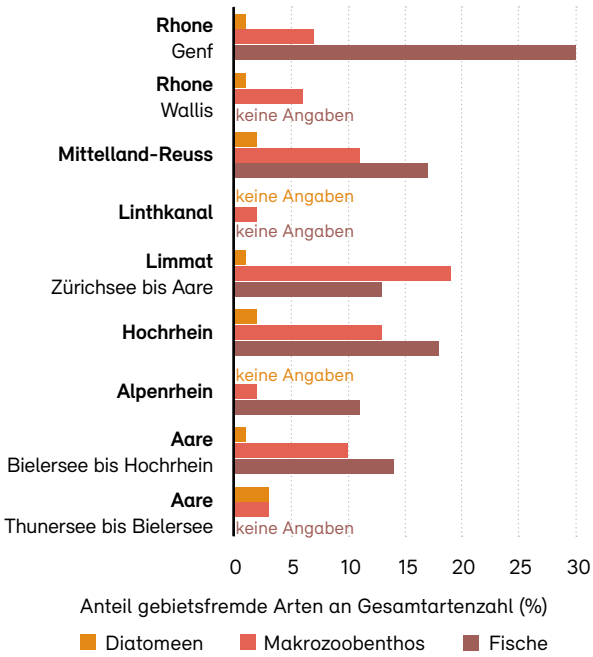
Foto: HYDRA

Probleme auch in den meisten grösseren Seen

Von 23 untersuchten Seen sind lediglich der Walen- und der Brienersee frei von standortfremden Fischen. Das zeigte die standardisierte Befischung aller grosser Seen (Alexander und Seehausen, 2021). In allen anderen untersuchten Seen kommen gebietsfremde Fische vor (Abb. 29a). Zu den am weitesten verbreiteten gebietsfremden Fischen zählen der Sonnenbarsch, der Zander, der Giebel und der Kaulbarsch. Daneben gibt es Fischarten wie etwa den Dreistacheligen Stichling, der nur in wenigen Seen nachgewiesen wurde. Im Bodensee hingegen ist er stark invasiv und hat die natürliche Fischzusammensetzung einschneidend verändert (Alexander und Seehausen, 2021).

Kantonale Untersuchungen zeigen, dass in allen untersuchten Seen gebietsfremde Makrozoobenthos-Arten vorkommen (Abb. 29b). Zu den am weitesten verbreiteten invasiven Arten gehört die Wandermuschel, die sich praktisch in allen Seen etabliert hat. Ausserdem wurden die Asiatische Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*) in zehn Seen, der Kamberkrebs in elf Seen und der Höckerflohkrebs in acht Seen nachgewiesen. Die stark invasive Quaggamuschel (Abb. 27)

Abb. 28: Der Anteil gebietsfremder Arten ist im Hochrhein, im Mittelland und in der Rhone besonders hoch



Daten: Kantonale Untersuchungen; für mehr Details siehe Wüthrich (2021)

kommt schon in fünf der grösseren Seen vor (Boden-, Genfer-, Neuenburger-, Murten- und Bielersee)⁶, obwohl sie erst 2014 erstmals in der Schweiz nachgewiesen wurde. Die aus dem Schwarzmeergebiet stammende Muschel ernährt sich von Plankton, das sie aus dem Seewasser herausfiltert. Sie stellt somit eine Nahrungskonkurrenz für Fische und andere Organismen dar. Weil die Muscheln sehr schnell wachsen und bis in grosse Tiefen vorkommen, können sie ganze Ökosysteme stark verändern. Da sie ausserdem menschliche Infrastrukturen wie Trinkwasserrohre bewachen, stellen sie auch die Wasserversorger vor grosse Herausforderungen.

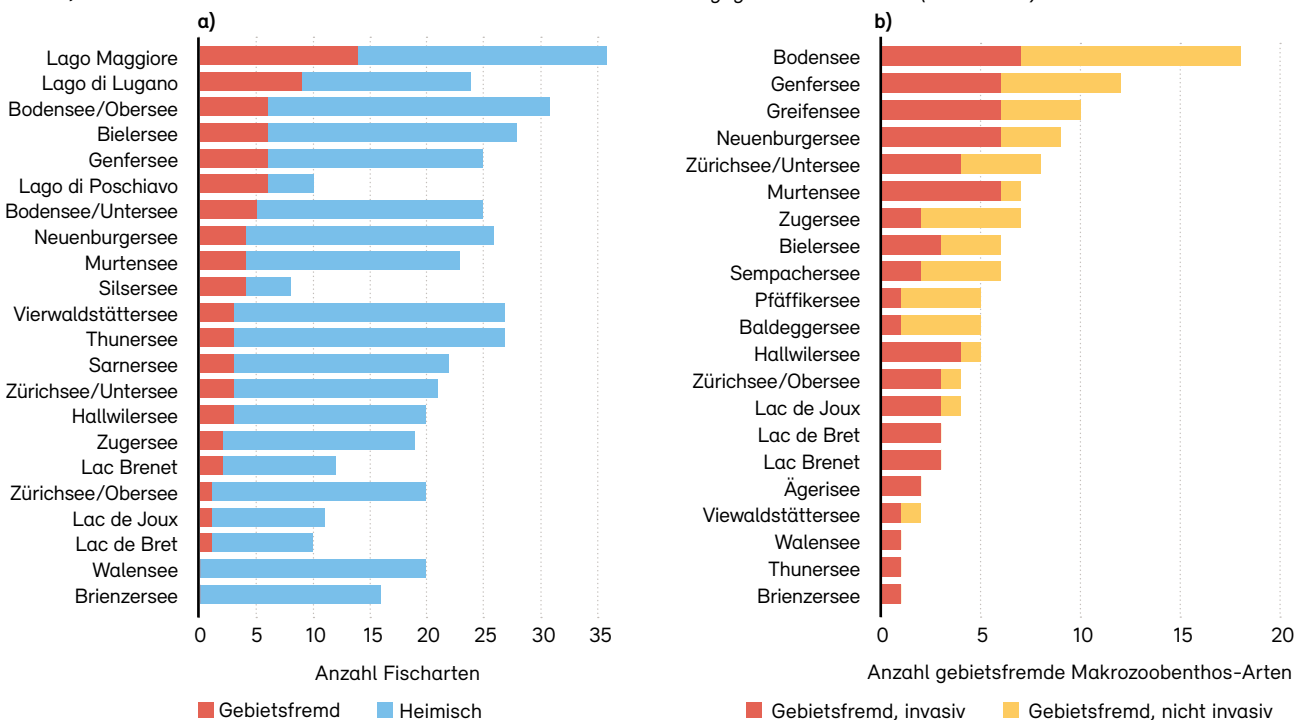
Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Biodiversität > Fachinformationen > Artenmanagement > Gebietsfremde Arten

⁶ 2020 wurde sie erstmals auch im Lago di Lugano und Lago Maggiore mittels Umwelt-DNA-Analyse nachgewiesen

Abb. 29: Tiefer liegende Seen werden durch eine hohe Anzahl gebietsfremder Fische und Makrozoobenthos-Arten besiedelt, höher liegende Seen blieben bisher weitgehend verschont

a) Anzahl gebietsfremder und heimischer Fische, standardisiert im Rahmen des Projet Lac erhoben (Alexander, 2021); b) Anzahl invasiver und nicht invasiver gebietsfremder Makrozoobenthos-Arten. Die Daten sind aus kantonalen Berichten zusammengetragen und nicht standardisiert erhoben, weshalb auch die Anzahl heimische Makrozoobenthosarten nicht angegeben werden kann (Stand 2019).



5 Auswirkungen des Klimawandels

Der Klimawandel beeinflusst die Schweizer Gewässer deutlich: Viele Flüsse und Seen und in geringerem Ausmass auch das Grundwasser wurden in den vergangenen Jahrzehnten wärmer. Ebenso haben sich die saisonale Verteilung der Wassermengen in den Flüssen und Seen sowie die Grundwasserstände und Quellabflüsse verändert. Die Wasserlebewesen geraten durch die klimabedingten Auswirkungen noch mehr unter Druck – insbesondere empfindliche, kälteliebende Arten.



Box 15: Zusätzliche Erwärmung durch Kältenutzung

Die Fliessgewässertemperaturen werden auch durch die direkte Kälte- und Wärmenutzung beeinflusst – jedoch in geringerer Masse als durch den Klimawandel. Trotzdem können im Einzelfall Kühlwassereinleitungen die Flüsse stark erwärmen. Den mit Abstand grössten Kühlbedarf hat das Kernkraftwerk Beznau – das einzige thermische Kraftwerk der Schweiz mit Durchlaufkühlung. Es trägt zu rund einem Viertel aller Wärmeeinleitungen im Schweizer Rheineinzugsgebiet bei. Bei niedrigem Wasserstand im Sommer kann die Wassertemperatur der Aare durch das Kühlwasser um bis zu 1,5 °C steigen. Spätestens ab einer Temperatur von 25 °C muss der Wärmeeintrag reduziert oder ganz eingestellt werden. Aktuell sind zahlreiche Systeme für kombinierte Kälte- und Wärmenutzungen von Seen, Fliessgewässern oder Grundwasser im Bau oder in Planung. Dies ermöglicht die vermehrte Nutzung lokaler und erneuerbarer Energieressourcen. In welchem Masse die Gewässerökosysteme neben dem Klimawandel dadurch einem zusätzlichen Hitzestress ausgesetzt sind, ist weiter zu beobachten.

Anteil an Schmelzwasser gar zu abnehmenden Temperaturen (z. B. Massa in Blatten, Abb. 30). Zudem wird bei kleineren Fliessgewässern aufgrund anderer Kaltwasserzuflüsse, beispielsweise kalte Seitenzuflüsse oder direkte

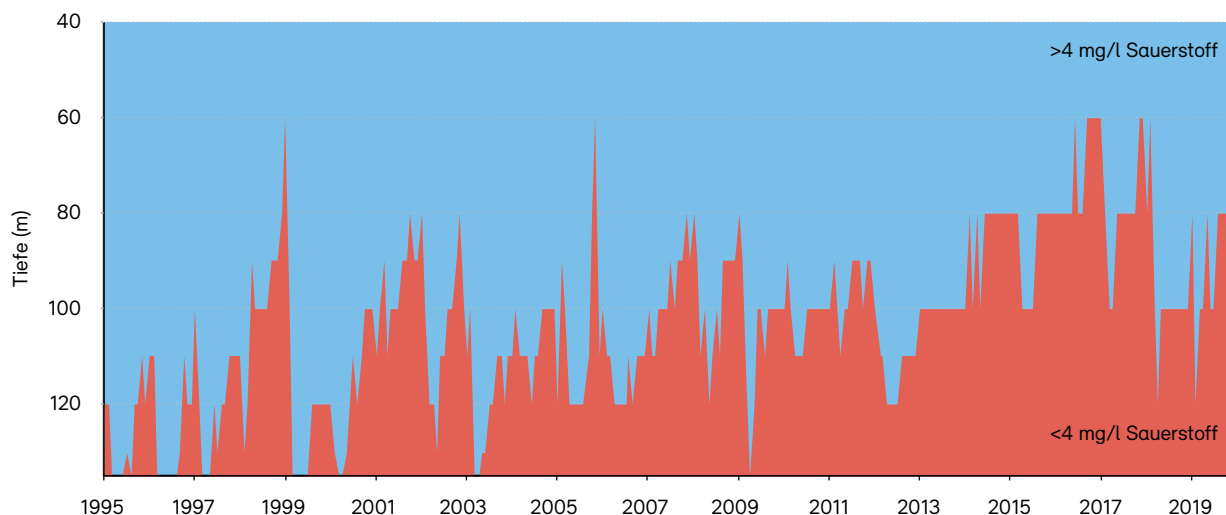
Grundwasseraufstösse aber auch dank den dichten Ufergehölzen als wichtiger lokaler Effekt die Erwärmung des Gewässers abgedämpft.

5.1.2 Seen

Auch die Temperaturen der Seen haben sich in den letzten Jahren aufgrund des Klimawandels erhöht (Michel et al. 2021). So erwärmte sich das Oberflächenwasser seit 1980 in den meisten Seen um etwa 0.4 °C pro Jahrzehnt. Die Erwärmung des Tiefenwassers ist variabler und bewegt sich bei den tiefen Seen meist zwischen 0.0 und 0.2 °C pro Jahrzehnt.

Die Erwärmung wirkt sich direkt auf die Mischungsdynamik und damit auf den Sauerstoffgehalt in den tieferen Schichten der Seen aus. Das wärmere Wasser führt dazu, dass die stabile Schichtung der Seen im Frühjahr früher beginnt und sich im Herbst später auflöst. Entsprechend steht mehr Zeit zur Verfügung, um den Sauerstoff im Tiefenwasser abzubauen. Zudem wird wegen der abnehmenden Intensität, bzw. Häufigkeit der Mischung in manchen Seen weniger Sauerstoff ins Tiefenwasser nachgeliefert. Die veränderte Mischungsdynamik beeinflusst zudem den Nährstoffkreislauf (Abb. 32, s. Kap 3.2.2). Als Folge davon wird der Lebensraum für Fische eingeschränkt und es können vermehrt potenziell toxische Algenblüten auftreten (s. Kap. 5.3).

Abb. 32: Wärmerees Seewasser führt zu einer Abnahme der Durchmischungstiefe im Zürichsee, wodurch sich die sauerstoffarme Zone ausdehnt



Daten: Kanton Zürich/AWEL

5.1.3 Grundwasser

In gewissen Regionen deuten leicht ansteigende Grundwassertemperaturen auf den Klimawandel hin. So steigen im Alpenraum, in Lockergesteinen ausserhalb von Talsohlen im Mittelland sowie im Jura die Grundwassertemperaturen um maximal 0,06 °C pro Jahr. Schweizweit ist derzeit jedoch keine generelle Zunahme der Grundwassertemperatur zu beobachten. Allerdings führen direkte menschliche Einflüsse auf das Grundwasser zu messbaren Veränderungen der Grundwassertemperatur (Box 16).

Entsprechend dem übergeordneten Verlauf der Lufttemperatur lassen sich mehrjährige Perioden mit eher tiefen und eher hohen Grundwassertemperaturen erkennen. So stellen im langjährigen Vergleich die Jahre 2015 bis 2021 eine Periode mit überdurchschnittlich hohen Grundwassertemperaturen dar (Abb. 33).

Weitere Informationen:

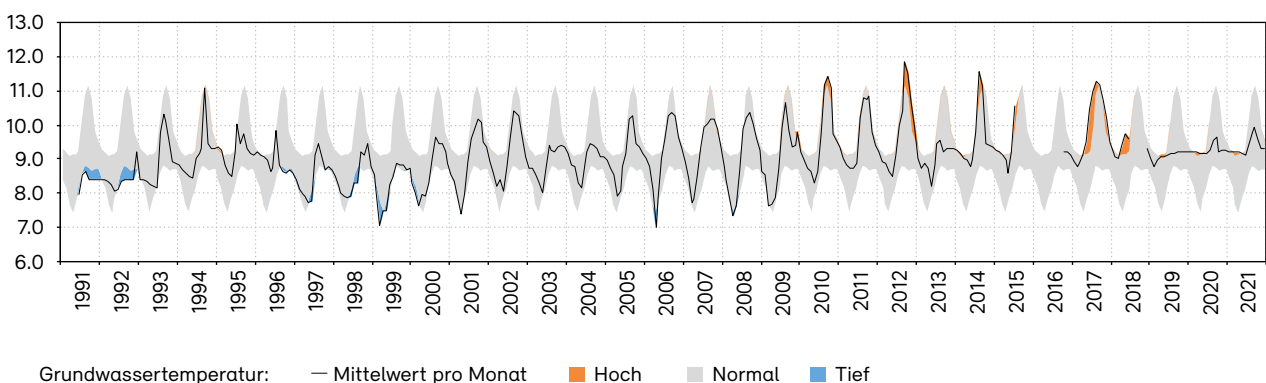
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Fließgewässer > Temperatur
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Grundwasser > Grundwassertemperatur
- <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/sectoren/wasserwirtschaft/auswirkungen-auf-den-wasserhaushalt.html#-888945858>

Box 16: Deutliche Erwärmung durch direkte anthropogene Einflüsse

Direkte anthropogene Einflüsse führen insbesondere in den Flusstälern und in urbanen Räumen zu deutlich steigenden Grundwassertemperaturen um bis zu 1 °C pro zehn Jahre (Schürch et al., 2018). In dicht besiedelten Gebieten ist diese Zunahme auf die Erwärmung durch Infrastrukturen, Einbauten (Bahn- und Strassentunneln, Einstellhallen) oder einen direkten thermischen Eintrag (Gebäudekühlung) ins Grundwasser zurückzuführen. Andere direkte Einwirkungen im urbanen Raum können allerdings auch einen gegenläufigen Effekt (Temperaturrückgang) haben, wie etwa bei der thermischen Nutzung des Untergrunds durch Wärmeentzug zum Heizen.

