



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Wasser und Gewässer 2022



Impressum

Herausgeber

Kanton Zürich, Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Gewässerschutz
Dr. Andrew Faeh
Stampfenbachstrasse 14, 8090 Zürich
www.gewaesserschutz.zh.ch
gewaesserschutz@bd.zh.ch

Autorinnen und Autoren

Die Gewässer und ihr Umfeld

Urs Holliger
Dr. Barbara Känel, Projektleiterin
Dr. Pius Niederhauser
Stefan Schmid

Seen» und «Fließgewässer

Dr. Barbara Känel, Projektleiterin
Dr. Pius Niederhauser
Dr. Jürg Sinniger
Dr. Patrick Steinmann
Dr. Christian Götz

Grundwasser

Marco Ghelfi
Dr. Christian Götz
Annette Jenny

Gestaltung

Roland Ryser, Zürich

Bilder

© AWEL

© Juliet Haller, AfS (Umschlag), © ERZ Zürich (S. 14),
© Olivier Brandes (S.16), © Andreas Hertig (S. 59),
© Wim Langbroek (S. 60), © Benjamin Rist (S. 62),
© Klemens Rosin(S. 83)

stock.adobe.com: © benjaminolte (S. 15),
© TIMDAVIDCOLLECTION (S. 18), © matthias Buehner
(S. 23), © gebut (S. 23), ©JM. Soedher (S. 27), © Parilov
(S. 47), © Aliaksandr Marko (S. 57), © goodluz (S. 64/65),
© Michael Derrer Fuchs (S. 68), © kasto (S. 76/111),
© Oleksandr_sw_pink (S. 114), © ozmen (S. 116), © indust-
rieblick (S. 117), © Pavlo Vakhruhev (S. 118), © jozsitoeroe
(S. 118), © denisismagilov (S. 119), ©papzi (S. 119)



Der Bachflohkrebs

sollte mit hoher Anzahl Individuen in unseren Bächen vorkommen. Auch in Flüssen und am Seeufer ist er regelmässig zu finden. Als Folge der Pestizidbelastung und räuberischer Neozoen ist er in verschiedenen Gewässern praktisch verschwunden. Damit fehlt auch den Fischen eine wichtige Futterbasis.

Vorwort

Gewässerschutz bleibt eine Generationenaufgabe



Die Zürcher Seen, Flüsse, Bäche und Grundwasservorkommen sind eine wichtige Grundlage für unser Leben: Sie dienen uns als Trinkwasserspeicher, Energiequelle oder Ort der Erholung, und sie bieten vielen Pflanzen und Tieren Lebensraum. So vielfältig wie ihre Funktionen sind aber auch die Belastungen für die Gewässer – von Schadstoffen aus dem Abwasser oder der Landwirtschaft über bauliche Eingriffe bis hin zum Klimawandel.

Damit wir unsere Gewässer schützen können, müssen wir über ihren Zustand Bescheid wissen. Mit einem umfassenden und engmaschigen Monitoring können wir beurteilen, ob bisherige Massnahmen nützen und wo es zusätzliche Anstrengungen braucht. Neu erscheint der Gewässerbericht deshalb alle vier Jahre statt wie bisher im Sechsjahresabstand.

Der Gewässerbericht 2022 belegt: Die Bemühungen der vergangenen Jahre zeigen in einigen Bereichen Wirkung – aber sie genügen nicht.



Dass die Belastung der Gewässer durch Mikroverunreinigungen seit 2018 zurückgegangen ist, ist erfreulich: Der Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen und der Aktionsplan Pflanzenschutzmittel zahlen sich aus. Auch Revitalisierungen und die Sanierung von Wasserkraftwerken haben sich positiv auf die Qualität des Wassers und der Lebensräume ausgewirkt.

Für die Biodiversität reicht das aber noch nicht aus. Bei den Wasserpflanzen und Kleinlebewesen haben bisher hauptsächlich weitverbreitete Arten profitiert, während seltene und gefährdete Arten leider noch nicht häufiger vorkommen. Kritisch ist die Entwicklung der Fischbestände. Die seit Jahrzehnten ungebremst abnehmenden Fangerträge in Fliessgewässern deuten auf einen anhaltenden Rückgang hin.

Für saubere, lebendige und artenreiche Zürcher Gewässer braucht es deshalb mehr: Mehr natürliche und naturnahe Gewässer dank Revitalisierungen und mehr Schutz vor Schadstoffeinträgen aus dem Abwasser, dem Siedlungsgebiet und der Landwirtschaft.



Dies gilt umso mehr, als der Klimawandel bisherige Erfolge im Gewässerschutz zunehmend in Frage stellt. Extreme Wetterereignisse wie die immer häufigeren und längeren Hitze- und Trockenperioden, aber auch Hochwasser im Winter, sind eine grosse Belastung für Fische und andere Wasserlebewesen. Die steigenden Temperaturen in den Seen verändern natürliche Prozesse – wie den Sauerstoffeintrag ins Tiefenwasser – mit weitreichenden Folgen für die Gewässerbiologie. Der Zustand unserer Gewässer hängt daher auch davon ab, ob es global gelingt, das Klima zu stabilisieren.

Dr. Martin Neukom, Regierungsrat



Das Gewässerschutzlabor ist das Kompetenzzentrum für Gewässer- und Umweltanalytik des Kantons Zürich.

Ehemals beim Kantonalen Labor angesiedelte Laborbereiche wechselten 1988 zum damaligen Amt für Gewässerschutz und Wasserbau AGW.

Seit 1998 gehört das Gewässerschutzlabor zum Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL und ist in Zürich an der Hardturmstrasse 105 zu finden.

Wasser und Gewässer 2022 Inhalt

Die Gewässer und ihr Umfeld

- 8 Umweltbeobachtung weshalb?
- 9 Von der Wasserqualität zur umfassenden Gewässerbeurteilung
- 10 Die Gewässerqualität und ihre Einflussfaktoren

Fließgewässer

- 24 Messprogramm und Beurteilung
- 26 Qualität
- 32 Mikroverunreinigungen
- 48 Quantität/Dynamik und Lebensraum
- 52 Biologischer Zustand
- 62 Synthese und Handlungsbedarf
- Fokusthemen:**
- 42 Vorsicht beim Umgang mit Insektiziden
- 46 Per- und polyfluorierte Stoffe – langlebig und giftig?
- 50 Temperaturen und Abflüsse zunehmend kritisch
- 58 Ausgefischt? Starker Rückgang der Fangerträge
- 60 Invasive Flohkrebse dezimieren die Wasserinsekten in der Limmat

Seen

- 75 Messprogramm und Beurteilung
- 76 Zustand Qualität
- 92 Synthese und Handlungsbedarf

Fokusthemen:

- 82 Blaualgen
- 86 Zürichsee – Klimawandel wird zunehmend prägend
- 88 Kürzere Phasen der Zirkulation verzögern die Gesundung des Greifensees
- 90 Natürliche Ufer dank Schutzverordnung

Grundwasser

- 98 Bedeutung und Schutz
- 100 Quantitative Überwachung
- 104 Qualitative Überwachung
- 118 Synthese und Handlungsbedarf

Fokusthemen:

- 102 Grundwasser – wertvolles Gut, aber gefährdet
- 108 Nachhaltige Wärmegewinnung
- 114 Chlorothalonil – nur die Spitze des Eisbergs?

121 Anhang

Weitere Grundlagen zum Thema
Mikroverunreinigungen in Fließgewässern

Glossar
Literaturverzeichnis



Die Gewässer und ihr Umfeld

8 Umweltbeobachtung weshalb?

9 Von der Wasserqualität zur umfassenden Gewässerbeurteilung

10 Die Gewässerqualität und ihre Einflussfaktoren

**12 Landwirtschaft, Bevölkerung, Verkehr
und Bautätigkeit**

13 Verkauf von Pflanzenschutzmitteln

14 Abwasserreinigung

**15 Aufrüsten im Kampf gegen
Mikroverunreinigungen**

**16 Lokale Bewirtschaftung von
Regenwasser**

**17 Minimierung von Schadstoffen
aus der Siedlungsentwässerung**

**18 Belastetes Strassenabwasser behandeln
und Einleitsituation verbessern**

**19 Gewässerschutz-Infrastruktur in
der Landwirtschaft sicherstellen**

**20 Akute Gewässer- und
Bodenverschmutzungen**

Umweltbeobachtung- weshalb?

Mit der Umweltbeobachtung werden der Zustand der Gewässer und die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben für die Wasserressourcen überprüft. Die Wirksamkeit von Massnahmen kann kontrolliert und negative Entwicklungen können frühzeitig erkannt werden.



Schutz und Nutzung der Gewässer

Unsere Gewässer sind Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufs und dienen als Lebensräume für Tiere und Pflanzen. Sie werden aber auch durch den Menschen intensiv beansprucht indem sie Trink- und Brauchwasser liefern, der Stromproduktion dienen oder zu Heiz- und Kühlzwecken genutzt werden. Die Grundwasservorkommen bilden zusammen mit dem Zürichsee die Basis für eine sichere Trinkwasserversorgung. Seen und Fliessgewässer nehmen gereinigtes Abwasser und gesammeltes Niederschlagswasser aus dem Siedlungsgebiet, von Strassen und von Landwirtschaftsflächen sowie Hochwasser auf. Sie dienen aber auch als Erholungsräume für den Menschen und sind damit ein wichtiger Faktor für die Standortattraktivität.