Abb. 33: In den letzten Jahren war die Grundwassertemperatur an der Messstelle Stans höher als in den 1990er Jahre

Jahreswert liegt im Bereich der mittleren (grau), der höchsten 10 Prozent (orange) oder der tiefsten 10 Prozent (blau) der Werte zwischen 1991 und 2021.



Daten: NAQUA-Messstelle Stans

5.2 Abflüsse und Wasserstände

Die saisonale Verteilung der Wassermengen in Flüssen und Seen sowie die Grundwasserstände und Quellabflüsse haben sich infolge des Klimawandels verändert. Zwar sind die Jahresabflussmengen weitgehend gleichgeblieben, die Abflüsse in den nicht vergletscherten Gebieten haben im Sommer jedoch ab- und im Winter zugenommen. In vergletscherten Gebieten nahmen die Sommerabflüsse zu. Die Sommertrockenperioden der letzten Jahre bewirkten im Mittelland und im Jura tiefe Abflüsse. Einige Gewässer fielen trocken, Grundwasserstände und Quellabflüsse erreichten lokal neue Tiefstwerte.

5.2.1 Fliessgewässer

Verschiebung der saisonalen Wasserverteilung

In vielen Schweizer Fliessgewässern haben sich die Abflussverhältnisse in den letzten Jahrzehnten klimabedingt verändert, wie die Auswertungen von Messreihen für die Schweizer Flüsse für die Zeit ab 1961 zeigen (Abb. 34; BAFU (Hrsg.), 2021b).

Am deutlichsten zeigen sich diese Veränderungen im Alpenraum, wo die höheren Abflüsse immer früher im Jahr auftreten und im Winter und Frühling generell zunehmen. Grund dafür ist, dass der Niederschlag vermehrt als Regen statt als Schnee fällt und die Schneeschmelze früher einsetzt. In Flüssen mit vergletscherten Einzugsgebieten nehmen die Abflüsse auch in den Sommermonaten aufgrund der fortschreitenden Gletscherschmelze zu.

In den unvergletscherten Einzugsgebieten des Alpenraums nehmen die Abflussmengen im Sommer ab. Dasselbe Muster ist in den Einzugsgebieten des Mittellands zu beobachten, wenn auch weniger ausgeprägt.

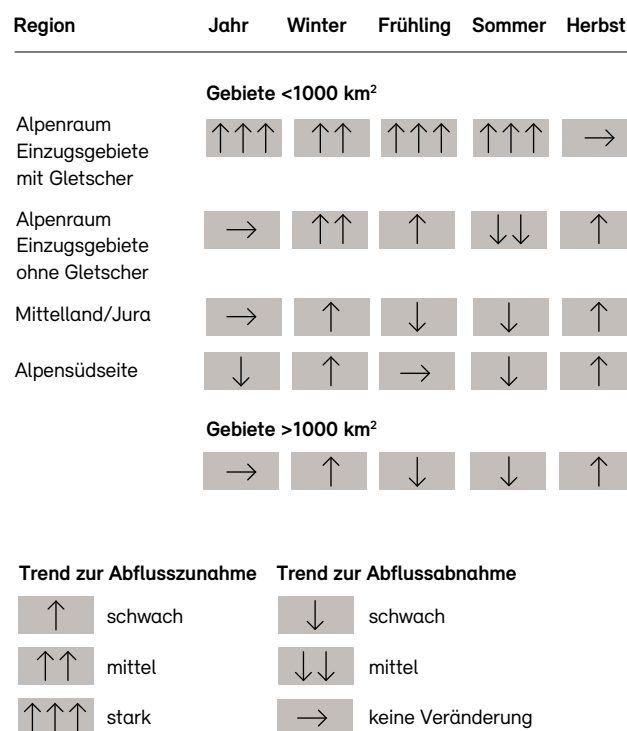
Übers Jahr gesehen blieben die Abflussmengen in den meisten Schweizer Flüssen gleich.

Veränderte Niedrigwasserabflüsse im Sommer

In den Flüssen des Mittellands, des Juras und der unvergletscherten Einzugsgebiete des Alpenraums nahmen die Niedrigwasserabflüsse generell ab. Anders verhalten sich die vergletscherten Einzugsgebiete. Sie weisen in den Sommermonaten infolge der Gletscherschmelze eher höhere Niedrigwasserabflüsse auf. In den alpinen Flüs-

Abb. 34: Eine Zunahme der Abflüsse im Winter und eine Abnahme im Sommer kann bereits beobachtet werden

Veränderung der saisonalen und Jahresabflüsse für verschiedene Regionen in der Schweiz von 1961 bis 2015.



Grafik abgeändert nach BAFU (Hrsg.) (2021b)

sen hat Q_{347} folglich seit 1961 zugenommen, und es ist in Zukunft von einer weiteren Zunahme auszugehen.

Auch in Flüssen mit grossen Einzugsgebieten haben die Niedrigwasserabflüsse in den letzten Jahrzehnten abgenommen. Weil die Abflüsse in diesen Gebieten aber durch die Regulierung der Seen beeinflusst werden, lässt sich diese Beobachtung nicht interpretieren.

Box 17: Abflussmenge Q_{347}

Q_{347} beschreibt die Abflussmenge, die im Mittel an 347 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten wird. Sie dient u. a. als Grundlage, um Mindestrestwassermengen festzulegen, beispielsweise unterhalb von Wasserkraftwerken.

Aufgrund der neuen Klimaszenarien CH2018 und der daraus abgeleiteten hydrologischen Szenarien (BAFU (Hrsg.) 2021b), ist künftig mit einer Häufung von Trockenperioden wie in den Jahren 2003, 2015 oder 2018 zu rechnen. Situationen von Wasserknappheit werden insbesondere im Sommer zunehmen.

Künftige Entwicklung der Trübung noch unklar

In engem Zusammenhang mit den Abflüssen steht auch die Trübung von Fliessgewässern. Diese wird durch Niederschläge und Erosionsprozesse verursacht und durch anthropogene Aktivitäten beeinflusst (Land- und Forstwirtschaft, Sedimentgewinnung, Regenüberläufe, Spülungen bei Kraftwerken etc.). Mit dem Auftauen des Permafrosts und durch den Gletscherrückgang erhöht sich das Feststoffpotenzial in alpinen Gebieten. Durch Hangrutschungen, Felsstürze und Murgänge könnte dieses Material vermehrt in Gewässer gelangen und ins Tal transportiert werden (Speerli et al., 2018). Durch die Trübung werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Gewässer beeinträchtigt, was negative Auswirkungen auf die Wasserlebewesen haben kann. In den letzten Jahren hat die Anzahl Tage mit hohen Trübungswerten im Alpenrhein und in der Rhone tendenziell zugenommen. In kleineren Fliessgewässern ist dagegen keine eindeutige Veränderung feststellbar. Es ist noch unklar, wie sich Klimawandel und menschliche Aktivitäten in Zukunft auf die Trübung auswirken werden.

5.2.2 Seen

Die grösseren Schweizer Seen sind – mit Ausnahme des Boden- und des Walensees – alle reguliert. In diesen Seen lässt sich daher keine allgemeine Aussage über die klimabedingten Veränderungen der Seewasserstände in den letzten Jahrzehnten machen.

Wenn die Zuflüsse in Trockenperioden zu gering sind, kann der in einem Regulierreglement verlangte minimale Seepegel nicht mehr eingehalten werden. So geschehen zum Beispiel am Zürichsee während der langen Trockenperiode im Sommer 2018, als der Pegel infolge der fehlenden Zuflüsse tiefer lag, als gemäss Reglement zugelassen ist.

5.2.3 Grundwasser

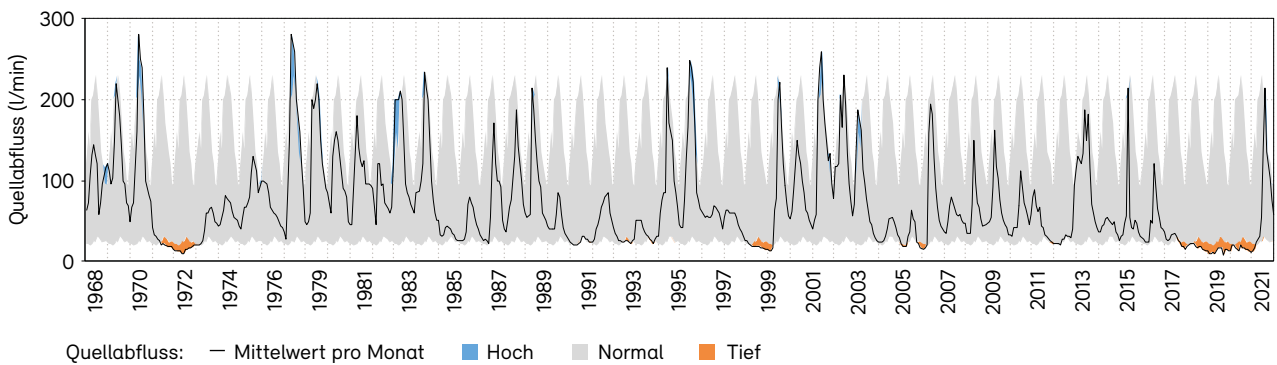
Die Trockenperioden 2003, 2015 und 2018 mit schweizweit unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen führten verbreitet zu niedrigen Grundwasserständen und Quellabflüssen. Bezogen auf das gesamte nutzbare Grundwasservolumen in der Schweiz sind diese witterungsbedingten Änderungen der Grundwasserstände in der Regel allerdings gering. So liegen die für die Lockergesteins-Grundwasservorkommen beobachteten Schwankungen im Bereich von Dezimetern, bis wenigen Metern. Die Gesamtmächtigkeit des Grundwasservorkommens beträgt jedoch oft einige Dutzend Meter.

Zwar können die Grundwasserstände in einzelnen Jahren oder auch über mehrere Jahre hinweg absinken. Die Speicher werden jedoch regelmässig wieder vollständig aufgefüllt (Abb. 35). So kam es auch 2021 durch wiederkehrende Starkniederschläge wieder zu regional hohen Grundwasserständen. An diesem Muster wird sich voraussichtlich auch in Zukunft wenig ändern. Während Trockenperioden kommt es allerdings lokal und zeitlich begrenzt immer wieder zu Wasserknappheit. Davon betroffen sind vor allem kleine Grundwasservorkommen mit wenig ergiebigen Quellen ausserhalb der Flusstäler im Jura, im Mittelland und in den Voralpen.

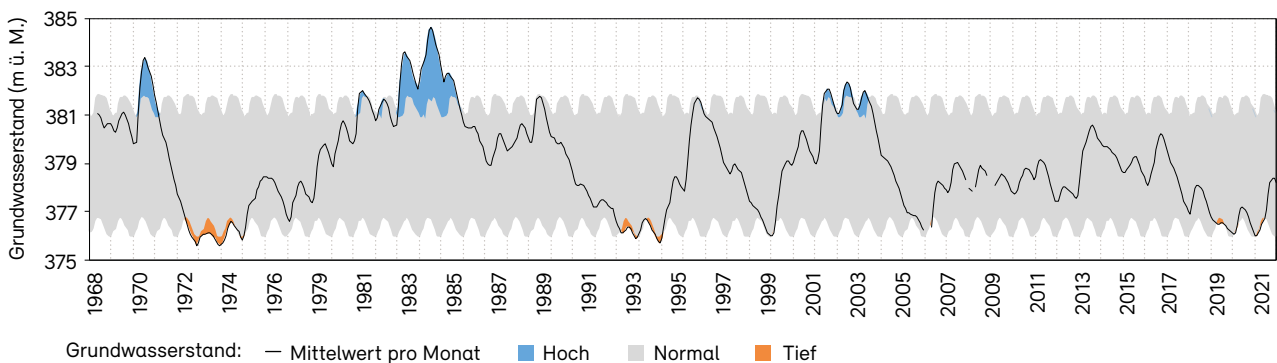
Abb. 35: Je nach Eigenschaften des Untergrunds reagieren Quellabflüsse oder Grundwasserstände schnell oder langsam auf Niederschlag. Die Grundwasserspeicher werden aber regelmässig wieder aufgefüllt

Dargestellt sind jeweils Monatsmittelwerte an zwei ausgewählten NAQUA-Messstellen in der Nordostschweiz. Quellabfluss bzw. Grundwasserstand liegt im Bereich der tiefsten 10 Prozent (orange), der mittleren (grau) oder der höchsten 10 Prozent (blau) der Werte zwischen 1968 und 2021.

a) Grundwasser-Messstelle Freienstein-Teufen, Tösstal (ZH) (Quellfassung)



b) Grundwasser-Messstelle Wilchingen, Klettgau (SH) (Piezometer)



Daten: NAQUA-Messstellen Freienstein-Teufen und Wilchingen

Grundsätzlich genügend Grundwasser für die Trinkwasserversorgung

Insgesamt wird den Schweizer Grundwasservorkommen deutlich weniger Wasser entnommen, als ihnen auf natürliche Weise oder durch Anreicherung zufliesst, sodass keine Übernutzung vorliegt. Der Umstand, dass es während Trockenperioden punktuell immer wieder zu Wasserknappheit kommt, hat jedoch zur Folge, dass Wasserversorgungen zu einer Diversifizierung der Bezugsorte oder zur Vernetzung mit anderen Versorgern gezwungen werden. In einigen Fällen werden in Trockenperioden (oft vorsorglich) bestimmte Nutzungen eingeschränkt, darunter Autowaschen, Bewässern von Grünflächen oder das Befüllen von Swimmingpools.

Dadurch lässt sich der Spitzenverbrauch an heißen Tagen reduzieren.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Fließgewässer > Wasserführung & Abflussregime
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Seen > Quantität
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Zustand der Gewässer > Grundwasser > Grundwasser-Quantität

5.3 Gewässerorganismen

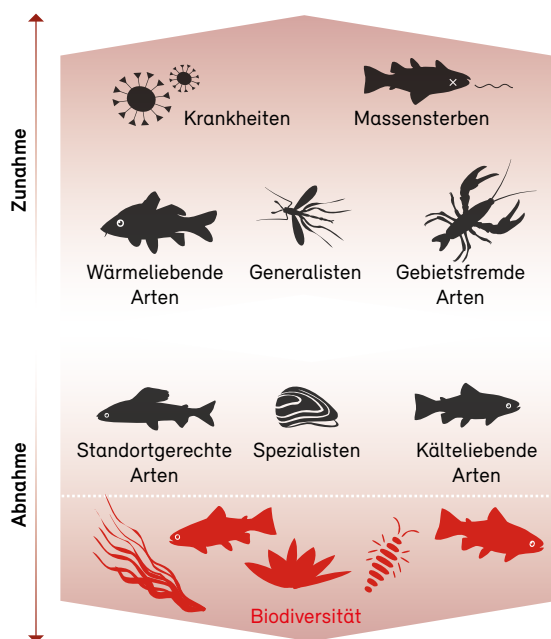
Der Klimawandel betrifft die verschiedenen Gewässerlebewesen sehr unterschiedlich. Insgesamt führt er zu einem Rückgang von kälteliebenden Spezialisten und zu einer Ausbreitung von wärmeliebenden Generalisten. Der Klimawandel verstärkt den Biodiversitätsverlust und die Veränderung der Lebensräume.

Der Klimawandel führt zu Biodiversitätsverlust

Als Folge des Klimawandels werden kälteliebende Spezialisten seltener. Weniger anspruchsvolle Generalisten und gebietsfremde Arten hingegen werden häufiger und breiten sich aus. Dies kann lokal zwar zu einer kurzfristigen Erhöhung der Artenzahl führen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass mit fortschreitendem Klimawandel die Lebensräume für die ursprünglich vorkommenden Spezialisten seltener werden und sich verschiedene Artengesellschaften und ihre Lebensräume angleichen. Unter dem Strich führt der Klimawandel deshalb zu einem Biodiversitätsverlust (Abb. 36; BAFU (Hrsg.), 2021b).

Abb. 36: Das Leben im Wasser reagiert unterschiedlich auf den Klimawandel

Manche Organismen profitieren von den Veränderungen, andere kommen schlecht oder gar nicht damit zurecht. Insgesamt wird die Biodiversität abnehmen.



Grafik abgeändert nach BAFU (Hrsg.) (2021b)

Sowohl die Wassertemperatur wie die Abflussdynamik haben einen starken Einfluss auf die Artenzusammensetzung, die natürlicherweise an einem Standort existiert. Verändern sich diese Parameter, geraten manche Arten verstärkt unter Druck, andere hingegen profitieren. Im Folgenden werden die vielfältigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässerorganismen anhand von zwei Beispielen veranschaulicht.

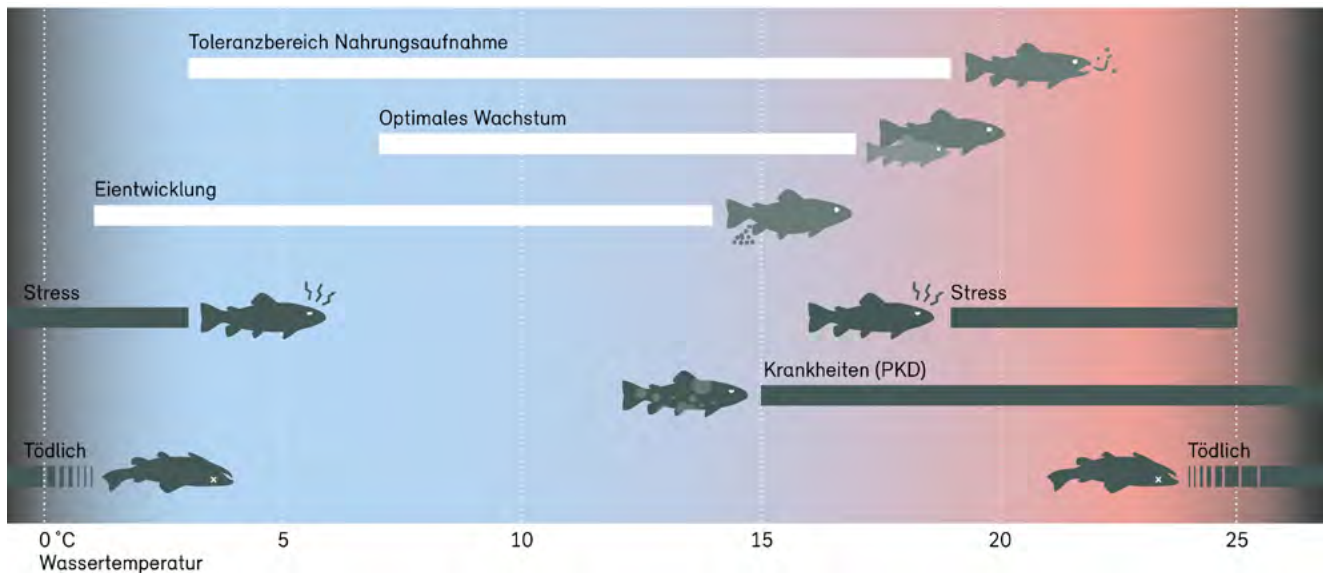
Kaltwasserarten werden seltener – Beispiel Forellen

In den letzten Jahrzehnten sind die Bestände der kälteliebenden Forellen unter anderem wegen der Erwärmung der Gewässer zurückgegangen. Im Mittelland liegt die Wassertemperatur heute in vielen Gewässern für Forellen im oberen Toleranzbereich (Abb. 37). Dies wird sich in Zukunft noch verstärken. Während Extremsituationen wie Hitze und Trockenheit werden auch Massensterben der Forellen häufiger.

Die tödliche Maximaltemperatur von ungefähr 25 °C stellt nur die äusserste Grenze des tolerierten Temperaturbereichs der Forellen dar. Bereits ab Temperaturen von über 15 °C führt die weit verbreitete Parasitenkrankheit proliferative Nierenkrankheit (PKD) zu schädlichen Auswirkungen. Auch Nahrungsaufnahme, Fortpflanzung und weitere Aktivitäten sind nur bis Temperaturen weit unterhalb 25 °C möglich (Abb. 37)). Deshalb können Forellen in warmen Gewässern im Wettbewerb mit anderen Arten benachteiligt sein, sogar wenn die Temperaturen klar unter dem tödlichen Schwellenwert liegen.

Temperaturveränderungen können sich auch auf den zeitlichen Ablauf von Entwicklungsprozessen auswirken (Phänologie) und so ökologische Wechselwirkungen wie Räuber-Beute-Beziehungen verändern. Forellen vergraben ihre Eier im Spätherbst im Kieslückensystem der Gewässersohle. Dort verbringen die Eier und die frischgeschlüpften Larven mehrere Monate. Schon durch eine relativ schwache Erwärmung eines Gewässers um 0,5 °C kann sich die Entwicklung der Forellen so stark beschleunigen, dass die Jungfische im Frühling zwanzig Tage früher mit der aktiven Nahrungsaufnahme beginnen müssen. Reagieren nun die Beutetiere der Forelle auf die veränderten Bedingungen nicht identisch, kann den jungen Forellen im entscheidenden Moment das Futter fehlen.

Abb. 37: Die Temperaturansprüche der Forellen unterscheiden sich für verschiedene Entwicklungsstadien und Aktivitäten. Erwärmen sich die Gewässer, führt dies bei Forellen zu Stress, Krankheiten und ab ca. 25 °C zum Tod



Grafik: Hahn + Zimmermann GmbH nach Elliot (1994)

Schliesslich können auch durch den Klimawandel veränderte Abflussdynamiken einen negativen Einfluss auf die Forellen haben: Wird während Hochwasser-Ereignissen im Winter der Kies der Gewässersohle mobilisiert, können die Forelleneier und -larven weggespült werden und sterben.

Gewisse Arten profitieren – Beispiel Cyanobakterien


Während einer ausgeprägten winterlichen Durchmischung werden die Cyanobakterien *Planktothrix rubescens* in grosse Tiefen verfrachtet und durch den dort herrschenden Druck zerstört. Bleibt eine ausgeprägte Durchmischung aus (s. Kap. 5.1.2), überleben viel mehr *P. rubescens* den Winter, und die Wahrscheinlichkeit steigt, dass sie sich anschliessend massenhaft vermehren und dass es zu einer «Algenblüte» kommt.

Weil das Cyanobakterium aufgrund der von ihm produzierten Giftstoffe kaum natürliche Fressfeinde hat, kann es unter optimalen Bedingungen bezogen auf die Gesamtbio­masse zur dominantesten Art in einem See-Ökosystem werden. Cyanobakterien treten zu anderen Primärproduzenten (klassischen Algen) in starke Konkurrenz um verfügbare Nährstoffe. Ihre Präsenz kann zu weitreichenden Verschiebungen im ganzen Nahrungsnetz führen. Zudem müssen Wasserversorger das Rohwasser aufwändig aufbereiten, um die Giftstoffe aus dem Trinkwasser zu ent-

fernen (s. Kap. 3.4) und es kann zu Badeverboten kommen (s. Kap 3.4).

Weiterführende Informationen

- www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/das-nccs/themenschwerpunkte/hydro-ch2018.html
- Klimabedingte Risiken und Chancen: www.bafu.admin.ch/uw-1706-d



6 Stand der umgesetzten Massnahmen zu Schutz und Aufwertung der Gewässer

Um den Zustand der Gewässer zu verbessern, werden ausgewählte Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe für Mikroverunreinigungen ausgebaut. Flüsse, Bäche und Seen werden revitalisiert, den Gewässern wird mehr Raum gegeben und es gilt, die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung zu verringern. Im Folgenden wird der Umsetzungsstand der auf dem Gewässerschutzgesetz basierenden Massnahmen dargestellt.

6.1 Entwässerung von Siedlungen und Verkehrswegen

Die allermeisten Schweizer Gemeinden verfügen mit der Entwässerungsplanung über ein Rahmenkonzept, um verschmutztes Abwasser zu behandeln und nicht verschmutztes Regenwasser getrennt versickern zu lassen oder in die Gewässer einzuleiten. Seit über zehn Jahren werden Anlagen zur Entfernung von Schadstoffen bei der Strassenentwässerung gebaut. Als Folge des Klimawandels nehmen Starkregenereignisse zu. Daher muss für eine bessere Versickerung und einen stärkeren Rückhalt des abfliessenden Regenwassers in Siedlungen gesorgt werden.

Kommunale Entwässerungsplanung weit fortgeschritten

In Siedlungen fällt täglich mit Fäkalien, Schmutzstoffen oder Chemikalien verunreinigtes häusliches Abwasser an. Regenwasser von Strassen, Plätzen oder Dächern ist oft ebenfalls mit Schadstoffen belastet. Diese Abwässer können unsere Gewässer verunreinigen. Seit 1991 sind die Gemeinden verpflichtet, eine generelle Entwässerungsplanung (GEP) zu erarbeiten. Damit wird gewährleistet, dass verschmutztes Abwasser zum Beispiel in einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) oder einer Behandlungsanlage gereinigt wird, bevor es in ein Gewässer gelangt. Gleichzeitig soll unverschmutztes Regenwasser möglichst direkt in Gewässer eingeleitet oder versickert werden. Gemäss einer 2019 gemachten Umfrage verfügen 95 Prozent aller Schweizer Gemeinden über eine GEP. Heute stellen die konsequente Umsetzung der in der GEP festgelegten Massnahmen sowie das Nachführen der darin enthaltenen Informationen wichtige Aufgaben für die Gemeinden dar.

Kanalisationen und ARA können nicht beliebig viel Abwasser transportieren und reinigen. Bei starkem Regen fällt derart viel Abwasser an, dass Schmutzabwasser teilweise direkt in die Oberflächengewässer fliesst. Schätzungsweise 3,5 Prozent der jährlichen kommunalen Abwassermenge gelangt so ungereinigt in die Oberflächengewässer. Mit dem Klimawandel und den damit verbundenen häufigeren Starkniederschlägen, könnten solche problematischen Einleitungen in die Gewässer weiter zunehmen. Sind die Kanalisationen überlastet, so fliesst das Regenwasser auf Strassen und Wegen ab und verursacht Überschwemmungen. Um dies

Abb. 38: Strassenabwasser-Behandlungsanlage (SABA) Hallmatt an der A12, Anschluss Niederwangen



Quelle: vistaplus

möglichst zu verhindern, muss der Rückhalt von Regenwasser oder auch dessen Versickerung in Siedlungen verbessert werden. Heute wird es zunehmend wichtiger, anfallendes Regenwasser besser zu nutzen. So können in Siedlungen zum Beispiel künstliche, temporäre Wasserflächen angelegt werden, die bei Hitzeperioden Kühlung bringen.

Strassen erst teilweise korrekt entwässert

Im Strassenabwasser findet sich eine Vielzahl von Stoffen. Eine besondere Bedeutung hat der Reifenabrieb, der mit Schwermetallen wie Zink und Kupfer belastet ist. Ziel ist es, das Abwasser möglichst aller stark befahrenen Strassen in sogenannten Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABA) zu reinigen, bevor es in ein Gewässer geleitet wird oder versickert. Eingebaut werden SABA bei der Sanierung oder dem Neubau von stark befahrenen Strassen. Bis heute ist das schätzungsweise bei einem Viertel dieser Strassen der Fall.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Abwasserreinigung > Siedlungs-entwässerung
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Abwasserreinigung > Entwässerung von Verkehrswegen

6.2 Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen

In der Schweiz wird praktisch das gesamte Abwasser gereinigt. Die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) verringern die Belastung der Gewässer mit Nährstoffen deutlich. Die Reinigung muss jedoch im Bereich Stickstoffelimination verbessert werden. Zudem werden in den kommenden Jahren gezielt ARA mit einer Stufe zur Elimination von organischen Mikroverunreinigungen ausgebaut.

Bereits gute Reinigungsleistung lässt sich weiter verbessern

Heute sind in der Schweiz rund 740 zentrale ARA in Betrieb und 97 Prozent der Bevölkerung sind daran angeschlossen. Noch ein weiteres Prozent gilt es anzuschliessen. Bei den restlichen 2 Prozent ist ein Anschluss nicht sinnvoll, da diese Menschen in abgelegenen, schwach besiedelten Gebieten wohnen.

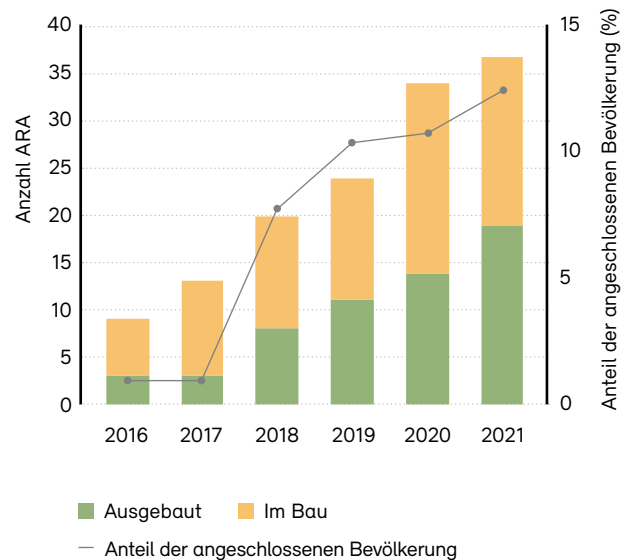
Die ARA eliminieren rund 90 Prozent der organischen Belastung wie auch der Phosphorfracht aus dem Abwasser. Zudem tragen sie wesentlich bei zur Elimination von pathogenen Mikroorganismen (>99 Prozent), von Mikroplastik (rund 95 Prozent), von antibiotikaresistenten Bakterien (95–99 Prozent) und von biologisch gut abbaubaren oder sorbierenden synthetischen organischen Stoffen (>99 Prozent). Es bestehen allerdings noch Möglichkeiten zur Optimierung. Die Stickstoffelimination in den ARA kann verbessert werden. Zurzeit werden schweizweit rund 50 Prozent des Stickstoffs aus dem Abwasser eliminiert, Deutschland und Österreich entfernen rund 75 Prozent. Entsprechende Massnahmen sollen in den nächsten 20 bis 30 Jahren angegangen werden.

Seit rund 20 Jahren werden laufend kleinere ARA aufgehoben und das Abwasser wird auf grössere Anlagen abgeleitet. Diese werden professionell betrieben, sind somit weniger anfällig für Störungen und arbeiten zudem kostengünstiger. Viele kleine ARA leiten in kleine Fliessgewässer ein; in diesen ist der Anteil an gereinigtem Abwasser deshalb hoch. Solche abwasserbelasteten Bäche werden durch die Aufhebung kleiner ARA entlastet.

Elimination organischer Mikroverunreinigungen nötig

Durch den Ausbau von ARA mit Massnahmen zur Elimination organischer Mikroverunreinigungen soll der Schutz der Tier- und Pflanzenwelt und der Trinkwasserressourcen ver-

Abb. 39: Der Ausbau von ARA mit einer Stufe zur Elimination organischer Mikroverunreinigungen geht zügig voran. Das Abwasser von über 12 Prozent der Bevölkerung wird heute von organischen Mikroverunreinigungen gereinigt



bessert werden. Ziel ist zudem eine Reduktion der Menge an Mikroverunreinigungen, die ins Ausland abgeleitet wird (Oberliegeverantwortung). Dieser Ausbau geschieht bei den grössten ARA sowie solchen an Gewässern mit einem hohen Abwasseranteil und an Gewässern, die für die Trinkwassernutzung von Bedeutung sind. Dort sind die Massnahmen am dringendsten und nützen dem Gewässerschutz am meisten.

Der Ausbau der Kläranlagen mit dieser zusätzlichen Stufe hat 2016 begonnen und wird noch bis Ende 2040 andauern. Finanziert werden die Arbeiten zu 75 Prozent mit zweckgebundenen Geldern aus einer Abwasserabgabe. Der Ausbau geht zügig voran. Ende 2021 waren bereits 19 ARA ausgebaut und 18 Projekte befanden sich im Bau. Somit werden bereits heute über 12 Prozent der Schweizer Abwässer von organischen Mikroverunreinigungen gereinigt (Abb. 39).