Die verschiedenen Nutzungen führen zu einer Belastung der ober- und unterirdischen Wasservorkommen. Verschiedene Gesetze auf eidgenössischer und kantonaler Ebene sollen dafür sorgen, dass die Gewässer trotz vielfältiger Nutzungen durch den Menschen auch ihre natürlichen Funktionen erfüllen können. Im Kanton Zürich werden mit sektorübergreifenden Planungen die vielfältigen Nutzungs- und Schutzansprüche aufeinander und auf die gesetzlichen Grundlagen abgestimmt. Dabei werden auf der Ebene einzelner Einzugsgebiete die Handlungsschwerpunkte im Gewässer- und Hochwasserschutz mit der Nutzung der Gewässer koordiniert. Gemäss dem neuen Wassergesetz für den Kanton Zürich soll künftig eine Wasserstrategie Ziele, Massnahmen und Prioritäten festlegen. Die Strategie soll unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Umweltbeobachtung periodisch überarbeitet und aktualisiert werden.



Umweltbeobachtung

Zur Überprüfung des Gewässerzustandes, für die Planung von Sanierungen und zur Kontrolle der Wirksamkeit umgesetzter Massnahmen ist eine gezielte Umweltbeobachtung erforderlich. Aufgrund der Daten der Umweltbeobachtung wurden in den Jahren 2006, 2012 und 2018 für den Kanton Zürich Berichte zum Zustand der Wasserqualität der Seen, der Fliessgewässer und des Grundwassers erarbeitet. Mit dem vorliegenden Dokument wird der Zustandsbericht aus dem Jahr 2018 aktualisiert. Der Zustand und die Entwicklung der Wasserqualität des Grundwassers und der Seen werden vorgestellt und die Fliessgewässer im ganzen Kanton umfassend bewertet. Zusätzlich informieren verschiedene Fokusthemen über aktuelle Probleme und neue Entwicklungen.



Weitere Berichte und Informationen sowie detaillierte Resultate zu einzelnen Untersuchungsstellen sind auf unseren Internetseiten zu finden.



zh.ch/gewaesserqualitaet
grundwasser.zh.ch
messdaten.zh.ch

Von der Wasserqualität zur umfassenden Gewässerbeurteilung

Die Verbesserung der Wasserqualität in den letzten Jahrzehnten hat aufgezeigt, dass sauberes Wasser allein nicht ausreicht für gesunde Gewässer. Für eine umfassende Gewässerbeurteilung müssen daher weitere Aspekte und der Zustand der Gewässerbiologie mitberücksichtigt werden.

Mit Planktonuntersuchungen hat man bei verschiedenen Seen schon in den Siebziger- oder Achtzigerjahren des letzten Jahrhunderts auch biologische Kenngrößen in die Untersuchungsprogramme integriert. Bei den Fließgewässern beschränkte sich die Umweltbeobachtung bis Mitte der Neunzigerjahre auf die Erfassung der Wasserqualität und -quantität. Mit dem Rückgang der Gewässerverschmutzung wurde aber immer offensichtlicher, dass nicht nur die ungenügende Wasserqualität für den schlechten Zustand vieler Gewässer verantwortlich sein kann, sondern auch fehlender Gewässerraum und Verbauungen sowie Veränderungen der natürlichen Abflussverhältnisse dazu beitragen können.

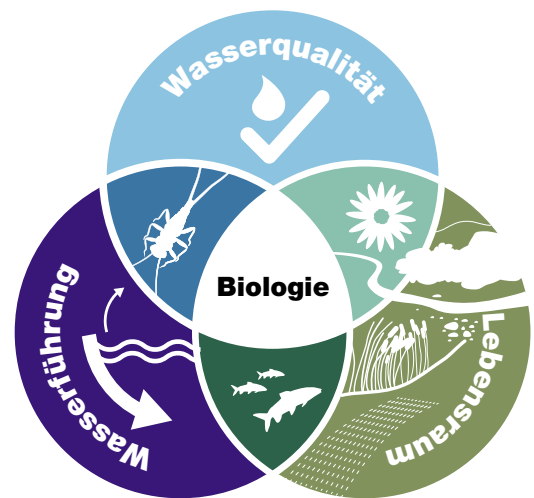
Verschiedene Gesetzesänderungen im Bereich Wasserbau, Gewässerschutz, Raumplanung und Landwirtschaft nahmen ab den Neunzigerjahren diese Anliegen auf und schufen damit die gesetzlichen Grundlagen für einen umfassenden Schutz der Gewässer. Drei Entwicklungsziele stehen für die langfristige Entwicklung unserer Gewässer im Vordergrund:

- ausreichender Lebensraum
- ausreichende Wasserführung
- ausreichende Wasserqualität

Von der Datenerfassung zur Beurteilung

Dieser ganzheitliche Ansatz zum Schutz der Gewässer verlangt eine umfassende Bewertung. Der Gewässerraum kann aufgrund der ökomorphologischen Erhebungen, die Wasserführung durch Kenntnisse über die Beeinträchtigung der Abflussverhältnisse und die Wasserqualität mittels chemischer Analysen direkt beurteilt werden. Letztlich ist aber nicht die Konzentration eines Stoffes im Wasser für die Funktionsfähigkeit des Gewässers entscheidend, sondern die Auswirkungen dieser Konzentration auf die Organismen im Wasser. Es ist daher sinnvoll, auch biologische Indikatoren in die Beurteilung einzubeziehen. Diese haben den Nachteil, dass im Falle einer

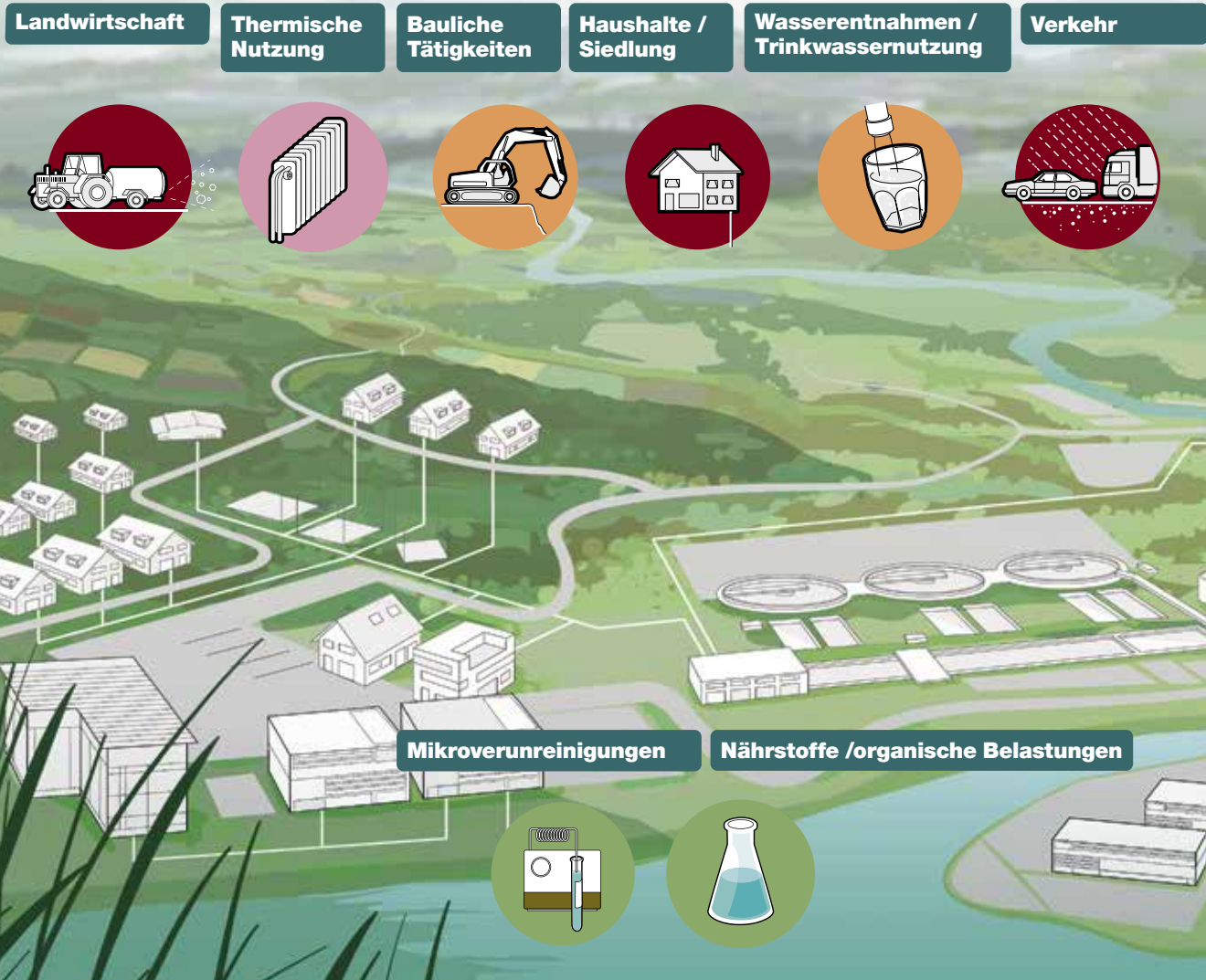
Beeinträchtigung oft keine eindeutige Ursache zugewiesen werden kann. Indiziert beispielsweise das Makrozoobenthos in einem Fließgewässer einen guten Zustand, kann daraus geschlossen werden, dass es sich um ein funktionsfähiges Gewässer handelt. Werden aber schlechte Verhältnisse gezeigt, bleibt vorerst unklar, ob die Ursache im Bereich der Morphologie, der Wasserführung oder der Wasserqualität liegt. Erst die Kombination mit anderen Untersuchungsergebnissen ermöglicht eine Zuordnung von Ursache und Wirkung. Eine umfassende Bewertung kombiniert daher Methoden der direkten Beurteilung und der chemischen Analysen mit biologischen Indikatoren.