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Abwasserreinigung > Kommunale Abwasserreinigung
- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Abwasserreinigung > Abwasserfinanzierung / Abwasserfonds

6.3 Massnahmen gegen Verunreinigungen aus Industrie und Gewerbe

In den letzten 60 Jahren wurden viele Massnahmen umgesetzt, um die Belastung der Gewässer mit Schadstoffen aus Industrie und Gewerbe zu reduzieren. Der Eintrag einer Vielzahl von Mikroverunreinigungen, darunter Wirkstoffe, Ausgangsstoffe, Zwischen-, Neben- und Abbauprodukte (Metaboliten) sowie Hilfsstoffe und Lösungsmittel, muss jedoch weiter verringert werden.

Grosse Fortschritte bei Reinigung von Industrieabwasser

Abwässer aus Industrie und Gewerbe verschmutzten die Gewässer noch in den 1950er Jahren sehr stark. Eine Verbesserung setzte ein, seit Abwasser aus Betrieben in ARA gereinigt wird. Viele Betriebe behandeln heute zudem ihr Abwasser bevor es in eine ARA geleitet wird. So werden Schadstoffe wie Schwermetalle, Öl- und Fettreste noch im Betrieb aus dem Abwasser entfernt. Vielerorts wurden zudem die Produktionsprozesse optimiert, damit möglichst kein Abwasser anfällt. Auch wasserintensive Aktivitäten wie etwa Wasch- und Reinigungsprozesse wurden bezüglich des Verbrauchs von Wasser und Chemikalien verbessert, so dass deutlich weniger Stoffe in die Gewässer gelangen. Gemäss der Gewässerschutzgesetzgebung sind die Betriebe verpflichtet, solche nach dem Stand der Technik üblichen Massnahmen zu treffen, soweit sie technisch machbar und wirtschaftlich tragbar sind. So kann eine positive Bilanz gezogen werden: Die bestehenden Anforderungen an die Einleitung von Industrieabwasser werden heute in der Regel eingehalten.

Handlungsbedarf bei Chemikalien

Der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) hat in einem mehrjährigen Projekt die Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in die Schweizer Gewässer untersuchen lassen (Wunderlin und Gulde, 2022). Diese Situationsanalyse zeigte, dass die Branchen Chemie/Pharma, Galvanik/Metalloberflächenbearbeitung, Lebensmittel und Sonderabfall trotz den beträchtlichen Fortschritten eine grosse Palette an Substanzen in die Gewässer einleiten. Zudem wurden einige relevante Direktleiter identifiziert. Dabei handelt es sich um grössere Areale der chemischen Industrie (zum Beispiel das Areal Schweizerhalle), die oft nach wie vor grosse Stofffrachten in die Gewässer einleiten. So wurde beispielsweise im Jahr

2014 innert weniger Tage eine Tonne eines Arzneimittelabbauprodukts in den Rhein eingeleitet.

Weitere relevante Einträge kommen aus Maler-, Auto- und Transportfirmen sowie von Wäschereien, weil sie etwa mit wassergefährdenden Stoffen wie Benzin, Ölen oder Bioziden arbeiten oder weil dort viel Abwasser entsteht. Kühl- und Heizprozesse benötigen ebenfalls Wasser oder finden im Kontakt mit Wasser statt. Dass auch aus solchen Prozessen Stoffe in die Gewässer gelangen, wurde im Rahmen kantonaler Spezialuntersuchungen an verschiedenen Orten im Abwasser von ARA festgestellt.

Laufender Wissensaufbau und -austausch zentral für den Vollzug

Die erwähnte Situationsanalyse zeigt deutlich, wie gross die Herausforderung im Bereich Industrieabwasser ist. Je nach Betrieb, Prozess und verwendeten Chemikalien gelangen unterschiedliche Stoffe (beispielsweise Metaboliten, Restmengen verwendeter Chemikalien etc.) ins Abwasser und in die Gewässer. Insbesondere schwer abbaubare Stoffe werden durch die gängigen Vorbehandlungsmethoden nicht aus dem Abwasser entfernt.

Sowohl die Betriebe selbst als auch die Vollzugsbehörden sind oft nur sehr beschränkt in der Lage, die Stoffeinträge zu erfassen oder zu beurteilen. In den abwasserrelevanten Branchen ist man nun daran, Wissen aufzubauen: Welche Stoffe gelangen tatsächlich ins Abwasser und in die Gewässer? Wie können diese Stoffe beurteilt werden? Welche Massnahmen sind in den Betrieben nötig? Um diese Fragen zu beantworten, sind die Merkblätter des VSA zum Stand der Technik eine wichtige Hilfe. In diesen Merkblättern werden die Anforderungen an den Gewässerschutz schweizweit harmonisiert festgelegt. Bund, Kantone, der Fachverband VSA und die betroffenen Branchen arbeiten zudem an der Weiterentwicklung der Aus- und Weiterbildung des Fachpersonals im betrieblichen Umweltschutz.

Weiterführende Informationen

- www.micropoll.ch

6.4 Schutzzonen und Zuströmbereiche für die Trinkwasserversorgung

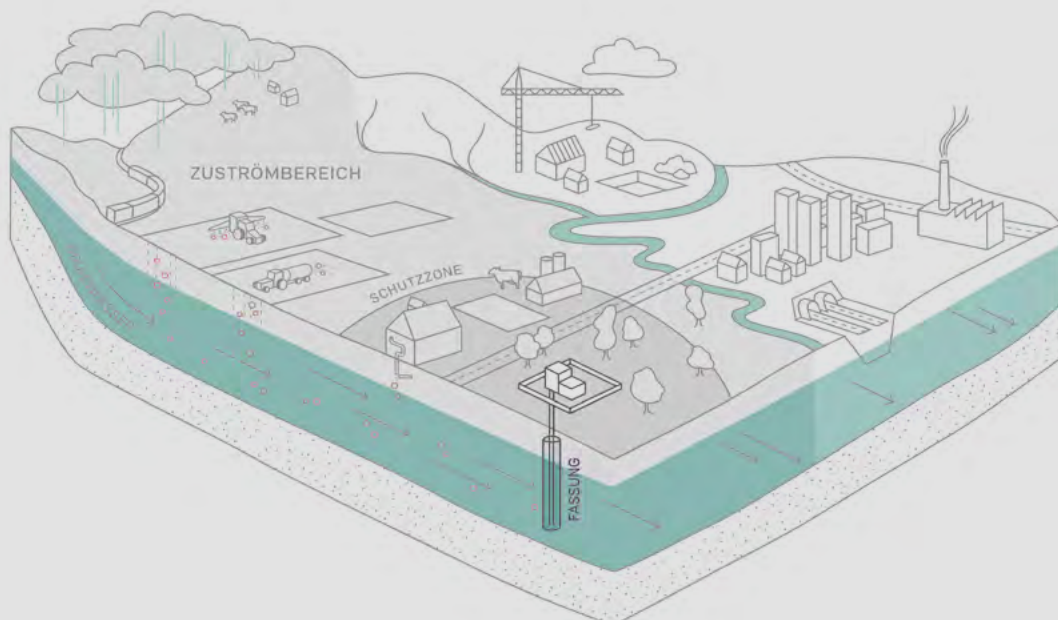
Damit die Trinkwasserversorgung auch in Zukunft gesichert bleibt, muss die Wasserqualität der Grundwasservorkommen langfristig hoch sein. Wird sie beeinträchtigt, sind sogenannte Zuströmbereiche festzulegen und dort Massnahmen zu ergreifen. Diese Vorschriften wurden jedoch erst bei einem Bruchteil aller betroffenen Trinkwasserfassungen umgesetzt. Im Nahbereich von Fassungen ist die Trinkwassernutzung vielerorts durch nicht zulässige Bauten wie Abwasserleitungen und Strassen gefährdet.

Für die mehrheitlich kleinen und mittleren Wasserversorgungen in der Schweiz ist entscheidend, dass Trinkwasser ohne aufwändige technische Aufbereitung in guter Qualität gewonnen werden kann. Deshalb ist der vorsorgliche Schutz des Grundwassers ein zentrales Element der schweizerischen Gewässerschutzgesetzgebung.

Zuströmbereiche zum Schutz der Wasserqualität fehlen

Das Grundwasser in intensiv landwirtschaftlich genutzten Regionen ist häufig durch Nitrat und Pestizidmetaboliten verunreinigt (s. Kap. 3.1.3 und 3.2.3). Um die gesetzlichen Höchstwerte einzuhalten, müssen die Wasserversorger teils weitreichende Massnahmen ergreifen.

Box 18: Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Tätigkeiten im Zuströmbereich und in den Schutzzonen von Fassungen



Der **Zuströmbereich (Z_u)** umfasst das Gebiet, aus dem der Grossteil des Grundwassers stammt, das bei einer Fassung gefördert wird. Um eine Verunreinigung mit schwer abbaubaren Stoffen (zum Beispiel Nitrat aus Düngern oder Metaboliten von Pestiziden) zu verhindern, sind Massnahmen im Zuströmbereich zu treffen. Der Zuströmbereich kann zwischen einigen Hektaren und mehreren Quadratkilometern gross sein.

Schutzzonen werden ausgeschieden, um Trinkwasserfassungen vor Beschädigungen und Verschmutzungen aus dem **Nahbereich** (zum Beispiel Unfälle, Fäkalkeime) zu schützen. Sie reichen im Lockergestein bis wenige 100 Meter um die Fassung.

Wenn das geförderte Grundwasser durch Stoffe verunreinigt ist oder die konkrete Gefahr einer Verunreinigung besteht, müssen die Kantone Zuströmbereiche Zu (Box 18) für Grundwasserfassungen festlegen. Anschliessend muss darin die Bewirtschaftung angepasst werden (Box 19 im Kapitel 7). Bisher wurde nur für einen Bruchteil der belasteten Grundwasserfassungen Zuströmbereiche festgelegt und nur vereinzelt griffige Massnahmen zur Senkung der Nitratauswaschung ins Grundwasser ergriffen. Deshalb wird der Nitratgrenzwert immer noch oft überschritten, im Ackerbaugebiet beispielsweise an bis zu 50 Prozent der NAQUA-Messstellen (s. Kap. 3.1.3 und 3.2.3). Eine geplante Gesetzesanpassung ist ein erster Schritt, um dieses Problem zu lösen. Diese sieht vor, dass für alle regional wichtigen und für alle gefährdeten Grundwasserfassungen Zuströmbereiche festzulegen sind.

Grundwasserfassungen müssen stärker geschützt werden

Der Nahbereich von Grundwasserfassungen muss vor baulichen Eingriffen und Verunreinigungen besonders geschützt werden. Daher werden Grundwasserschutz-zonen ausgeschieden, in denen spezielle Nutzungseinschränkungen und Schutzmassnahmen gelten (Box 18). Werden diese Bestimmungen nicht genügend durchgesetzt, kann die Trinkwassernutzung durch unzulässige Bauten und Tätigkeiten gefährdet sein. Zum Beispiel, wenn in der Nähe von Fassungen Gülle ausgebracht wird, durch Verunreinigung während Bauarbeiten, bei Unfällen oder durch lecke Abwasserleitungen. Viele Fassungen sind heute von Wohn- und Gewerbegebieten, Verkehrswegen oder intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen umgeben. Sind die Risiken für die Trinkwassernutzung deshalb zu hoch, müssen Fassungen aufgehoben werden. Zudem fehlt häufig der Platz, um neue Fassungen mit konformen Schutz-zonen zu erstellen (Olschewski und Reist, 2019).

Im Gegensatz zum Zuströmbereich sind die Schutz-zonen mehrheitlich ausgeschieden. Schweizweit beziehen 68 Prozent der Bevölkerung ihr Trinkwasser aus Grundwasserfassungen mit korrekt ausgeschiedenen Schutz-zonen und weitere 20 Prozent aus Seewasserwerken. Rund zehn Prozent des Trinkwassers stammt grösstenteils aus Grundwasserfassungen mit zu kleinen oder nur provisorisch ausgeschiedenen Schutz-zonen. Nur 1 Prozent der

Bevölkerung wird aus Fassungen versorgt, bei welchen die Schutz-zonen fehlen. Dabei handelt es sich grösstenteils um Quelfassungen im Alpenraum, die jeweils nur wenige Personen versorgen.

Auch bei den Schutz-zonen gibt es Schwierigkeiten. Bis auf zwei geben alle Kantone an, dass in einem Teil ihrer Schutz-zonen schwere Nutzungskonflikte vorkommen (BAFU, 2018). In vier Kantonen sind sogar mindestens 20 Prozent der Fassungen von schweren Nutzungskonflikten in den Schutz-zonen betroffen. Einige dieser Anlagen und Bauten stammen noch aus der Zeit vor der Schutz-zonenpflicht von 1972. Den Bestimmungen in der Gewässerschutzgesetzgebung zum Trotz hat sich die Situation seither weiter verschlechtert, da laufend neue Wohn- und Gewerbe-siedlungen gebaut werden. Zunehmende Trockenperioden verschlechtern in einigen Regionen die Versorgungssicherheit zusätzlich (BAFU et al. (Hrsg.), 2019). Eine Änderung der GSchV soll sicherstellen, dass die bestehenden Regelungen durch die Kantone, Gemeinden und Wasserversorgungen in den nächsten Jahren konsequent umgesetzt werden.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Grundwasserschutz > Grundwasser als Trinkwasser
- <http://trinkwasser.svgw.ch>

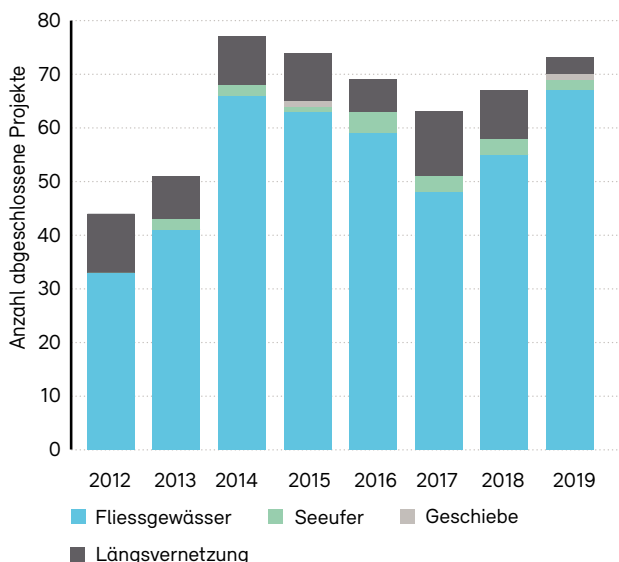
6.5 Revitalisierungen

Durch Revitalisierungen werden verbaute und korrigierte Fließgewässer und Seeufer wieder naturnah gestaltet. Auch Hochwasserschutzprojekte müssen so naturnah wie möglich ausgeführt werden. Der Bedarf an Revitalisierungen ist gross. Umgesetzt wurden bisher vor allem Projekte an kleinen Bächen.

Flüsse und Bäche in der Schweiz sind auf 14 000 Kilometern, also auf knapp einem Viertel der Gesamtlänge verbaute oder unterirdisch verlegt. Zudem gibt es schweizweit mehr als 100 000 Querbauwerke, welche die Bewegung von Fischen und anderen aquatischen Arten einschränken. Darüber hinaus ist der Geschiebehalt beeinträchtigt (s. Kap. 6.8), unter anderem durch Geschiebesammler, die dem Hochwasserschutz dienen. Bei den grösseren Seen ist mehr als die Hälfte der Ufer verbaute.

Um Revitalisierungen primär dort umzusetzen, wo sie besonders erfolgversprechend sind, müssen die Kantone sie strategisch planen. Dies auch, weil mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nur rund ein Viertel der beeinträchtigten Gewässer revitalisiert werden kann. Die Kantone haben bei knapp 10 000 Kilometer Fließgewässern einen hohen ökologischen Nutzen für Revitalisierungen identifiziert.