Entwicklungsziele für unsere Gewässer

Gute biologische Verhältnisse bedingen die Erfüllung der Anforderungen an den Lebensraum, die Wasserführung und die Wasserqualität.

Die Gewässerqualität und ihre Einflussfaktoren



Wasserqualität

Abwasser aus ARA, von Strassen und Geleisen sowie Regenabwasser und Entlastungen aus der Kanalisation bei Regenwetter sind punktuelle Belastungsquellen, welche die Qualität der Fliessgewässer und unterliegenden Seen beeinträchtigen. Auch Sickerwasser aus Deponien, Baustellenabwasser oder Unfälle können zu einem punktuellen Schadstoffeintrag in die Gewässer führen.

Über Abschwemmungen von landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie Drainagewasser gelangen Schadstoffe diffus in die Oberflächengewässer. Die atmosphärische Deposition von Schadstoffen, Sickerwasser von Altlasten und Abwasser aus dem un-

dichten Kanalisationsnetz sind weitere diffuse Belastungsquellen. Schadstoffe können über Infiltration aus den Fliessgewässern ins Grundwasser oder über Exfiltration vom Grundwasser in die Oberflächengewässer gelangen. Schadstoffe können aber auch direkt aus dem Boden ins Grundwasser ausgewaschen werden.

Die Nutzung der ober- und unterirdischen Gewässer zu Heiz- und Kühlzwecken kann die natürlichen Temperaturverhältnisse verändern, und auch die Einleitung von gereinigtem Abwasser führt in Fliessgewässern ganzjährig zu einer Erhöhung der Temperatur.

Wasserführung

Wasserentnahmen zur Gewinnung von Trink- und Brauchwasser können die Abflussmengen in Fliessgewässern reduzieren und den Grundwasserspiegel senken.

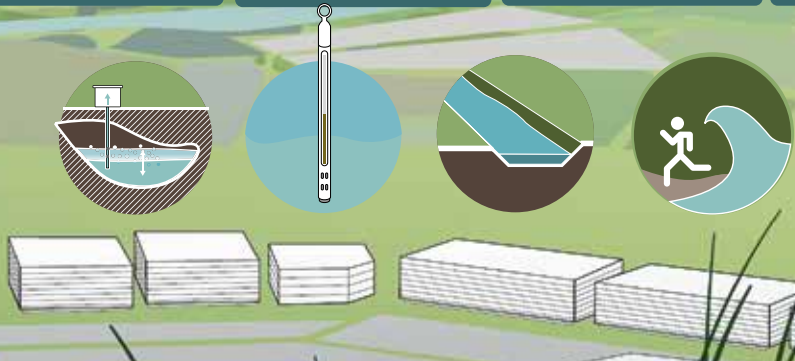
Bauliche Tätigkeiten im Bereich des Grundwasserleiters, die Versiegelung der Landschaft sowie die Tieferlegung der Fliessgewässer wirken sich ebenfalls negativ auf den Grundwasserspiegel aus.

Menschliche Aktivitäten führen zu vielfältigen Belastungen der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers. Als Folge der verschiedenen Belastungen, die sich gegenseitig beeinflussen können, verändern sich die natürlicherweise in den Gewässern vorkommenden Lebensgemeinschaften von Pflanzen und Tieren.

Unfälle / Havarien Industrie / Gewerbe Altlasten Erholung Wasserkraftwerke



Grundwasserspiegel Wassertemperatur Gewässerstruktur Wassermenge / Dynamik



Lebensraum



Kraftwerke reduzieren einerseits die Wassermengen in den Restwasserstrecken, verändern aber auch die natürlichen Abflussverhältnisse durch Staustrecken und sprunghafte Veränderungen der Abflussmengen (Schwall und Sunk). Veränderte Abflussverhältnisse können sich auf die Ablagerung von Feststoffen auswirken und dadurch den Geschiebehauhalt beeinflussen.

- leichter Einflussfaktor
- mittlerer Einflussfaktor
- gewichtiger Einflussfaktor

Der Verbau der Fließgewässer und Seen zur Gewinnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie von Landwirtschaftsland haben zu einer Einengung der Gewässer und zu einem Rückgang der gewässergebundenen Lebensräume geführt.

Die Begradigung und Tieferlegung der Fließgewässer verändern die Strömungsverhältnisse und können sich negativ auf den Geschiebehauhalt auswirken, was die Lebensraumqualität ebenfalls beeinträchtigt.

Wehre, Abstürze und eingedolte Gewässerabschnitte unterbrechen die natürliche Längsnetzwerke. Hafenanlagen, Freibäder und andere Einrichtungen zu Erholungszwecken im Gewässerbereich können insbesondere bei intensiver Nutzung zu einer Beeinträchtigung der natürlichen Strukturen und Lebensgemeinschaften im Gewässerbereich führen.

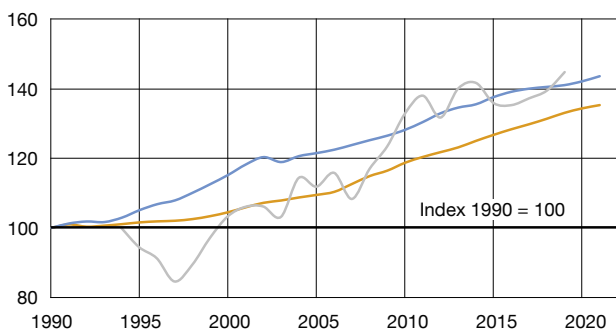
Landwirtschaft, Bevölkerung, Verkehr und Bautätigkeit

Während der Druck auf die Gewässer durch Bevölkerung und Verkehr nach wie vor zunimmt, geht die Belastung durch Phosphor aus der Landwirtschaft deutlich und jene durch Stickstoff zögerlich zurück.

Entwicklung des Umfelds

Bevölkerung, Verkehr und Bautätigkeit im Kanton Zürich

	Stand 1990 (1994)	Stand 2021 (2019/20)	Zu- / Abnahme
Bevölkerung	1 154 681	1 562 345	+ 35 %
Personenwagen	512 431	749 999	+ 44 %
Bauinvestitionen [Mio. CHF]	7465	10 815	+ 45 %

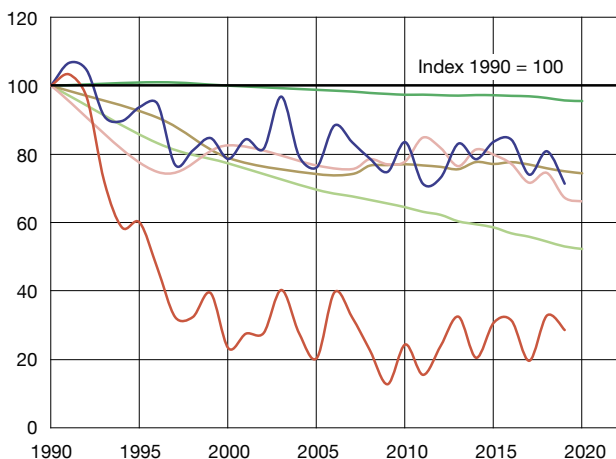


Landwirtschaft Kanton Zürich

	Stand 1990 (1994)	Stand 2021 (2019/20)	Zu- / Abnahme
LW-Nutzflächen [ha]	75 702	72 368	- 4 %
LW-Betriebe	6135	3213	- 48 %
Rindvieh (inkl. Kühe)	123 235	91 754	- 26 %
Schweine	50 999	33 623	- 34 %

N- und P-Bilanz Landwirtschaft Schweiz (Bruttoüberschuss)

	Stand 1990 (1994)	Stand 2021 (2019/20)	Zu- / Abnahme
Stickstoffbilanz [t]	125 634	89 550	- 29 %
Phosphorbilanz [t]	18 566	5301	- 71 %



Ende 2021 zählte der Kanton Zürich rund 1.56 Mio. Einwohner. Seit 1990 nahm die Bevölkerung um 35 % zu. Eine noch stärkere Zunahme ist mit 44 % bei den Personenwagen zu verzeichnen. Die letzten Jahrzehnte waren zudem von einer hohen Bautätigkeit geprägt.

Dank Einführung der Integrierten Produktion (IP) und Förderung der biologischen Landwirtschaft konnte schweizweit der Überschuss von Stickstoff in seiner Nährstoffbilanz um etwa ein Viertel reduziert werden. Das bedeutet weniger Emissionen aus der Landwirtschaft in die Luft und die Gewässer. Der Überschuss beträgt aber immer noch rund 90 000 Tonnen pro Jahr und ist bezüglich Ammoniak- und Nitratemissionen weiterhin ein ernsthaftes Problem. Wesentlich besser sieht die Bilanz für den Phosphor aus. Vor allem dank deutlich reduziertem Einsatz von Mineraldünger konnte der Eintrag in die Gewässer um drei Viertel reduziert werden.

Zwischen 1990 und 2020 ging die landwirtschaftliche Nutzfläche im Kanton Zürich um 4 % zurück und beträgt nun noch 72 368 ha. In der gleichen Zeit haben 48 % der Landwirtschaftsbetriebe aufgegeben, wodurch die bewirtschaftete Fläche pro Betrieb angestiegen ist. Die Viehbestände wurden als Folge des Strukturwandels und der Neuausrichtung der Agrarpolitik in den Neunzigerjahren deutlich reduziert. Jeder Landwirt, der Direktzahlungen erhalten will, muss seither zumindest den im Jahr 1997 eingeführten «Ökologischen Leistungsnachweis» (ÖLN) erfüllen. Die Anforderungen des ÖLN entsprechen denjenigen der IP. Umgerechnet auf Grossvieheinheiten hatte das Rindvieh in den letzten Jahren einen Anteil von 81 % am gesamten Tierbestand. Die Schweinehaltung (6 %), die Pferdehaltung (5 %) sowie die Geflügel- (5 %) und Schafhaltung (3 %) waren im Vergleich dazu von untergeordneter Bedeutung.



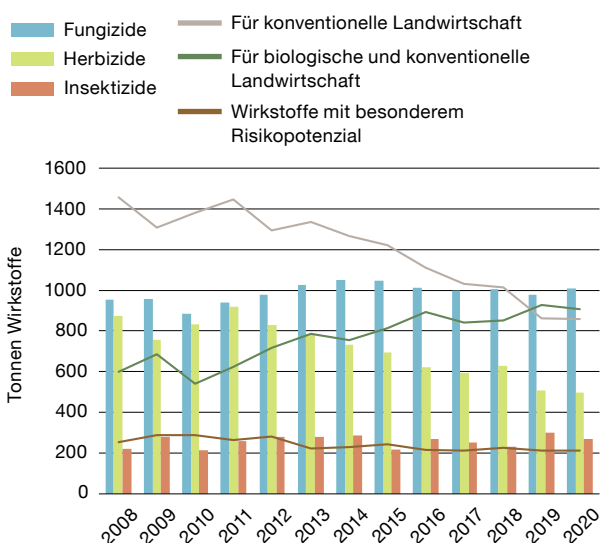
Quelle: BFS / Statistisches Amt Kanton Zürich

Verkauf von Pflanzenschutzmitteln

In den letzten 10 Jahren sank die verkaufte Menge an Pflanzenschutzmitteln um etwa 10 %. Im Jahr 2020 wurden insgesamt 1930 Tonnen verkauft.



Verkaufsmenge PSM-Wirkstoffe

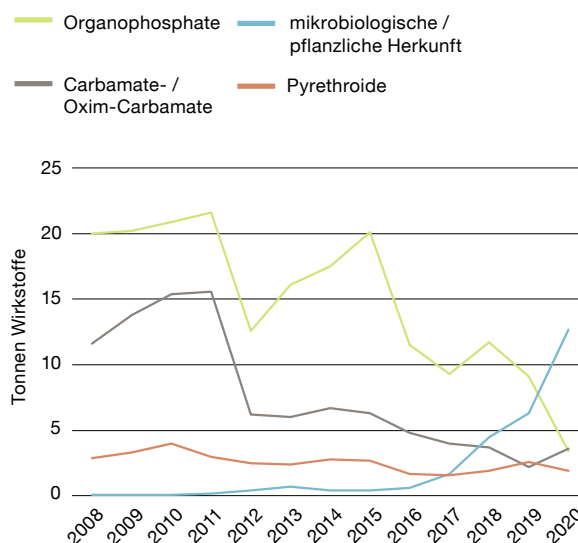


Die Verkaufsmenge der Fungizide blieb 2020 mit 1010 Tonnen und jene der Insektizide mit 270 Tonnen im Vergleich zu den Vorjahren praktisch konstant. Abnehmend war hingegen der Verbrauch von Herbiziden. 2020 wurden noch 500 Tonnen dieser Wirkstoffgruppe verkauft. Die Verkaufsmenge von Glyphosat konnte von 342 Tonnen im Jahr 2008 auf 119 Tonnen gesenkt werden.

Seit 2008 ist die Verkaufsmenge der in der biologischen Landwirtschaft zugelassenen Produkte um 51 % gestiegen, während die Verkaufsmenge der Produkte, die nur in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt werden können, um 41 % zurückgegangen ist. Diese Tendenz dürfte einerseits mit der Zunahme der Anzahl Biobetriebe zusammenhängen, andererseits damit, dass auch konventionelle Betriebe häufiger Produkte einsetzen, die in der biologischen Landwirtschaft angewendet werden dürfen. Gemäss dem «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» sollen Wirkstoffe mit besonderem Risikopotenzial durch weniger problematische Stoffe ersetzt werden. 2020 wurden von diesen besonders problematischen Wirkstoffen 213 Tonnen verkauft. Der Verbrauch dieser Wirkstoffe konnte in den letzten Jahren erst geringfügig gesenkt werden.

Insektizide sind für tierische Organismen im Wasser besonders toxisch. Bei dieser Stoffgruppe wird deutlich, wie wenig aussagekräftig die alleinige Betrachtung der Verkaufsmengen ohne Berücksichtigung der jeweiligen Ökotoxizität ist. So dominierte im Verkaufsjahr 2020 das im biologischen Landbau zugelassene Paraffinöl mit 214 Tonnen den gesamten Verkauf von insgesamt 270 Tonnen Insektiziden. Die um ein vielfach toxischeren

Ausgewählte Insektizide



Pyrethroide und Organophosphate trugen mit wenigen Tonnen pro Jahr kaum etwas zur gesamten Verkaufsmenge bei. Diese Stoffgruppen sind aber für die Gefährdung der tierischen Lebewesen im Wasser entscheidend. Die Toxizität von Wirkstoffen kann sich um mehr als sechs Grössenordnungen unterscheiden. Das heisst, ein Gramm eines besonders toxischen Wirkstoffs kann grösseren Schaden in der Umwelt anrichten als eine Tonne von einem weniger toxischen Wirkstoff. Immerhin konnte der Verbrauch der Organophosphate, als Folge der Verkaufsverbote von Diazinon im Jahr 2013 und von Chlorpyrifos sowie Chlorpyrifos-methyl im Jahr 2020, in den letzten Jahren erfreulich gesenkt werden. Kaum abgenommen haben die Pyrethroide. Insbesondere der Verbrauch von Lambda-Cyhalothrin ist in den letzten Jahren sogar noch gestiegen, obwohl dieses Mittel den Wirkstoffen mit besonderem Risikopotenzial zugeordnet wird. 2020 wurden 0.83 Tonnen verkauft.

Zunehmend Verwendung finden Insektizide mikrobiologischer oder pflanzlicher Herkunft. 2020 wurden 12.2 Tonnen Grüne-Minze-Öl und 0.32 Tonnen Pyrethrine verkauft. Diese Produkte sind auch im biologischen Landbau zugelassen. Die Naturstoffe Pyrethrine sind aber wie die künstlich hergestellten Pyrethroide für Wasserorganismen sehr toxisch. Der Anstieg des Verbrauchs ist somit kritisch zu beurteilen.

Verkaufsmenge Pflanzenschutzmittel (BLW): <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/verkaufsmengen-der-pflanzenschutzmittel-wirkstoffe.html>
Mikroverunreinigungen
Fokus Vorsicht im Umgang mit Insektiziden

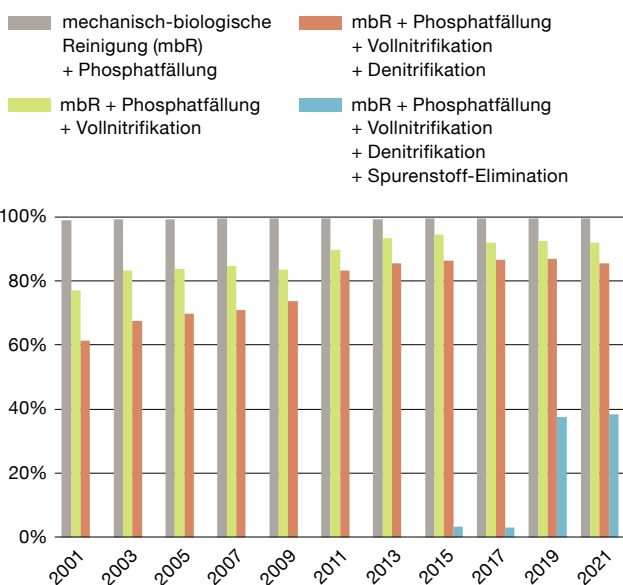


Abwasserreinigung

Durchschnittlich 250 Millionen Kubikmeter Abwasser pro Jahr, knapp der doppelte Inhalt des Greifensees, werden in den Zürcher Abwasserreinigungsanlagen (ARA) gereinigt und anschliessend in einen See oder einen Fluss geleitet.

Gereinigte Abwassermengen

nach Verfahrensstufen in % der gesamten behandelten Menge



Das Abwasser von über 99 % der Bevölkerung des Kantons Zürich wird zur Reinigung einer öffentlichen oder privaten ARA zugeleitet. Ende 2021 standen 61 öffentliche Anlagen mit einer Ausbaugrösse von mehr als 500 Einwohnerwerten (EW) sowie 16 öffentliche Anlagen kleinerer Ausbaugrösse (Klein-ARA) in Betrieb.

Rund 0.4 % der Einwohnerinnen und Einwohner wohnen so abgelegen, dass der Anschluss an eine öffentliche ARA wirtschaftlich nicht tragbar ist. Ihr Abwasser wird entweder in einer abflusslosen Grube gesammelt und periodisch einer ARA zugeführt oder in einer der 120 privaten Klein-ARA gereinigt.