Abb. 40: In den letzten Jahren wurden viele Revitalisierungsprojekte an Fließgewässern umgesetzt, an Seen jedoch erst einzelne



Daten gemäss BAFU (2021)

Umsetzung seit 2011

Es ist vorgesehen, innerhalb von 80 Jahren rund 4000 Kilometer verbaute Gewässerabschnitte zu revitalisieren, das entspricht rund 50 Kilometern pro Jahr. Mit den Revitalisierungen sollen auch die Längsvernetzung und der Geschiebetrieb verbessert werden, unter anderem müssen revitalisierte Abschnitte die freie Fischwanderung ermöglichen. Zwischen 2011 und 2019 wurden insgesamt erst rund 160 Kilometer revitalisiert, was ca. 18 Kilometer pro Jahr entspricht. Bei der Umsetzung erweist es sich häufig als schwierig, das Land für die Projekte bereitzustellen. Die Bundessubventionen werden inzwischen grösstenteils ausgeschöpft, und die Anzahl jährlich umgesetzter Projekte hat sich auf stabilem Niveau eingependelt (Abb. 40; BAFU, 2021).

Die Umsetzung variiert zwischen den einzelnen Kantonen stark. Einige haben kein Projekt umgesetzt, andere bereits mehr als hundert. Der Grossteil der Revitalisierungen erfolgte bisher an Bächen; bei vielen dieser Projekte wurden unterirdisch verlegte Gewässer geöffnet (Ausdolungen). Im Durchschnitt ist ein Revitalisierungsprojekt an Fließgewässern ca. 360 Meter lang, zum Teil werden aber auch mehrere Kilometer am Stück aufgewertet. Insgesamt wurden bislang 577 Querbauwerke beseitigt, Massnahmen zur Geschiebesanierung wurden bisher nur vereinzelt getroffen. Der Projektanteil in Landwirtschaftsland und Siedlungsgebiet ist gleich gross (je 41 Prozent). An Seeufern wurden bislang nur 4.8 Kilometer revitalisiert (BAFU, 2021). Neben den Revitalisierungen können auch Hochwasserschutzprojekte dazu beitragen, die Gewässer naturnaher umzugestalten, sofern dies mit den Zielen des Hochwasserschutzes vereinbar ist.

Neu wird die Wirkung von Revitalisierungen auf Lebensraumvielfalt, Tiere und Pflanzen untersucht. Dadurch sollen sich künftig noch effizientere und kostenwirksamere Projekte umsetzen lassen. Da das Revitalisierungsprogramm der Schweiz eine Mehrgenerationenaufgabe darstellt, lohnt es sich, aus bereits umgesetzten Projekten für die Zukunft zu lernen, damit die Biodiversität in und an den Gewässern tatsächlich nachhaltig von den Revitalisierungen profitiert.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Renaturierung > Revitalisierungen

6.6 Gewässerraum

Der Gewässerraum soll den Platz sichern, den die Gewässer brauchen, um ihre natürlichen Funktionen als Lebensraum und Vernetzungselemente in der Landschaft wahrzunehmen. Ebenfalls soll er helfen, Stoffeinträge aus der Landwirtschaft zu verringern. Schweizweit ist die Festlegung des Gewässerraums in rund 13 Prozent der Gemeinden abgeschlossen. In etwa 70 Prozent aller Gemeinden erfolgt sie voraussichtlich bis Ende 2027. Ist der Gewässerraum einmal festgelegt, stellen gewässergerechte Gestaltung und extensive Bewirtschaftung neue Herausforderungen dar.

Der Gewässerraum vernetzt Wasser und Land

Der Lebensraum Gewässer beschränkt sich nicht auf die benetzte Fläche, denn Bäche, Flüsse und Seen sind stark mit ihrer Umgebung verzahnt. Damit die Gewässer einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können, als Vernetzungselement in der Landschaft funktionieren und das Wasser bei Hochwasser zurückhalten können, brauchen sie den sogenannten Gewässerraum. Ist er einmal festgelegt, muss er gewässergerecht gestaltet und extensiv bewirtschaftet werden, damit auch der Stoffeintrag in die Gewässer verringert wird.

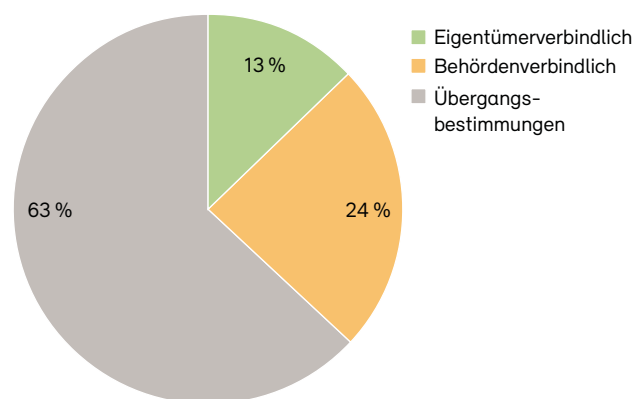
Gewässerräume teilweise festgelegt

Schweizweit wurde der Gewässerraum per Ende 2019 in rund 13 Prozent der Gemeinden auf ihrem ganzen Gebiet eigentümergebunden festgelegt (Abb. 41). In weiteren 24 Prozent der Gemeinden besteht ein behördenverbindlicher Gewässerraum. Die beiden Kategorien unterscheiden sich bei den Bewirtschaftungsvorschriften. Ist ein Gewässerraum eigentümergebunden, gelten dort Bewirtschaftungsbeschränkungen (Verbot von Düngern und Pflanzenschutzmitteln). Im behördenverbindlichen Gewässerraum gelten diese Beschränkungen noch nicht, es darf aber nur in Ausnahmefällen gebaut werden. Ist noch kein Gewässerraum festgelegt, gelten die Übergangsbestimmungen (Abb. 41).

Die Kantone haben eine Prognose darüber abgegeben, bis wann die eigentümergebundenen Gewässerraumfestlegung auf ihrem Kantonsgebiet abgeschlossen sein soll: 19 Kantone erwarten, dass dies bis 2027 der Fall sein wird. Trifft die Erwartung zu, werden 70 Prozent aller Schweizer Gemeinden den Gewässerraum eigentümergebunden festgelegt haben.

Abb. 41: In den meisten Gemeinden wurde der Gewässerraum noch nicht festgelegt

Dargestellt sind die Prozentsätze der Gemeinden, die den Gewässerraum eigentümergebunden, behördenverbindlich oder noch nicht rechtskräftig (gemäss Übergangsbestimmungen) festgelegt haben. Die Daten beziehen sich jeweils auf das ganze Gemeindegebiet. Stand Daten: Ende 2019.



Einschränkungen

	Verbot Erstellen neuer Anlagen	extensive Bewirtschaftung
Übergangsbestimmungen	✓	x
Behördenverbindlich	✓	x
Eigentümergebunden	✓	✓

Gerichtsentseide konkretisieren Gesetzgebung

Gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) galten die Übergangsbestimmungen bis Ende 2018. Bis zu diesem Zeitpunkt hätte der Gewässerraum zumindest behördenverbindlich festgelegt werden sollen. Der Umsetzungsprozess ist allerdings erst langsam angelaufen, insbesondere aufgrund der bis 2017 laufenden Revisionen der GSchV. Die Verzögerung bei der Umsetzung ist aber nicht nur negativ, sondern hat auch positive Aspekte: Zum einen hat das Bundesgericht die Gewässerschutzgesetzgebung durch Leitentscheide in den letzten Jahren konkretisiert. Zum anderen wurden spezifische Vollzugsfragen in einer 2019 publizierten Arbeitshilfe geklärt (siehe «Weitere Informationen»). Dies ermöglicht eine schweizweit einheitliche Umsetzung.

Weitere Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Renaturierung > Gewässerraum

6.7 Wasserentnahmen und Restwasser

Damit Fließgewässer ihre Funktionen erfüllen können, braucht es unterhalb von Wasserentnahmen ausreichend Wasser in Fluss- und Bachbetten. Das Gewässerschutzgesetz legt diese Restwassermengen fest. Diese Bestimmungen kommen jedoch erst zum Tragen, wenn die Nutzungsbeurteilung für eine Wasserkraftanlage erneuert wird. Deshalb konnten bei den meisten Wasserentnahmen noch keine angemessenen Restwassermengen festgelegt werden.

In der Schweiz wird an rund 1500 Standorten Wasser aus Fließgewässern entnommen. Die Mehrheit dieser Entnahmen dienen der Wasserkraftnutzung. Bis zum Inkrafttreten des Gewässerschutzgesetzes 1992 wurde teilweise so viel Wasser gefasst, dass Gewässerabschnitte zeitweise trocken fielen. Seit 1992 muss nun ausreichend Restwasser im Fluss- und Bachbett belassen werden.

Zwischensanierung fast abgeschlossen

Gemäss den Übergangsregelungen darf für Wasserentnahmen, die vor 1992 bewilligt wurden, nur so viel Restwasser eingefordert werden, wie dies für die Wasserkraftwerke wirtschaftlich tragbar ist. Die mit der Nutzungsbeurteilung (Konzession) erworbenen Rechte der Wasserkraftbetreiber dürfen nicht verletzt werden. Nur in Ausnahmefällen, wenn beispielsweise besonders schützenswerte Lebensräume betroffen sind, können auch höhere Restwassermengen angeordnet werden. Der Verlust wird dann vom Kanton und Bund finanziell entschädigt. Die Frist für die Umsetzung dieser Übergangsregelung ist 2012 abgelaufen.

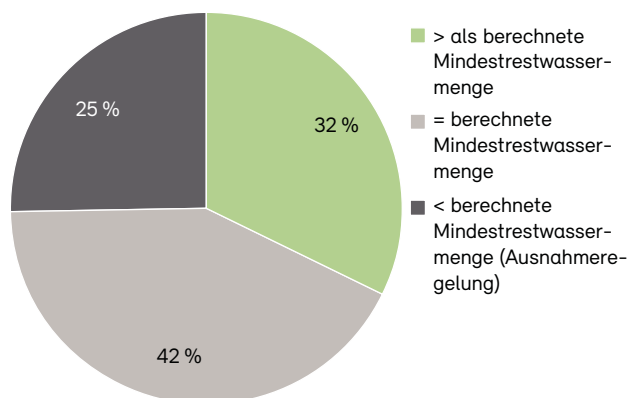
Ende 2020 waren 91 Prozent der rund 1000 sanierungspflichtigen Wasserentnahmen gemäss den Übergangsregelungen saniert. Bis ins Jahr 2025 sollte diese Regelung vollständig umgesetzt sein. In den sanierten Gewässern konnte eine Verbesserung für die Gewässerlebewesen erreicht werden. Um jedoch die minimalen ökologischen Funktionen der Gewässer wiederherzustellen, muss noch mehr Wasser in den Gewässern verbleiben. Dies kann aber erst bei der Neukonzessionierung der Wasserkraftwerke eingefordert werden.

Angemessene Restwassermengen

Die meisten Wasserkraftanlagen wurden zwischen 1945 und 1970 mit einer Konzessionsdauer von 80 Jahren in Betrieb genommen. Daher werden viele Konzessionen zwi-

Abb. 42: In zwei Drittel der Fälle wurden die berechneten Mindestrestwassermengen nicht erhöht oder tiefer angesetzt, in einem Drittel erhöht

Umfang der festgelegten Restwassermengen relativ zur berechneten Mindestrestwassermenge bei 107 Kraftwerkprojekten (1992–2017).



schon 2025–2050 erneuert. Aktuell sind folglich erst bei wenigen Wasserkraftwerken die gesetzlich vorgeschriebenen angemessenen Restwassermengen umgesetzt.

Um diese zu bestimmen, wird zuerst rein rechnerisch eine Mindestrestwassermenge aufgrund des natürlichen Niedrigwasserabflusses berechnet (Q_{347} , Box 17). Danach wird diese Mindestrestwassermenge soweit erhöht, bis das Gewässer seine wichtigsten ökologischen Funktionen gewährleisten kann. So muss beispielsweise sichergestellt werden, dass genügend Wasser im Gewässer verbleibt, damit diese für Fische durchwanderbar sind. Ein Herabsetzen der Mindestrestwassermengen ist in definierten Ausnahmefällen erlaubt. Mit der Mindestrestwassermenge werden jedoch nur die absolut essentiellen ökologischen Anforderungen abgedeckt. Um die angemessenen Restwassermengen zu bestimmen, muss deshalb die Mindestrestwassermenge weiter erhöht werden. Der Umfang dieser Erhöhung ergibt sich aus der Abwägung der energiepolitischen und wirtschaftlichen Interessen sowie der Interessen zum Schutz und Erhalt der Biodiversität und Landschaften. Bei den 107 Wasserkraftprojekten mit bereits festgelegten angemessenen Restwassermengen wurde die berechnete Mindestrestwassermenge in knapp einem Drittel der analysierten Fälle erhöht (Abb. 42).

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Renaturierung > Restwasser

6.8 Sanierungsmassnahmen: Fischwanderung, Schwall-Sunk und Geschiebe

Damit die Gewässer ihre Funktionen wahrnehmen können, müssen die Wasserkraftwerke gemäss geltendem Gesetz bis 2030 die Fischwanderung wiederherstellen, die Abflussschwankungen bei der Wasserrückgabe dämpfen und den Geschiebetrieb gewährleisten. Erst ein kleiner Teil der geplanten Massnahmen ist abgeschlossen.

Die negativen Folgen der Wasserkraftnutzung sollen bis 2030 behoben werden

In der Schweiz produzieren über 1 300 Anlagen Strom aus Wasserkraft. Tausend Hindernisse von diesen Anlagen behindern die freie Fischwanderung und hundert Anlagen beeinträchtigen den Gewässerlebensraum durch künstliche Abflussschwankungen. Zudem stören fünfhundert Wasserkraftwerke und andere Anlagen (z. B. Kiessammler sowie die industrielle Entnahme von Kies) den Geschiebetransport, indem Gesteinsmaterial zurückgehalten wird.

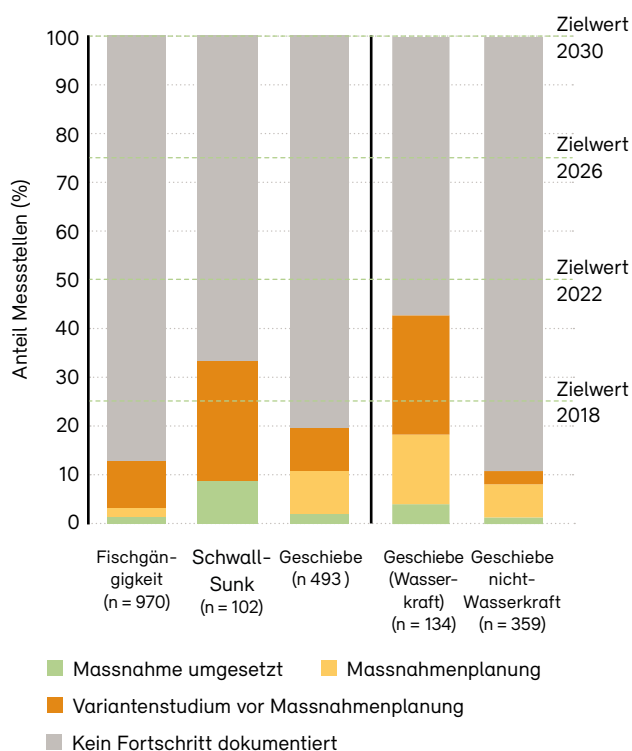
Fische werden bei Abflussspitzen (Schwall) weggeschwemmt und bei Niedrigwasser (Sunk) stranden sie auf trockenfallenden Kiesbänken. Ohne Geschiebetrieb werden die Gewässersohlen mit Feinmaterial abgedeckt. Auf diesen verstopften Sedimenten können die Fische ihren Laich nicht mehr platzieren. Um die negativen Folgen der Wasserkraftnutzung für die Wassertiere zu reduzieren, müssen Wasserkraftanlagen gemäss geltendem Gesetz bis 2030 ökologisch saniert werden.