Die öffentlichen ARA erbrachten, wie in den Jahren zuvor, eine gute Reinigungsleistung. Die Anforderungen an die Reinigung der organischen Abwasserinhaltsstoffe konnten 95 % der beurteilten ARA im Jahr 2021 erfüllen. 84 % der beurteilten ARA konnten die vorgeschriebenen Einleitungsbedingungen bezüglich Nitrifikation einhalten. Bei der Phosphor-Restbelastung entsprachen 87 % der beurteilten ARA den Anforderungen. Bedingt durch die Inbetriebnahmephase neuer Anlagen wurde die Anforderung zur Spurenstoff-Elimination nur zu 80 % erfüllt.

In den öffentlichen ARA wurden im Jahr 2021 rund 248 Mio. m³ Abwasser gereinigt. Dies entsprach rund 102 % des langjährigen Mittelwerts. Dabei behandelten die 6 grössten ARA des Kantons mit einer Ausbaugrösse von über 50 000 Einwohnerwerten mehr als die Hälfte der gesamten Abwassermenge.

Bei der Reinigung dieses Abwassers wurden rund 540 000 m³ Klärschlamm produziert. Dieser enthält 95 % Wasser und 5 % respektive rund 27 000 Tonnen Trockensubstanz. Der anfallende Klärschlamm wird seit 2015 zentral in Zürich verwertet. Dies ermöglicht eine umweltschonende Entsorgung und die spätere Rückgewinnung der wertvollen und knappen Ressource Phosphor.



zh.ch/ara
zh.ch/klaerschlamm

Aufrüsten im Kampf gegen Mikroverunreinigungen

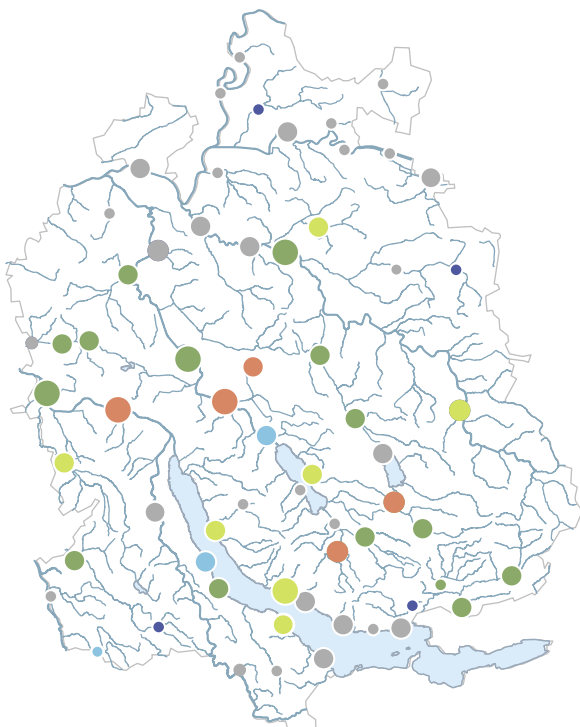
Die Reinigungsleistung der Zürcher ARA konnte in den letzten Jahren dank der stetigen Sanierung und Erweiterung von ARA weiter verbessert werden.

Insbesondere die Verfahrensstufen der Vollnitrifikation (Umwandlung von unerwünschtem Ammonium/Ammoniak in weniger schädliches Nitrat) und der Denitrifikation (Stickstoffelimination durch Umwandlung von Nitrat zu elementarem Stickstoff) wurden in den letzten 25 Jahren zunehmend Standard in der Abwasserreinigung.

Problematisch bleibt der Eintrag von organischen Spurenstoffen in die Gewässer. Diese sogenannten Mikroverunreinigungen stammen aus Arzneimitteln und Produkten des täglichen Gebrauchs, aus Chemikalien von Gewerbe und Industrie sowie aus Pflanzen- und Materialschutzmitteln. Nebst diffusen Einträgen gelangen solche Stoffe zu grossen Teilen mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer. Sie treten dort zwar nur in sehr tiefen Konzentrationen auf, können aber bereits in geringen Spuren (Milliardstel- bis Millionstel-Gramm pro Liter) nachteilig auf Wasserlebewesen einwirken oder Trinkwasserressourcen beeinträchtigen. Zur Entfernung dieser Stoffe aus dem Abwasser stehen zusätzliche Reinigungsstufen, wie die Behandlung mit Ozon und die Adsorption an Aktivkohle, zur Verfügung. Mit diesen Verfahren kann ein breites Spektrum von Mikroverunreinigungen entfernt werden. Bis im Jahr 2035 werden gemäss aktueller Planung 34 ARA im Kanton Zürich mit einer neuen Reinigungsstufe für die Elimination von Mikroverunreinigungen ergänzt. Dort wo die Nachrüstung bereits erfolgt ist, ist eine markante Verbesserung der Gewässerqualität festzustellen.

Elimination von Mikroverunreinigungen

Aufzurüstende ARA und zeitliche Staffelung



Ausbaugrösse

- > 50 000 EW
- 10 000 – 50 000 EW
- < 10 000 EW

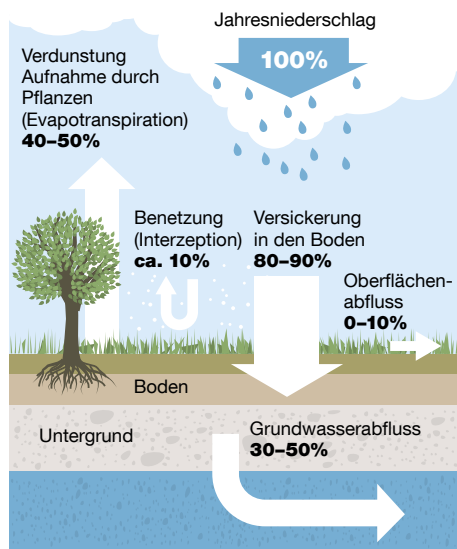
Zeitliche Staffelung Ausbau

- MV-Stufe in Betrieb
- 1. Etappe: bis 2025
- 2. Etappe: 2025–2030
- 3. Etappe: 2030–2035
- Entscheid Ausbau ab 2028
- ARA wird nicht aufgerüstet

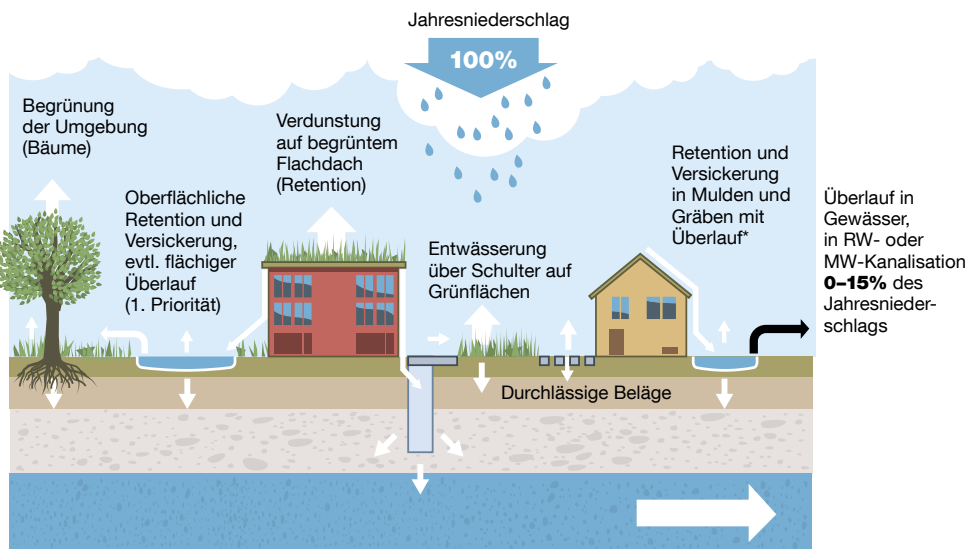
Lokale Bewirtschaftung von Regenwasser

Der natürliche Wasserkreislauf ist ein gutes Vorbild für den Umgang mit Regenwasser in Siedlungen.

Natürlicher Wasserhaushalt einer Wiese



Anzustrebender Wasserhaushalt einer Liegenschaft/Siedlung



*Überlauf oberirdisch sichtbar



Flachdach mit natürlicher Begrünung

Im natürlichen Wasserkreislauf verdunstet in der Schweiz rund 40-50 % des Regenwassers und rund die Hälfte fließt über ober- und unterirdische Gewässer ab. Mit der zunehmenden Verdichtung und Ausweitung des Siedlungsgebietes werden lokale Wasserkreisläufe beeinflusst. Wegen wasserundurchlässiger Flächen nimmt die lokale Versickerung in den Untergrund ab und es kommt vermehrt zu Oberflächenabfluss. Der resultierende Oberflächenabfluss beansprucht die Kanalisationen. Der Transport, die allfällige Behandlung und die Entsorgung des Regenwassers verursachen Privaten und der Öffentlichkeit Kosten.

Die heutige Philosophie zum Umgang mit Regenwasser bezweckt hingegen, die lokale Bewirtschaftung von Regenwasser dem natürlichen Wasserkreislauf anzunähern. Demnach werden in erster Priorität die lokale Verdunstung und Versickerung von Regenwasser in den Vordergrund gestellt. Für die Verdunstung stellen begrünte Flachdächer ein gutes Beispiel dar: Es entstehen artenreiche Lebensräume, und die Verdunstung sorgt für ein ausgeglichenes Lokalklima. Für die Versickerung können Mulden ansprechend in bestehende Gartenanlagen eingebettet werden. Die Versickerung speist somit das Grundwasser, das neben Quellwasser die wichtigste Trinkwasserquelle der Schweiz darstellt.



Einleitung des Überlaufs
des Regenbeckens
Werdinsel der Stadt
Zürich in die Limmat

Minimierung von Schadstoffen aus der Siedlungs- entwässerung

Die Digitalisierung ermöglicht heute die Echtzeitüberwachung und Steuerung von Abwasserbauwerken. Somit können Schadstoffeinträge in die Gewässer gezielt und wirtschaftlich minimiert werden.

Gewässer werden über verschiedenste Eintragspfade durch Schadstoffe aus der Siedlungsentwässerung belastet. Haushalte, Industrie und Gewerbe entsorgen verschmutztes Abwasser in die Kanalisationen. Bei Regenwetter gelangt Regenwasser ebenfalls in die Kanalisationen. Dabei können die Wassermengen deren Kapazitäten übersteigen. Bei solchen Ereignissen überläuft verdünntes verschmutztes Abwasser aus den Kanalisationen in die Gewässer. Diese Überläufe belasten die Gewässer mit Schadstoffen. Daher ist der Kanton im Rahmen der Entwässerungsplanung zusammen mit den Gemeinden und Abwasserverbänden bestrebt, die verschiedensten Einträge von Schadstoffen aus der Siedlung in die Gewässer zu quantifizieren und zu reduzieren. Sind deren Frachten und Konzentrationen erst einmal bekannt, ist es möglich, diese bei der Entwässerungsplanung gezielt und wirtschaftlich zu minimieren.

Für die Minimierung der Schadstoffeinträge in die Gewässer bietet die Digitalisierung neue Möglichkeiten: Öffentliche Abwasserbauwerke lassen sich in Echtzeit überwachen und optimal steuern. Beispielsweise gehört es heute zum Stand der Technik, die Füllstände von Regenbecken zentral zu überwachen. Man spricht hier von der Bewirtschaftung der Entwässerungssysteme. Damit werden grössere Regenbecken über eine Steuerung vernetzt, um ihre Füllstände dynamisch abzugleichen. Mit solchen Massnahmen ist es möglich, die Frachten und Konzentrationen von Schadstoffen in Gewässern vorsorglich und trotz Bevölkerungswachstum zu minimieren.

Belastetes Strassenabwasser behandeln und Einleitsituation verbessern



Abwasser von Strassen enthält Schwermetalle und PAK, die bei Regen in die Gewässer gelangen. Bei stark befahrenen Strassen beeinflusst das Strassenabwasser die Gewässerqualität nachteilig. Wird Abwasser von grossen Strassenflächen in kleine Fliessgewässer eingeleitet, kann dies zu hydraulischen Problemen führen. Damit die Auswirkungen der Strassenentwässerung auf die Gewässer möglichst gering gehalten werden, muss das Abwasser, wo notwendig, behandelt werden.

Die steigende Verkehrsbelastung auf den Strassen im Kanton Zürich führt einerseits dazu, dass immer grössere Schmutzfrachten von Schwermetallen und PAK in die Gewässer gelangen. Andererseits ist es auch möglich, dass bei heftigem Regen in kurzer Zeit sehr viel Regenabwasser von einer Strasse in ein Gewässer abfließt und das Gewässer so unzulässig hydraulisch belastet.

Um Massnahmen zur Verbesserung an bestehenden Strassen ergreifen zu können, wurde die Strategie «Gewässerschutz an Strassen» erarbeitet. Sie zeigt, bei welchen Strassenabschnitten ein Handlungsbedarf bei der Strassenentwässerung besteht. Demnach werden mittelfristig rund 80 km Staatsstrassen, deren Abwasser aufgrund der starken Verkehrsbelastung stark verschmutzt ist, mittels Massnahmen zur Behandlung des Strassenabwassers saniert. Weitere 300 km der bestehenden Staatsstrassen weisen ein ungünstiges Verhältnis von Strassenabwasser zum Gewässerabfluss auf. Bei Sanierungsprojekten dieser Strassenabschnitte sollen Massnahmen zur Verbesserung der Einleitsituation realisiert werden. Beispielsweise wird der Zufluss aus der Strassenentwässerung in das Gewässer begrenzt. Die Umsetzung der Strategie «Gewässerschutz an Strassen» erfolgt seit 2014 im Rahmen von Sanierungsarbeiten des Tiefbauamtes.



Strassenabwasser

<https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/gewaesserschutz/planung-abwasserentsorgung.html#60688733>

PAK
Schwermetalle

Gewässerschutz-Infrastruktur in der Landwirtschaft sicherstellen

Auf jedem Landwirtschaftsbetrieb leisten bestimmte Anlagen einen wichtigen Beitrag zum Gewässerschutz. Um die Funktionstüchtigkeit dieser Gewässerschutz-Infrastruktur sicherzustellen, werden jährlich rund 700 Betriebe überprüft.



Landwirtschaftsbetriebe verfügen über wichtige Infrastrukturanlagen zum Schutz der Gewässer. Diese Anlagen umfassen Lager für Hofdünger wie Güllegruben und Mistplatten, aber auch solche für Pflanzenschutzmittel, Dünger und Diesel. Schwemmkanäle, Laufhöfe, Raufuttersiloanlagen und Waschplätze gehören auch zu dieser Infrastruktur. Um deren Funktionstüchtigkeit zu überprüfen, werden jährlich bei rund 700 Landwirtschaftsbetrieben Gewässerschutz-Grundkontrollen durchgeführt. Diese Kontrollen erfolgen zeitgleich mit den Kontrollen für den Ökologischen Leistungsnachweis, die zum Erhalt von Direktzahlungen durchgeführt werden. Mängel müssen innert Frist saniert und die Funktionstüchtigkeit der Anlagen nachgewiesen werden.

Betreiber von Hofdüngeranlagen müssen ihre Gruben und Silos periodisch auf ihre Dichtheit kontrollieren lassen. Damit wird verhindert, dass von diesen Anlagen eine Gefahr für ober- und unterirdische Gewässer ausgeht. Seit fast zwei Jahrzehnten werden im Kanton Zürich die Hofdüngerlager periodisch auf ihren baulichen Zustand und ihre Dichtheit überprüft. Von den 8000 kontrollierten Anlagen wiesen die Hälfte kleinere oder grössere Mängel auf. Die betroffenen Anlagen wurden zwischenzeitlich saniert oder ausser Betrieb genommen.

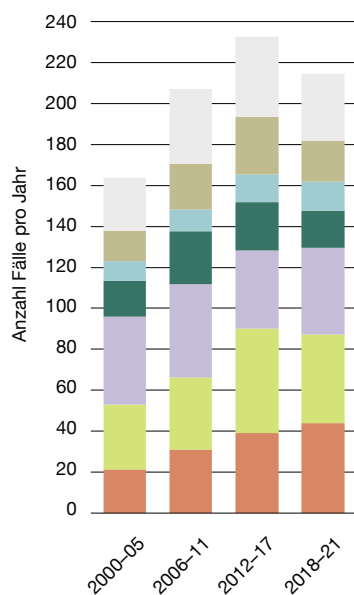


Überdachter Waschplatz mit Spritzgerät

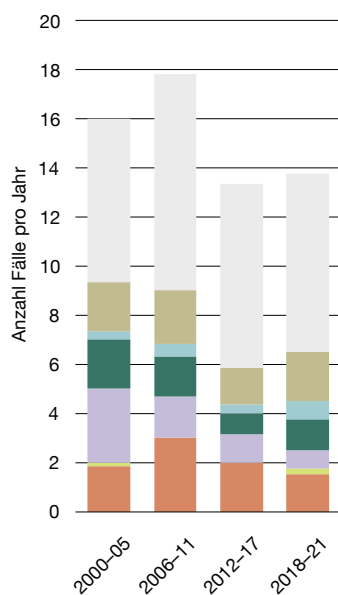
Akute Gewässer- und Bodenverschmutzungen

Immer weniger tote Fische müssen bei Gewässerverschmutzungen eingesammelt werden. Was auf den ersten Blick positiv erscheint, weist eine bedenkliche Übereinstimmung mit den ebenfalls rückläufigen Fischfangzahlen auf.