Umsetzung der Sanierung ist gut angelaufen

Nachdem die Kantone die sanierungspflichtigen Anlagen in den Jahren 2011–2014 bestimmt haben, werden nun von den Anlageninhabern Massnahmen erarbeitet und umgesetzt. Bis Ende 2018 wurde jedoch erst ein kleiner Teil der geplanten Massnahmen abgeschlossen (Abb. 43). Aufgrund der strategischen Planungen der Kantone ist es bereits heute absehbar, dass die Mittel nicht ausreichen werden, um die ökologische Sanierung fristgerecht abzuschliessen. Ein vom UVEK einberufener Runder Tisch mit wichtigen Stakeholdern im Bereich der Wasserkraft empfiehlt in der Absichtserklärung vom 13. Dezember 2021, den Abschluss der ökologischen Sanierung der Wasserkraft sicherzustellen. Die dazu notwendigen Mittel sol-

Abb. 43: Der Zielwert für die Umsetzung der Sanierungsprojekte in den Bereichen Fischgängigkeit, Schwall-Sunk und Geschiebe wurde noch nicht erreicht

Dargestellt sind die Sanierungsmassnahmen in den verschiedenen Bereichen mit ihrem jeweiligen Stand der Umsetzung; n = Gesamtanzahl Projekte, die gemäss strategischer Planung bis 2030 saniert werden sollten, Stand Ende 2018.



len entsprechend dem in den strategischen Planungen der Kantone geschätzten Bedarf erhöht werden. Allfällige Verlängerungen der Sanierungsfristen sollten so kurz wie möglich sein.

Weiterführende Informationen

- www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Fachinformationen > Massnahmen > Renaturierung
- <https://plattform-renaturierung.ch>

7 Beispiele erfolgreicher Gewässerschutzmassnahmen

Schutz- und Aufwertungsprojekte in und an Gewässern zeigen positive Auswirkung auf die Wasserlebewesen und die Wasserqualität. Teilweise sind diese Verbesserungen aber erst lokal messbar. Deshalb werden hier exemplarisch die Erfolge von vier Projekten dargestellt. Sie betreffen den Ausbau der Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe für Mikroverunreinigungen, reduzierte Nitratauswaschung im Zuströmbereich einer Grundwasserfassung, die Revitalisierung sowie die Sanierung der Wasserkraft. Dank diesen erfolgreichen Massnahmen werden Gewässer sowohl geschützt, als auch ihre Funktionen wiederhergestellt und eine nachhaltige Nutzung ermöglicht.



Beispiel 1: Positive Auswirkungen des ARA-Ausbaus auf die Gewässer

Seit dem Sommer 2015 wird das Abwasser der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Bachwis in Herisau (AR), mit einer zusätzlichen Pulveraktivkohle-Stufe (PAK-Stufe) zur Elimination von Mikroverunreinigungen behandelt. Der Eintrag an Mikroverunreinigungen in die Glatt, in die das gereinigte Abwasser eingeleitet wird, nahm seither um über 80 Prozent ab. Die Verfärbungen und die Schaumbildung sind merklich zurückgegangen (Abb. 44). Diese Beeinträchtigungen waren auf die industrielle Aktivität im Einzugsgebiet der ARA Bachwis zurückzuführen, die weiterhin besteht. Die Belastungen unter- und oberhalb der ARA-Einleitstellen unterscheiden sich heute kaum mehr voneinander.

Abb. 44: Kläranlagenablauf vor (Dezember 2008) und nach dem Ausbau der ARA Bachwis (August 2015)



Fotos: A. Joss, Eawag

Die Gewässerqualität der Glatt hat sich seither deutlich verbessert. So haben sich wieder empfindliche Algen angesiedelt und der allgemeine Zustand der Fische hat sich nachweisbar verbessert. Bei den Bachforellen etwa ist ein deutlicher Rückgang von Vitellogenin feststellbar, einem Protein, das nur bei erhöhter Belastung durch hormonaktive Stoffe gebildet wird. Solche Stoffe werden heute aus dem Abwasser entfernt.

Beispiel 2: Positive Auswirkungen eines Nitratprojekts auf die Grundwasserqualität

Die Grundwasserfassung Chrummenlanden ist von grosser Bedeutung für die Trinkwasserversorgung im Klettgau und damit im ganzen Westen des Kantons Schaffhausen. Im Zuströmbereich der Fassung wird intensiv Ackerbau betrieben, Viehhaltung mit Grünlandnutzung existiert kaum. Die intensive landwirtschaftliche Nutzung hat dazu

geführt, dass der Nitratgehalt in der Fassung Chrummenlanden den Grenzwert für als Trinkwasser genutztes Grundwasser seit Jahrzehnten deutlich überschritten hat. Bis Mitte der 1990er Jahre erreichte der Nitratgehalt sogar 57 mg/l – mehr als das Doppelte des Grenzwerts. In der Folge erarbeitete der Kanton Schaffhausen ein Projekt nach Artikel 62a GSchG (Box 19). Zum Schutz des Grundwassers in der Fassung Chrummenlanden wurden verschiedene Massnahmen ergriffen, dank denen deutlich weniger Nitrat ins Grundwasser gelangt. Die wichtigsten Massnahmen waren die Umwandlung von Ackerflächen in extensive Wiesen, die Bodenbedeckung im Winter sowie die schonende Bearbeitung des Bodens ohne Pflügen.

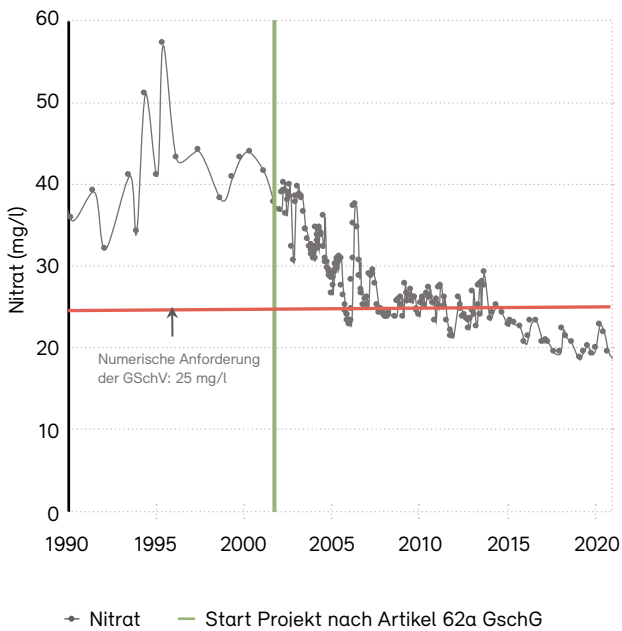
Das Projekt wurde 2001 gestartet; seit 2015 liegen die Nitratkonzentrationen in der Grundwasserfassung konstant unter dem Grenzwert von 25 mg/l (Abb. 45). Somit leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Sicherung einer nachhaltigen Wasserversorgung im Kanton Schaffhausen.

Box 19: Sanierungsprojekte bei Verunreinigungen durch die Landwirtschaft (Artikel 62a GSchG)

Wenn in einem Gewässer ein Stoff aus der Landwirtschaft seinen Grenzwert überschreitet (Grundwasser: Nitrat; Oberflächengewässer: Phosphor, PSM), kann der zuständige Kanton die notwendigen Massnahmen in einem Projekt nach Artikel 62a GSchG umsetzen. Dabei wird das Vorgehen der Landwirte im Zuströmbereich (s. Kap. 6.4) aufeinander abgestimmt und vertraglich geregelt. Gegen zu hohe Nitratkonzentrationen wirken beispielsweise folgende Massnahmen: dauerhafte Umwandlung eines Teils der Ackerfläche in Grünland, längere Phasen mit Kunstwiesennutzung in der Fruchtfolge sowie Verzicht auf Kulturen wie Tabak, Kartoffeln oder Mais. Der Bund finanziert Einkommenseinbussen, die den Landwirten aus solchen Massnahmen entstehen, bis zu 80 Prozent. Die restlichen ca. 20 Prozent werden in der Regel durch den Kanton abgegolten. Zurzeit laufen in diesem Rahmen rund 25 Projekte gegen Nitrat im Grundwasser, zwei PSM-Projekte bei Oberflächengewässern und ein Phosphorprojekt zur Sanierung des Baldegger-, Hallwiler-* und des Sempachersees.

* nur im Luzerner Einzugsgebiet

Abb. 45: Die Nitratkonzentration in der Grundwasserfassung Chrummenlanden im Klettgau hat deutlich abgenommen und liegt heute unter dem geforderten Grenzwert



Daten: Interkantonales Labor Schaffhausen

Beispiel 3: Revitalisierung des Inns bei Bever – ein Fluss wird ausgewildert

Der Inn bei Bever (GR) wurde auf einer Länge von rund 2,1 Kilometern revitalisiert. Vor der Revitalisierung floss er mit einer gleichbleibenden Breite von 25 Metern kanalisiert zwischen zwei Dämmen, die das Gewässer von den verbliebenen Auenwaldflächen abschnitten. Heute steht dem Inn das gesamte Auengebiet mit einer Breite von 90 bis 200 Metern zur Verfügung (Abb. 46). Diese Fläche gestaltet der Fluss nun immer wieder neu und schafft vielfältige, dynamische Lebensräume.

In den Jahren 2016/17 wurden verschiedene Wirkungskontrollen durchgeführt, weitere Wirkungskontrollen sind geplant. Sie zeigen, dass seit der Revitalisierung Bachforellen und Äschen wieder geeignete Laichplätze finden. In den ersten vier Jahren nach Abschluss der Bauarbeiten hatte sich dadurch die Anzahl Äschen bereits verdreifacht und die Anzahl Bachforellen fast verdoppelt (Abb. 47).

Die Artenzusammensetzung der wirbellosen Kleinlebewesen ist heute ebenfalls natürlicher als vor der Revitalisierung, denn strömungsliebende, typisch alpine Arten finden nun wieder geeignete Lebensräume. Auch lassen sich mehr Vogelarten beobachten als vor der Revitalisierung (Abb. 47). Unter anderem kehrten die Zielarten Flusssuferläufer und Flussregenpfeifer ins Auengebiet zurück.

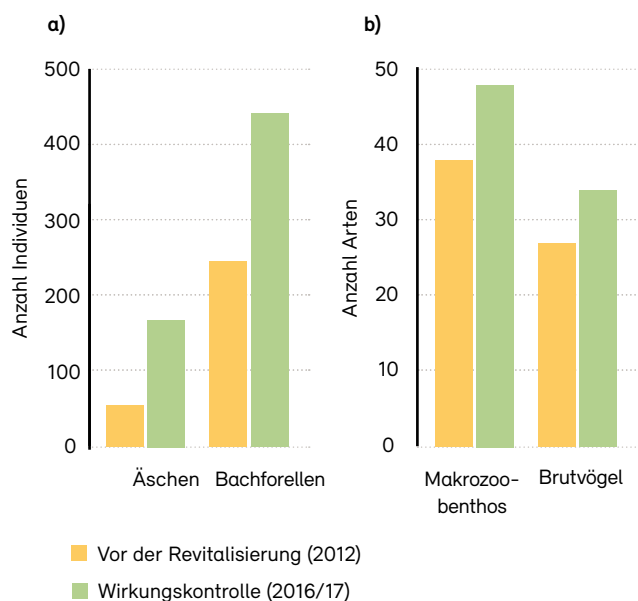
Abb. 46: Die Revitalisierung des Inns bei Bever (GR) ist nicht nur für die Natur, sondern auch fürs Auge eine Erfolgsgeschichte

Links: vor der Revitalisierung im Mai 2009; rechts: nach der Umsetzung der ersten Etappe im Mai 2014.



Fotos: links: Peter Rey; rechts: Pio Pitsch

Abb. 47: Dank der Revitalisierung hat (a) sich die Fischdichte am Inn verdoppelt bis verdreifacht und (b) die Anzahl Makrozoobenthos- und Brutvogelarten deutlich zugenommen



Daten: Ecowert GmbH (2019)

Beispiel 4: Erfolgreiche Fischabstiegsanlage beim Kraftwerk Stroppe

Am Kleinwasserkraftwerk Stroppe an der Limmat bei Untersiggenthal (AG) wurden die Fische bis 2013 beim flussabwärtsschwimmen durch eine Rechenanlage mit vertikalen Rechenstäben im Abstand von 35 Millimetern vor den Turbinen geschützt. Dieser Abstand war jedoch zu gross, so dass viele Fische durch den Rechen schwammen und verletzt oder getötet wurden. Im Jahre 2014 wurde dieser Rechen durch eine schräg zur Fließrichtung angeordnete Horizontalrechenanlage mit einem Stababstand von 20 Millimetern ersetzt (Abb. 48). Die Fische werden seither entlang des Rechens zu einer Fischabstiegsrinne – dem sogenannten Bypass – geleitet, durch den sie gefahrlos ins Unterwasser hinunterschwimmen können.

Bei den in den Jahren 2015 bis 2017 durchgeführten Wirkungskontrollen wurden im Bypass insgesamt über 10 000 Fische gezählt (Abb. 49). Alle in der Limmat regelmässig vorkommenden Arten, ausser die am Flussgrund lebenden Fischarten (z. B. Grundeln), waren vertreten. Auch kleinere Fische, die aufgrund ihrer Körperbreite ohne Schwierigkeiten durch den neuen Rechen schwimmen können, wurden in den sicheren Bypass umgelenkt (Zaugg und Mendez, 2018).

Die Untersuchungen zeigten jedoch auch, dass die Fische zum Teil in einer zu scharfen Kurve im Bypass verletzt werden (Zaugg und Mendez, 2018). Dieses Problem wurde erkannt und wird behoben, damit die Fische in Zukunft verletzungsfrei hinunterschwimmen können.

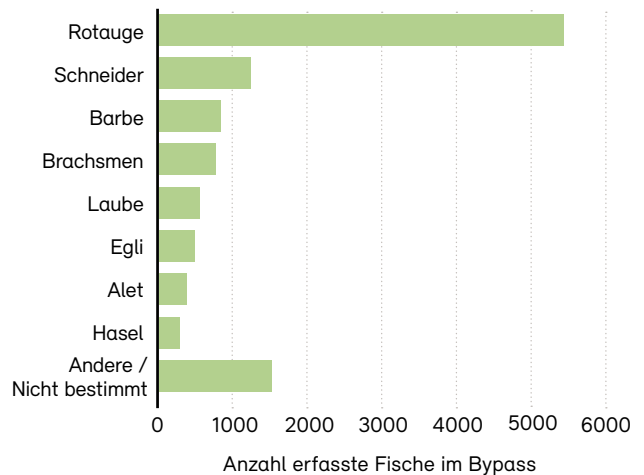
Abb. 48: Das Wasserkraftwerk Stroppe (AG) an der Limmat verfügt über einen Feinrechen, der wandernde Fische bei ihrem Abstieg sicher an den für sie lebensgefährlichen Turbinen vorbeiführt



Foto: AXPO Power AG

Abb. 49: Anzahl Fischnachweise im Bypass während der Wirkungskontrollen

Durchgeführt wurden fünf Untersuchungsblöcke sowie neun Stichproben.



Daten: Zaugg und Mendez (2018)

8 Fazit und Handlungsbedarf

Viele Massnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustands wurden eingeleitet und zeigen Erfolge: Gewässer erhalten wieder mehr Raum, Abflüsse werden natürlicher, Verunreinigungen reduziert und die Lebensräume vernetzt. Es sind jedoch weitere Massnahmen nötig, damit die Gewässer widerstandsfähig gegenüber dem Klimawandel werden und der Verlust an biologischer Vielfalt gestoppt werden kann.



8.1 Beurteilung des Gewässerzustands: Zusammenfassung

Wasserqualität vielerorts ungenügend

Zum ersten Mal betrachtet der vorliegende Gewässerbericht schweizweite Messdaten von Flüssen, Seen und Grundwasser gemeinsam. Die Ergebnisse der Untersuchungsprogramme zeigen, dass die Wasserqualität die gesetzlichen Mindestanforderungen vielerorts und zum Teil anhaltend nicht erfüllt. In fast allen untersuchten Fließgewässern im Mittelland und in den Talsohlen überschritten Mikroverunreinigungen die Grenzwerte: In Bächen und kleinen Flüssen waren es vor allem Pestizide, in grossen Fließgewässern einzelne Arzneimittel. Metaboliten des Pestizids Chlorothalonil, das vor allem in der Landwirtschaft eingesetzt wurde, belasten das Grundwasser grossflächig. Aber auch die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor gelangen noch immer in allzu hohen Mengen in ober- und unterirdische Gewässer. So verunreinigt Stickstoff in der Form von Nitrat das Grundwasser grossflächig. Und in mehreren Seen führt zu viel Phosphor letztlich zu Sauerstoffmangel.