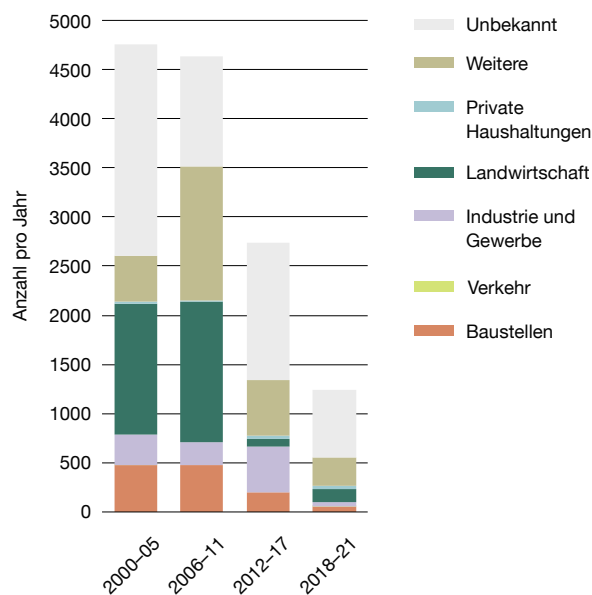
Einsatz Pikettdienst



Fischsterben



Tote Fische



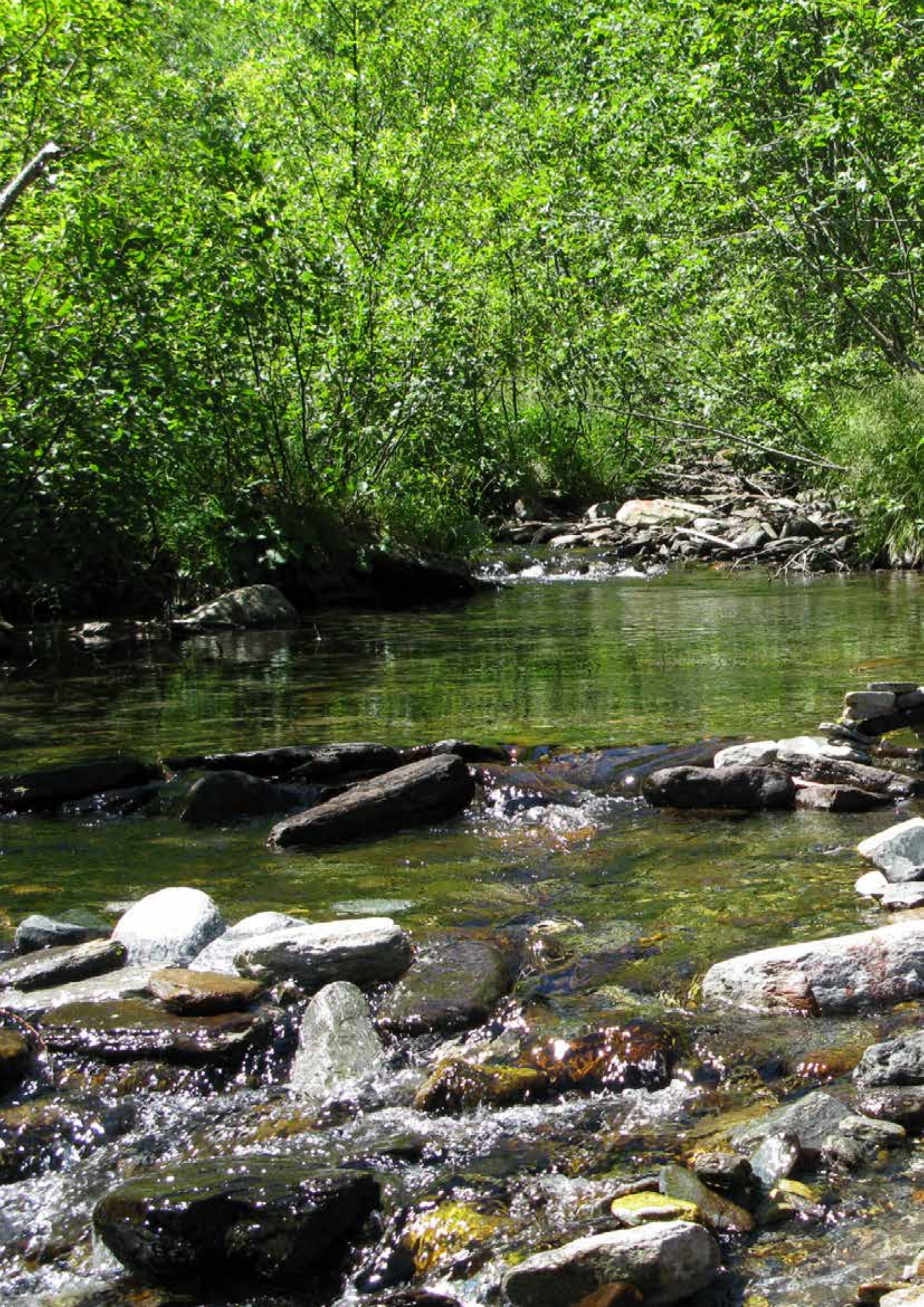
Bei akuten Gewässer- und Bodenverschmutzungen wird der Gewässerschutz-Pikettdienst des AWEL aufgeboten. Er unterstützt die Einsatzkräfte von Kantonspolizei, Feuerwehr und Gemeinden rund um die Uhr. Die Hauptaufgaben sind die Beurteilung der Umweltverschmutzung, Schadensbegrenzung und -behebung, die Suche nach Ursache und Verursacher sowie die Entsorgung von verunreinigtem Material. Dabei werden Wasser- und Bodenproben entnommen und dem Gewässerschutzlabor zur Untersuchung übergeben.

Die Anzahl Einsätze des AWEL-Pikettdienstes hat sich mit rund 210 Fällen in den letzten Jahren auf hohem Niveau stabilisiert. Betrachtet man die Daten über einen längeren Zeitraum, wird ersichtlich, dass auch die Anzahl Fälle mit Fischsterben recht konstant ist. Etwa 14 Fälle mussten pro Jahr bewältigt werden. Bei etwas mehr als der Hälfte dieser Fälle konnten die Verursacher nicht ermittelt werden. Erstaunlich ist, dass immer weniger tote Fische eingesammelt werden müssen. Sicherlich wirkt sich der schnelle und professionelle Einsatz aller Beteiligten nach Meldung einer Gewässerverschmutzung bei der Polizei positiv aus. Die Entwicklung zeigt aber auch eine auffällige Übereinstimmung mit den Fischfangzahlen für die Fließgewässer. Seit Ende der Achtzigerjahre nehmen die Fischbestände in den Bächen und Flüssen ungebremst ab. Es ist somit gut möglich, dass grosse Fischsterben ausgeblieben sind, weil in vielen Gewässerabschnitten nur noch wenige Fische vorhanden sind.

Wegen der hohen Bautätigkeit und häufig unqualifiziertem Handeln wurden in den letzten Jahren vermehrt Gewässerverschmutzungen durch Baustellen verursacht. Ebenso hat das zunehmende Verkehrsaufkommen und ein verstärktes Problembewusstsein bei den Einsatzkräften zu mehr Meldungen von Unfällen und Bodenverschmutzungen geführt. Immer noch häufig verursachen auch Industrie und Gewerbe Gewässerverschmutzungen. Die Landwirtschaft hat rund 8 % (18 Fälle) und private Haushalte etwa 7 % (14 Fälle) der jährlich erfassten Einsätze zu verantworten. Ereignisse werden verursacht durch Unachtsamkeit, Unwissen bezüglich der Entwässerungssituation, fahrlässiges oder vorsätzliches Handeln, nicht betriebstüchtige Anlagen oder Unfälle.



Fokus Ausgefischt? Starker Rückgang der Fangerträge in Fließgewässern



Fließ- gewässer





42

Vorsicht beim Umgang mit Insektiziden



46

Per- und polyfluorierte Stoffe – langlebig und giftig?

Temperaturen und Abflüsse zunehmend kritisch

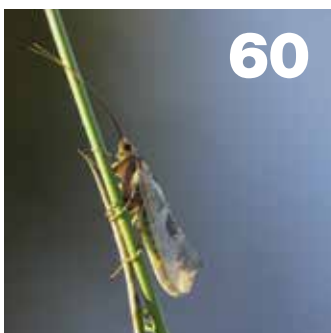


50



58

Ausgefischt? Starker Rückgang der Fangerträge



60

Invasive Flohkrebse dezimieren die Wasserinsekten in der Limmat

24 Messprogramm und Beurteilung

26 Qualität

- 26 Nährstoffe
- 28 Stickstoff- und Phosphorfrachten aus den grossen Einzugsgebieten
- 29 PCB und PAK
- 30 Schwermetalle

32 Mikroverunreinigungen

- 35 Die Untersuchung der Einzugsgebiete mittels Quartalsproben
- 37 Ganzjährige Untersuchungen an NAWA-Stellen und weiteren ausgewählten Hauptmessstellen
- 39 Untersuchung kleiner Fließgewässer mit mobilen Mischprobensammlern

48 Quantität/Dynamik und Lebensraum

- 48 Ökomorphologie
- 49 Wasserführung

52 Biologischer Zustand

- 52 Moose und Wasserpflanzen
- 56 Makrozoobenthos
- 57 Fische

62 Synthese und Handlungsbedarf

Messprogramm und Beurteilung

Ein ganzheitlicher Gewässerschutz bedingt eine umfassende Bewertung der Gewässer. Dazu werden chemische Analysen und Methoden der Bioindikation eingesetzt.

Messprogramm

Die Wasserqualität der Fließgewässer im Kanton Zürich wird regelmässig überwacht. An 15 Hauptmessstellen (HM) werden mittels Schöpfautomaten Wasserproben entnommen. Diese Untersuchungen an den bedeutendsten Fließgewässern ermöglichen die Überwachung der wichtigsten chemischen Parameter, die Ermittlung von Frachten und die Erfassung der saisonalen und langfristigen Veränderungen.

Zusätzlich werden an 50 über den ganzen Kanton verteilten Messstellen (FG) monatlich Stichproben aus den Gewässern geschöpft und physikalische Messungen durchgeführt. Im Labor werden die Proben chemisch analysiert. 13 Messstellen davon werden im Rahmen des Monitoring-Programmes des Bundes (NAWA) untersucht. Die Resultate ermöglichen die Beurteilung der langfristigen Entwicklung der Wasserqualität und eine geografische Übersicht der aktuellen Belastungen.