Den Defiziten zum Trotz gilt es festzuhalten, dass sich die Wasserqualität der oberirdischen Gewässer bezüglich Nährstoffe und pathogene Mikroorganismen in den vergangenen Jahrzehnten verbessert hat. Heute wird ein grosser Teil der Nährstoffe aus dem Siedlungsgebiet von Oberflächengewässern ferngehalten – dank hoher Investitionen in die Siedlungsentwässerung und die Abwasserreinigung.

Positiv ist auch die Qualität der Badegewässer. Sie ist in der Schweiz praktisch flächendeckend gut – mit Ausnahme kurzfristig hoher Belastungen, wie zum Beispiel dem massenhaften Auftreten von giftigen Cyanobakterien, die sich wegen des Klimawandels in Zukunft vermutlich häufen werden.

Weitere menschliche Einflüsse setzen die Gewässer unter Druck

Neben den Defiziten bei der Wasserqualität fehlt es vielen oberirdischen Gewässern an Raum – sie wurden seit dem 19. Jahrhundert im Rahmen von Gewässerkorrekturen, Landgewinnung und Hochwasserschutz in ein enges Korsett gezwängt. Dadurch sind wichtige Lebensräume

an der Schnittstelle zwischen Wasser und Land verlorengegangen.

Auch die Wasserkraftnutzung beeinflusst die Schweizer Gewässer seit jeher stark. Die negativen Folgen der Stromproduktion reichen von ungenügendem Restwasser und Wanderhindernissen für Fische, über Defizite im Geschiebehaushalt bis zu künstlichen Abflussschwankungen (Schwall-Sunk). Damit hat die Wasserkraftnutzung entscheidend zur Fragmentierung der aquatischen Lebensräume beigetragen, und sie hat die strukturellen und hydrologischen Defizite unserer Gewässer mitverursacht.

Der Klimawandel zeigt in Oberflächengewässern messbare Auswirkungen – mit Folgen für die Ökosysteme. So haben sich die Temperaturen in vielen Oberflächengewässern deutlich erhöht. Dieser Trend wird sich fortsetzen: Bis 2040 werden die Fließgewässertemperaturen um rund 2 °C weiter ansteigen. Verändert haben sich auch die saisonalen Schwankungen, denen die Abflüsse und Pegelstände von Fließgewässern und Seen unterworfen sind. Im Grundwasser hingegen sind noch kaum Veränderungen festzustellen.

In Zukunft werden weitere Veränderungen hinzukommen: Wasser wird im Sommer und Herbst lokal knapper werden. Gewisse Bäche und Flüsse werden dadurch trockenfallen und der Bezug von Wasser aus kleineren Grundwasservorkommen wird nicht mehr möglich sein.

Wasserlebewesen sind bedroht

In der Summe führen die menschlichen Einflüsse auf die Gewässer dazu, dass die Wasserorganismen leiden. Dies vor allem dort, wo sich die wirtschaftlichen Tätigkeiten und der Grossteil der Bevölkerung konzentrieren: im Schweizer Mittelland und in den Talebenen. Die Untersuchungen von Pflanzen und Tieren in den Fließgewässern zeigen weit verbreitete ökologische Defizite. Der Lebensraum Gewässer ist oft beeinträchtigt und befindet sich nicht in einem naturnahen Zustand. Besonders betroffen sind die Fische und die Wasserpflanzen, da sie vom Zusammenwirken verschiedener menschlicher Einflüsse über längere Zeiträume beeinträchtigt werden.

Die aufgezeigten ökologischen Defizite werden durch die Tatsache bestätigt, dass die Biodiversität in und an den Gewässern stark zurückgegangen und in hohem Masse gefährdet ist. Das zeigt sich auch in den Seen, wo ein Teil der einzigartigen Fischarten verschwunden ist. Invasive gebietsfremde Pflanzen und Tiere, die sich in grossen Flüssen und Seen teilweise rasant ausbreiten, setzen die angestammten Arten zusätzlich unter Druck. Eine reiche Biodiversität ist aber essenziell, damit die Ökosysteme gegenüber Umweltveränderungen wie dem Klimawandel oder den gebietsfremden Arten widerstandsfähig bleiben.

Trinkwassernutzung ist gefährdet

Vor allem im landwirtschaftlich intensiv genutzten und stark besiedelten Mittelland ist das Grundwasser, unsere wichtigste Trinkwasserressource, grossflächig durch Nitrat und Pestizidmetaboliten verunreinigt. Somit kann das Grundwasser mancherorts nur noch eingeschränkt als Trinkwasser genutzt werden. Das Trinkwasser steht aber noch zusätzlich unter Druck: Die Siedlungsfläche und damit das Risiko von Verunreinigungen wächst, und es fehlen freie Flächen für Schutzzonen und neue Fassungen.

Gewässer können ihre Aufgaben nicht mehr übernehmen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Gewässer ihre für Mensch und Natur essenziellen Aufgaben nicht mehr überall erfüllen können. Damit die Gewässer als Trinkwasserressource dienen, als Erholungsraum und Landschaftselement bestehen sowie Tieren und Pflanzen Lebensraum bieten können, müssen sie unbedingt besser geschützt und wieder aufgewertet werden.

8.2 Handlungsbedarf

Das Gewässerschutzgesetz zeichnet den Weg vor

Angesichts der vielschichtigen Probleme unserer Gewässer braucht es Massnahmen in vielen Bereichen. Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) wurde im letzten Jahrzehnt angepasst und schreibt heute auch in den Bereichen Revitalisierung, ökologische Sanierung der Wasserkraft und erweiterte Abwasserreinigung griffige Verbesserungsmassnahmen vor. Zudem regelt es deren Finanzierung. Es gilt deshalb, bei Schutz und Aufwertung der Gewässer den erfolgreich eingeschlagenen Weg weiterzugehen. Doch die im GSchG vorgesehenen Massnahmen allein reichen nicht

aus, um alle wesentlichen Defizite zu beheben. So muss etwa die Raumplanung zum Grundwasserschutz beitragen oder die Landwirtschaft ihre Stoffeinträge reduzieren.

Gewässerschutz in der Landwirtschaft und im Siedlungsgebiet verstärken

Die Schweiz verfügt über ein leistungsfähiges Netz von Abwasserkanälen, und praktisch alle Schweizerinnen und Schweizer sind an eine Abwasserreinigungsanlage (ARA) angeschlossen. Darum gehören Bilder von Schaumbergen auf Flüssen und von extrem überdüngten Seen der Vergangenheit an. Diese unbestrittene Erfolgsgeschichte gilt es in Zukunft weiterzuschreiben, indem die ARA Arzneimittel und andere Mikroverunreinigungen eliminieren und den Stickstoff noch besser zurückhalten. Der erforderliche Ausbau der ARA ist in vollem Gange. Ist er einmal abgeschlossen, wird sich die Wasserqualität der Gewässer weiter verbessert haben. Beispiele ausgebauter ARA zeigen, dass die betroffenen Gewässer deutlich entlastet werden. Parallel zum ARA-Ausbau soll auch die Belastung der Gewässer durch Industrie- und Gewerbeabwasser sowie durch die Direkteinleitungen von Regenwasser weiter verringert werden. Dabei ist auch der Reifenabrieb – die wichtigste Verschmutzung der Gewässer mit Plastik – noch besser zurückzuhalten, und die aufgrund des Klimawandels zunehmenden Starkniederschläge sind zu berücksichtigen.

Die Grundwasserqualität hat sich auch dank Lenkungsabgaben, Verboten und Anwendungseinschränkungen sowie durch die Sanierung von Altlasten verbessert: So überschreiten die flüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe die Grenzwerte immer seltener. Und die strengen Kriterien der Pflanzenschutzmittelzulassung zum Schutz des Grundwassers vor Belastungen mit Pestiziden haben dazu geführt, dass Pestizide im Grundwasser nur selten in Konzentrationen über 0,1 µg/l vorkommen.

Um die Nitratauswaschung ins Grundwasser zu reduzieren, wurden einzelne Gewässerschutzprojekte erfolgreich realisiert. Doch solche Projekte erreichen nur einen Teil der besonders betroffenen Grundwasservorkommen im Ackerbauggebiet. Darum ist es wichtig, solche Massnahmen auszuweiten, damit möglichst alle beeinträchtigten Gewässer davon profitieren.

In diesem Zusammenhang besteht grosser Handlungsbedarf bei der Festlegung der Zuströmbereiche – jener Gebiete also, aus welchen unter- und oberirdische Gewässer verunreinigt werden können. Insgesamt müssten die Kantone bei rund 2800 der landesweit zirka 18 000 Grundwasserfassungen möglichst bald die Zuströmbereiche bestimmen. Zuströmbereiche fehlen bisher aber auch bei den meisten überdüngten Seen. Diese Seen sind übermässig mit Phosphor belastet. Wo notwendig, muss die landwirtschaftliche Nutzung im Zuströmbereich so angepasst werden, dass sie mit den Anforderungen des Gewässerschutzes vereinbar ist.

Um die Einträge von Pestiziden in die Gewässer mit Massnahmen an der Quelle zu senken, ist primär die Landwirtschaft gefordert. Der Bundesrat will die Pestizidbelastung in den Gewässern und in der Umwelt generell reduzieren. Darum hat er 2017 den Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) verabschiedet. Weiter hat das Parlament im Jahr 2021 das Bundesgesetz über die Verminderung der Risiken durch den Einsatz von Pestiziden beschlossen (Pa.lv. 19.475). Nach der Umsetzung der Neuregelungen sollte die Belastung der Gewässer mit Pestiziden und deren Metaboliten deutlich abnehmen.

Ein bedeutender Schritt in Richtung Risikoreduktion sind die bereits erfolgten Anwendungseinschränkungen und -verbote für einige Pestizide, die Grundwasser und Fließgewässer in der Vergangenheit verunreinigt haben. Nun gilt es sicherzustellen, dass diese Pestizide nicht durch Stoffe ersetzt werden, welche die Gewässer erneut verunreinigen. Zudem gilt aus Sicht des Gewässerschutzes folgendes Ziel: Im Siedlungsgebiet und in der Landwirtschaft sollten keine sehr risikobehafteten Pestizide angewendet werden, unabhängig davon, ob sie als PSM oder Biozide zugelassen sind.

Damit die Wasserversorgung langfristig gesichert bleibt, braucht es zusätzliche Anstrengungen – nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch im Siedlungsgebiet. Nutzungskonflikte im Nahbereich von Fassungen müssen gelöst und neue Konflikte verhindert werden. Bestehende Gefährdungen in Schutzzonen sind zu minimieren. Schutzzonen müssen bei der Planung von Bauvorhaben früh berücksichtigt und Nutzungseinschränkungen konsequent umgesetzt werden. Dafür müssen die Kantone beispielsweise die Wasserversorgungsplanungen entsprechend überarbeiten.

Revitalisierung von Gewässern und Sanierungen bei der Wasserkraftnutzung

Zur Verbesserung des ökologischen Zustands der Gewässer braucht es neben dem Schutz vor Verunreinigungen weitere Elemente: Flüsse, Bäche und Seen sollen revitalisiert werden, die Gewässer müssen mehr Raum erhalten und es gilt, die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung zu verringern.

Die ökologische Sanierung von bestehenden Wasserkraftanlagen ist angelaufen und zeigt erste Erfolge. Damit verfolgt man etwa das Ziel, dass die erwachsenen Seeforellen zur Paarungszeit wieder in die Seitengewässer der Schweizer Seen gelangen und sich flussaufwärts auf lockerem Kies fortpflanzen können. Für die Fische muss aber auch der Rückweg freigemacht werden: Ein gutes Beispiel dafür ist das Kleinwasserkraftwerk Stoppel an der Limmat. Ein Grossteil der Fische kann diese Sperre dank erfolgreicher Sanierung flussabwärts wieder überwinden. Die Kantone wie auch die Wasserkraftinhaber sind motiviert, die nötigen Massnahmen voranzutreiben und so die Wasserkraftnutzung künftig ökologisch und nachhaltig zu gestalten. Trotz grossem Engagement müssen die Arbeiten beschleunigt werden, damit Fischwanderhindernisse, künstliche Abflussschwankungen und Defizite im Geschiebehauhalt bis Ende dieses Jahrzehnts beseitigt werden können. Der vom UVEK einberufene Runde Tisch Wasserkraft empfiehlt in seiner Absichtserklärung vom 13. Dezember 2021, den Abschluss der ökologischen Sanierung der Wasserkraft sicherzustellen, und insbesondere die dazu notwendigen Mittel entsprechend dem in den strategischen Planungen der Kantone geschätzten Bedarf zu erhöhen. Allfällige Verlängerungen der Sanierungsfristen sollten so kurz wie möglich sein.

Zurzeit verbleibt bei vielen Wasserentnahmen für die Wasserkraftnutzung zu wenig Wasser im Gewässer. Der Lebensraum für Pflanzen und Tiere wird dadurch stark beeinträchtigt. Bei der Erneuerung von Wasserkraftkonzessionen und bei der Bewilligung von neuen Wasserkraftanlagen müssen die gesetzlich festgelegten Restwassermengen nach der Wasserfassung im Gewässer verbleiben. Diese Restwassermengen können bei ökologisch weniger wertvollen Gewässern reduziert werden und müssen bei wertvollen Gewässern erhöht werden. Ein Grossteil der Neukonzessionierungen wird in den Jahren 2025–2050 erfolgen. Dann werden in den Restwasserstrecken auch wieder Fische leben können.

Bei der Reduktion der Defizite in Sachen Raumbedarf und Ökomorphologie der Fliessgewässer wurde erst der Anfang gemacht. Trotzdem verändern die revitalisierten Gewässer das Landschaftsbild der Schweiz bereits an verschiedenen Orten deutlich. Dies erfreut viele Menschen, dient aber auch natürlichen Pflanzen- und Tiergesellschaften, die sich an den revitalisierten Fliessstrecken wieder etablieren können. Allerdings bleibt noch viel zu tun: Es wurden bisher lediglich rund 4 Prozent der gesetzlich vorgeschriebenen 4000 Kilometer Fliessstrecken revitalisiert. Bis alle Strecken ökologisch aufgewertet sind, werden 80 Jahre vergehen. Realisieren lässt sich diese Generationenaufgabe nur, wenn auch Lösungen gefunden werden, um das dazu benötigte Land zu erwerben.

Auch beim Gewässerraum besteht weiterer Handlungsbedarf. Es reicht nicht, Flächen als Gewässerraum auszuscheiden, sie müssen auch naturnah gestaltet und extensiv bewirtschaftet werden. Nur so lässt sich das Ziel einer ökologischen Aufwertung erreichen und können Einträge von Gülle, Nährstoffen und Pestiziden in die Gewässer minimiert werden. Der Gewässerraum und ein natürlicher Gewässerlauf tragen zusätzlich auch zum modernen Hochwasserschutz bei. Bäche und Flüsse, denen genügend Raum zur Verfügung steht, schwächen Hochwasserspitzen ab.

Folgen des Klimawandels regional angehen

Der Klimawandel macht es noch dringlicher, den Einfluss des Menschen auf die Gewässer zu reduzieren. Die Gewässer mit ihren Lebewesen lassen sich dann am besten vor den Auswirkungen des Klimawandels schützen, wenn der ökologische Zustand von Bächen, Flüssen und Seen sowie die Wasserqualität weiter verbessert werden.

Ein gutes Beispiel für diesen Zusammenhang ist die Sanierung überdüngter Seen. Fische brauchen bis an den Seegrund genügend Sauerstoff. Im Zuge des Klimawandels wird weniger Sauerstoff von der Oberfläche in die tiefen Seeschichten gelangen. Grund dafür ist die seltenere Seedurchmischung. Ein See im natürlichen Zustand, ohne übermässige Nährstoffbelastung, ist auf diese Auswirkung des Klimawandels besser vorbereitet, als ein überdüngter See, da die Überdüngung dazu führt, dass in tiefen Schichten Sauerstoff fehlt.

Mit Blick auf die in einzelnen Regionen drohende Wasserknappheit wurden Anpassungsmassnahmen entwickelt. Im Projekt «Fischgerechter Wasserbau» zum Beispiel werden wasserbauliche Lösungen und fischereiliche Bewirtschaftungspraktiken erarbeitet, die auch unter fortschreitendem Klimawandel zum Erhalt einheimischer Fischarten beitragen.

Bezüglich Trink- und Brauchwasserversorgung ist die regionale Planung zentral. Sie beinhaltet die Abstützung der Wasserversorgung auf verschiedene Standbeine sowie die Schutzmassnahmen vor Verunreinigungen und muss sicherstellen, dass sonstige Wassernutzungen die Trinkwasserressourcen nicht konkurrenzieren. Zu solchen Nutzungen gehören etwa Wasserentnahmen zum Kühlen oder Heizen von Gebäuden, für industrielle Prozesse oder für die Bewässerung.

Gemeinsam für naturnahe Gewässer

Generell gilt: Erfolge lassen sich insbesondere dann erzielen, wenn alle Akteure zusammenarbeiten – von Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft über die Forschung bis zu Interessenverbänden und Behörden. Sie alle können durch innovatives Vorgehen zu weiteren Verbesserungen der Gewässer beitragen. Dabei helfen raumplanerische Instrumente (Sach-, Richt- und Nutzungsplanung) ebenso wie wenn die Akteure ihre Interessen möglichst transparent darlegen. So können gemeinsam Lösungen entstehen, die für alle einen Gewinn darstellen. Die Zahlen und Fakten aus dem vorliegenden Bericht stellen dafür eine wichtige Grundlage dar.

9 Literatur

- Adam V., Yang T. und Nowack B. (2019): Toward an Ecotoxicological Risk Assessment of Microplastics: Comparison of Available Hazard and Exposure Data in Freshwaters. *Environ. Toxicol. Chem.* 38: 436–447.
- AFU SO (2020): Zustand Solothurner Gewässer. Amt für Umwelt Kanton Solothurn.
- Alexander T. und Seehausen O. (2021): Diversity, distribution and community composition of fish in perialpine lakes – «Projet Lac» synthesis report. Eawag.
- AWA BE (Hrsg.) (2015): Zustand der Kleinseen. awa fakten. Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern.
- AWA BE (Hrsg.) (2019): Zustand der Gewässer – 2017 und 2018 Schwerpunkt Aaretal. awa fakten. Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern.
- AWE SG (2014): Chemie – Auswertung 2002–2013. Einzugsgebiet Rheintal – Bodensee. Amt für Wasser und Energie Kanton St. Gallen.
- AWE SG (2014): Gewässerüberwachung – Fliessgewässer: Chemie – Metalle. Amt für Wasser und Energie Kanton St. Gallen.
- AWEL (2018): Wasser und Gewässer 2018 – Gesamtbericht. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich.
- BAFU (2013): NAWA – Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Konzept Fliessgewässer. Umwelt-Wissen Nr. 1327. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (2018): Schutz der Grundwasserfassungen in der Schweiz – Stand des Vollzugs. Bericht zur Umfrage bei den kantonalen Fachstellen Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (2020): Eidgenössische Fischereistatistik. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (2021): Renaturierung der Schweizer Gewässer: Stand Umsetzung Revitalisierungen 2011–2019. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (Hrsg.) (2019a): Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Umwelt-Zustand Nr. 1901. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (Hrsg.) (2019b): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern (IBCH_2019). Makrozoobenthos – Stufe F. 1. aktualisierte Ausgabe, November 2019; Erstausgabe 2010. Umwelt-Vollzug Nr. 1026. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (Hrsg.) (2020): Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung – Stand und Handlungsbedarf. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (Hrsg.) (2021a): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2020. Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer. Umwelt-Zustand Nr. 2109. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (Hrsg.) (2021b): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Umwelt-Wissen Nr. 2101. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- BAFU et al. (Hrsg.) (2019): Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Umwelt-Zustand Nr. 1909. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Binderheim E. (2019): Wie steht es um die Schweizer Kleinseen? Erfassung des trophischen Zustands. *Aqua & Gas* 6: 60–65.
- Binderheim E. (2021): Biologischer Zustand der Seen. Fachbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Sponsolim Umweltconsulting.
- BLV, Agroscope, BAFU (2022): Relevanz von Pflanzenschutzmittel-Metaboliten im Grund- und Trinkwasser.

- Bornand C., Gygax A., Juillerat P., Jutzi M., Möhl A., Rometsch S., Sager L., Santiago H. und Eggenberg S. (2016): Rote Liste Gefässpflanzen. Gefährdete Arten der Schweiz Umwelt-Vollzug Nr. 1621. Bundesamt für Umwelt, Bern und Info Flora, Genf.
- Brodersen J., Hellmann J. und Seehausen O. (in Erarbeitung): Erhebungen der Fischbiodiversität in Schweizer Fließgewässern – Progetto Fiumi Synthese Bericht. Eawag.
- Burdon F. J., Munz N. A., Reyes M., Focks A., Joss A., Räsänen K., Altermatt F., Eggen R. I. L. und Stamm C. (2019): Agriculture versus wastewater pollution as drivers of macroinvertebrate community structure in streams. *Science of The Total Environment* 659: 1256–1265.
- Casado-Martinez M. C., Ferrari B. J. D., Vermeirssen E. und Werner I. (2016): Trace metals in sediments from Switzerland: Situation analysis and recommendations Swiss. Centre for Applied Ecotoxicology Eawag-EPFL, Lausanne.
- Casado-Martinez M. C., Wildi M., Breider F., Grandjean D., Marchand Ph., Pascariello S., Valsecchi S., Daouk S., Schindler-Wildhaber Y., Ferrari B. J. D., Werner I. (in Erarbeitung): Stratégie d'évaluation de la qualité des sédiments en Suisse – et son application dans 18 petits ruisseaux. *Aqua & Gas*.
- Chiaia-Hernandez A., Hollender J. und Krauss M. (2013): Screening of Lake Sediments for Emerging Contaminants by Liquid Chromatography Atmospheric Pressure Photoionization and electrospray Ionization Couple To High Resolution Mass Spectrometry. *Environ. Sci. Technol.* 47: 976–986.
- Chiaia-Hernández A. C., Zander P. D., Schneider T., Szidat S., Lloren R. und Grosjean M. (2020): High-Resolution Historical Record of Plant Protection Product Deposition Documented by Target and Nontarget Trend Analysis in a Swiss Lake under Anthropogenic Pressure. *Environmental Science & Technology* 54: 13 090–13 100.
- CIPEL (2017): Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique. Campagne 2017. Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution, Nyon.
- Dax A., Stravs M., Stamm C., Ort C., La Cecilia D. und Singer H. (2020): MS2Field: Mikroverunreinigungen mobil messen – Zeitlich hochaufgelöste Messungen zeigen realistisches Ausmass akuter Gewässerbelastungen. *Aqua & Gas* 12: 14–19.
- Delarze R., Eggenberg S., Steiger P., Bergamini A., Fivaz F., Gonseth Y., Guntern J., Hofer G., Sager L. und Stucki P. (2016): Rote Liste der Lebensräume der Schweiz. Aktualisierte Kurzfassung zum technischen Bericht 2013. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.
- Doppler T., Dietzel A., Wittmer I., Grelot J., Kunz M. und Rinta P. (2020): Mikroverunreinigungen im Gewässermontoring – Ausbau von NAWA TREND und erste Resultate. *Aqua & Gas* 7/8: 44–53.
- Doppler T., Mangold S., Wittmer I., Spycher S., Comte R., Stamm C., Singer H., Junghans M. und Kunz M. (2017): Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen. NAWA-SPEZ-Kampagne untersucht Bäche in Gebieten intensiver Landwirtschaftlicher Nutzung. *Aqua & Gas* 4: 46–56.
- Ecowert GmbH (2019): Revitalisierung Innauen Bever – Ökologisches Monitoring. Stand August 2019.
- Elliot J. M. (1994): *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. Oxford University Press, USA.
- Faure F. und De Alencastro L. F. (2014): Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Rapport final Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit (ENAC), Institut d'ingénierie de l'environnement (IIE), Laboratoire central environnemental (GR-CEL), Lausanne.
- Faure F., Demars C., Wieser O., Kunz M. und De Alencastro L. F. (2015): Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants *Environ. Chem.* 12: 582–591.
- Gufler C., Hürlimann J. und Straub F. (2021): NAWA SPEZ Biologie 2018, Teil Diatomeen und Äusserer Aspekt. Fachbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

- Gufler C., Hürlimann J. und Straub F. (2021): NAWA TREND Biologie 2019, Teil Diatomeen und Äusserer Aspekt. Fachbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).
- Haberthür M.: 2021, Ergebnisse der 3. Erhebung NAWA-Trend Los 2, Makrozoobenthos. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
- Haberthür M., Martinez N. und Küry D. (2021): Analyse möglicher Einflussfaktoren auf die kurz- und langzeitlichen Trends beim Makrozoobenthos in NAWA TREND. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Hürlimann J. und Niederhauser P. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F. Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Hutter P., Roth T., Martinez N., Stucki P. und Litsios G. (2019): Fliessgewässer-Fauna unter Druck – erste Trends aus dem Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM). *Aqua & Gas* 7/8: 45–51.
- Känel B., Michel C. und Reichert P. (2018): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrophyten – Stufe F (flächendeckend) und Stufe S (systembezogen). Entwurf zur Vernehmlassung. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Kawecki D. und Nowack B. (2019): Polymer-specific modeling of the environmental emissions of seven commodity plastics as macro- and microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 53: 9664–9676.
- Kiefer K., Müller A., Singer H., Hollender J. und Reinhardt M. (2019): Pflanzenschutzmittel-Metaboliten im Grundwasser. Ergebnisse aus der NAQUA-Pilotstudie «Screening». *Aqua & Gas* 99(11): 14–23.
- Kunz M., Schindler Wildhaber Y. und Dietzel A. (2016): Zustand der Schweizer Fliessgewässer. Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011–2014. Umwelt-Zustand Nr 1620. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Küry D. und Mulattieri P. (2021): NAWA TREND Biologie 2019, Teil Makrophyten, Fachbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Liechti P. (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer – Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Martinez N., Stickelberger C., Fässler F., Strebel N. und Roth T. (2020): Vorkommen von Wasseramsel *Cinclus cinclus* und Gebirgsstelze *Motacilla cinerea* in Abhängigkeit vom biologischen Zustand der Fliessgewässer. *Ornithologischer Beobachter* 117: 164–176.
- Michel A., Råman Vinnå L, Bouffard D., Epting J., Huwald J., Schaefli B., Schmid M. und Wüest A. (2021). Evolution of stream and lake water temperature under climate change, Report commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN)
- Moschet C., Wittmer I., Stamm C., Singer H. und Hollender J. (2015): Insektizide und Fungizide in Fliessgewässern – Wichtig für die Beurteilung der Gewässerqualität. *Aqua & Gas* 4: 54–65.
- Müller-Wenk R., Huber F., Kuhn N. und Peter A. (2003): Landnutzung in potenziellen Fliessgewässer-Auen – Artengefährdung und Ökobilanzen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 361. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern.
- NADUF (2019): Aktuelle Daten der Nationalen Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF). Eawag, Dübendorf.
- Ninck L., Dönni W. und Vonlanthen P. (2021): NAWA SPEZ Biologie, Teil Fische. Fachbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).
- Ninck L., Dönni W. und Vonlanthen P. (2021): NAWA TREND Biologie 2019, Teil Fische. Fachbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

- OCEau GE (2020): Étude de la qualité des rivières genevoises. Office Cantonal de l'Eau Geneve
- Olschewski A. und Reist V. (2019): Nutzungskonflikte bei Trinkwasserfassungen. *Aqua & Gas* 6: 44–49.
- OSPAR (1992): Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. 22 September 1992.
- Peter A. und Schölzel N. (2018): Kleine Bäche – Grosse Bedeutung. Die Bedeutung kleiner Fliessgewässer für unsere Fische. *Aqua & Gas* 7/8: 70–78.
- Rey P. und Hesselschwerdt J. (2021): Koordinierte Biologische Untersuchungen im Hochrhein 2017/2018 – zusammenfassender Bericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.
- Rey P., Hesselschwerdt J. und Werner S. (2016): Koordinierte biologische Untersuchungen an Hochrhein und Aare 2001 bis 2013. Zusammenfassender Kurzbericht. Umwelt-Zustand Nr. 1619. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Rösch A., Beck B., Hollender J., Stamm C., Singer H., Doppler T. und Junghans M. (2019): Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung – Nachweis von Pyrethroid- und Organosphatinspektiziden in Schweizer Bächen im pg/l-Bereich. *Aqua & Gas* 11: 54–66.
- Schaffner M., Studer P. und Ramseier C. (2013): Beurteilung der Badegewässer. Empfehlungen zur Untersuchung und Beurteilung der Badewasserqualität von See- und Flussbädern. Umwelt-Vollzug Nr. 1310. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Schager E. und Peter A. (2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Fische Stufe F (flächendeckend). Mitteilungen zum Gewässerschutz 44. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern.
- Schneeweiss A., Werner I., Segner H. und Stadtlaner T. (2019): Ökotoxikologische Wirkungen von PSM auf Fische. *Aqua & Gas* 11: 82–91.
- Schürch M., Bulgheroni M. und Sinreich M. (2018): Température des eaux souterraines. Un aperçu de l'état et de l'évolution en Suisse. *Aqua & Gas* 7/8: 40–48.
- Schuwirth N., Caradima B., Schindler Wildhaber Y. und Sarbach-Remund N. (2019): Analyse Schweizer Makrozoobenthosdaten – Erkenntnisse über anthropogene Einflüsse und Monitoring-Design. *Aqua & Gas* 12: 55–61.
- Sinreich M., Kozel R., Lützenkirchen V., Matousek F., Jeannin P. Y., Löw S. und Stauffer F. (2012): Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten. *Aqua & Gas* 9: 16–28.
- Speerli J., Gysin S., Bieler S. und Bachmann A.-K. (2018): Auswirkungen des Klimawandels auf den Sedimenttransport. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern. Entwurf vom 12.12.2018
- Spycher S., Teichler R., Vonwyl E., Longrée P., Stamm C., Daouk S., Doppler T., Junghans M. und Kunz M. (2019): Anhaltend hohe PSM-Belastung in Bächen. *Aqua & Gas* 4: 14–25.
- Steiner, Michele. 2020. Mikroplastik: Eintrag von Reifenabrieb in Oberflächengewässer. Zürich: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Stucki P. und Knispel S. (2020): NAWA SPEZ biologie, Rapport sectoriel macrozoobenthos. Campagne NAWA SPEZ 2018 : petits cours d'eau. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).
- United Nations UN (2015): Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.
- Vonlanthen P., Bittner D., Hudson A., Young K., Müller R., Lundsgaard-Hansen B., Roy D., Piazza S., Largiader C. und Seehausen O. (2012): Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations. *Nature* 482: 357–62.
- Wunderlin P. und Gulde R. 2022: Situationsanalyse «Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in Gewässer». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.

Wüthrich R. (2021): Biologischer Zustand der grossen Fliessgewässer, Fachbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. gutwasser GmbH.

Zaugg C. und Mendez R. (2018): Kleinwasserkraftwerk Stoppel Wirkungskontrolle Fisch-abstieg am Horizontalrechen mit Bypass. Axpo Power AG.

Zöllig H., Butz H., Fischer S., Messmer H., Zuleeg S. und Eberhard P. (2017): PAK-Stufe ARA Herisau – Erste gross-technische Umsetzung einer PAK-Stufe in der Schweiz – Erfahrungen nach einem Jahr. Aqua & Gas 1: 14–23.

10 Bildnachweis

Kapitel 1

Rheinschwamm in Basel

(KEYSTONE/Georgios Kefalas)

Kapitel 2

Wasserversorgung der Stadt Zürich

(KEYSTONE/Gaetan Bally)

Kapitel 3

Sense, Grenzfluss zwischen Kt. Fribourg und Bern

(Michel Roggo)

Kapitel 4

Flussbarsch/Egli, Rhein

(Michel Roggo)

Kapitel 5

Lac des Brenets

(KEYSTONE/Anthony Anex)

Kapitel 6

ARA Vidy, Lausanne

(KEYSTONE/Jean-Christophe Bott)

Kapitel 7

Renaturierungsprojekt Zusammenfluss Beverin und Inn

(Flurin Bertschiger/Ex-Press/BAFU)

Kapitel 8

Landschaftspark Binntal

(KEYSTONE/Marco Schnyder)