Für eine umfassende Gewässerbeurteilung werden seit 2004 in ausgewählten Einzugsgebieten jeweils 30 bis 40 Messstellen zusätzlich untersucht (EZG). Neben den chemisch-physikalischen Parametern werden an diesen Messstellen auch verschiedene biologische Indikatoren erfasst. Zwischen 2004 und 2011 wurden somit im gesamten Kanton 154 Stellen untersucht und eine erste Kantonsübersicht fertiggestellt. Dieselben Messstellen wurden zwischen 2012 und 2017 ein zweites Mal beprobt. Durch Vergleich mit den Vorperioden konnte damit eine fundierte Grundlage für den Gewässerbericht 2018 erarbeitet werden. Mit dem vorliegenden Gewässerbericht wird die weitere Entwicklung dokumentiert. Dazu wurden zwischen 2018 und 2021 erneut 157 Messstellen umfassend untersucht. Diese beinhalten die meisten bisherigen und einige wenige zusätzliche Untersuchungsstellen. Damit kann der aktuelle Zustand der Gewässer beurteilt und aufgezeigt werden, in welche Richtung sich die verschiedenen Indikatoren entwickeln.

Untersuchte Parameter und Methoden

Im Rahmen des erweiterten Untersuchungsprogrammes für die Einzugsgebiete (EZG) werden in monatlichen Stichproben die «traditionellen» chemischen und physikalischen Parameter zur Beurteilung der Wasserqualität analysiert. Zusätzlich werden die Wasserführung und der ökomorphologische Zustand beurteilt. Im Sediment werden Schwermetalle, PCB (polychlorierte Biphenyle) und PAK (polizyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) gemessen. Weiter werden das Makrozoobenthos und die Wasserpflanzen untersucht. An ausgewählten Stellen erfolgt eine Beurteilung der Fischpopulation durch die Fischerei- und Jagdverwaltung.

Die Mikroverunreinigungen (MV) werden seit 2018 in Zweiwochenmischproben der Stellen Thur Andelfingen, Glatt Rheinsfelden, Furtbach Würenlos und Aabach Mönchaltorf untersucht (NAWA-Programm). Alle anderen Hauptmessstellen werden einmal pro Quartal beprobt. An kleinen Fließgewässern werden seit 2018 mit mobilen Schöpfgeräten Wochenmischproben gesammelt; für die Analytik von MV werden sie

zu Zweiwochenmischproben vereint. In der Periode 2018–21 konnte mit diesen Kampagnen bei 20 Stellen die Belastung mit Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft und Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie erfasst werden.

Rechtliche Grundlagen

Wichtigste Grundlage für die Gewässerbeurteilung ist die Gewässerschutzverordnung, die neben den numerischen Anforderungen an die Wasserqualität auch verbale Formulierungen der Ziele und Anforderungen an die Gewässer- respektive die Wasserqualität enthält. Im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts wurden Vollzugshilfen erarbeitet (oder befinden sich noch in Bearbeitung), welche die allgemein formulierten Ziele und Anforderungen konkretisieren und Methoden beschreiben, mit denen die Wasserqualität, der Gewässerraum, die Wasserführung und der biologische Zustand beurteilt werden können.



Modul-Stufen-Konzept

Parameterliste

Parameter	Symbol	Einheit	HM	FG	EZG
Temperatur	T	°C	K	M	M
pH-Wert	pH	–		M	M
Sauerstoff	O ₂	mg O ₂ /l		M	M
Leitfähigkeit	Leitf.	µS/cm		M	M
Ammonium	NH ₄	mg N/l	W	M	M
Nitrit	NO ₂	mg N/l		M	M
Nitrat	NO ₃	mg N/l	W	M	M
Gesamtstickstoff	N _{tot}	mg N/l	W	M	M
Phosphat	PO ₄	mg P/l	W	M	M
Gesamtposphor	P _{tot}	mg P/l	W	M	M
Chlorid	Cl	mg/l	W	M	M
Sulfat	SO ₄	mg/l	W	M	M
Gelöster organischer Kohlenstoff	DOC	mg C/l	S	M	M
Pestizide und andere Mikroverunreinigungen		µg/l		D	D
Schwermetalle, PCB und PAK in Sedimenten		mg/kg		J	J
Moose und Wasserpflanzen		–		E_s	E_s
Makrozoobenthos		–		E_{FH}	E_{FH}
Fische		–		E_s	E_s

K kontinuierliche Registrierung
M monatliche Stichprobe
W Wochenmischprobe
S wöchentliche Stichprobe
D Zweiwochenmischproben oder Quartalsproben an Hauptmessstellen,

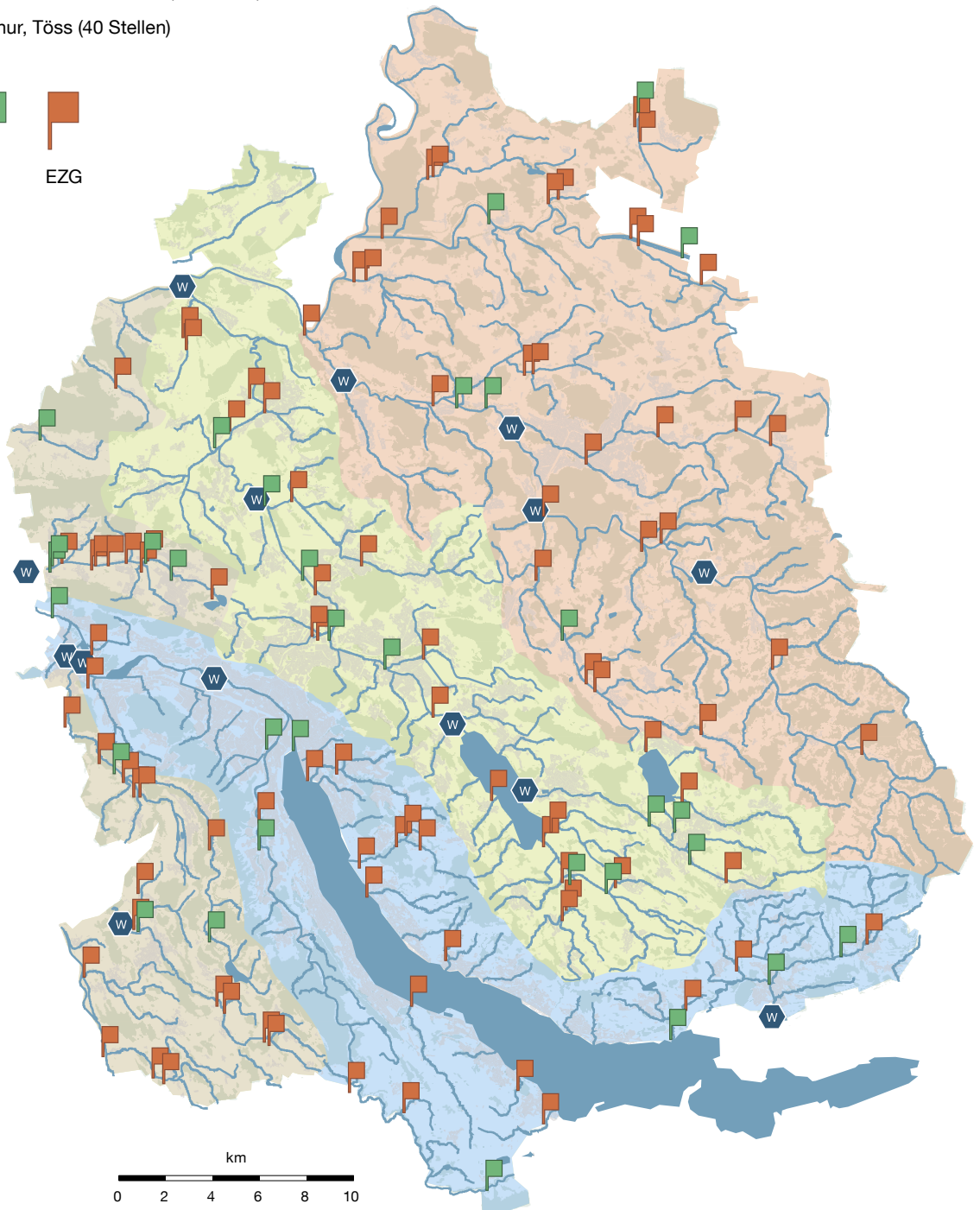
Wochenmischproben an ausgewählten kleinen Fließgewässern
J 1 Stichprobe pro Messperiode
E_s Erhebung im Sommer
E_{FH} Erhebung im Frühling und Herbst

Rund 150 Messstellen geben Auskunft über den Zustand der 3618 km Fließgewässer im Kanton.

Einzugsgebiete (EZG) und Untersuchungsstellen der Messkampagnen 2018 bis 2021

- 2018: EZG Greifensee (43 Stellen)
- 2019: EZG Reppisch, Jonen, Furtbach (40 Stellen)
- 2020: EZG Sihl, Zürichsee, Jona (34 Stellen)
- 2021: EZG Thur, Töss (40 Stellen)

- W
HM
- FG
- EZG



Qualität Nährstoffe

Nicht nur die Menge und Zusammensetzung von eingeleitetem Abwasser sowie Einträgen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen bestimmen, ob die Zielvorgaben im Gewässer eingehalten werden. Immer häufiger spielen auch klimatische Faktoren eine entscheidende Rolle.

Herkunft und Untersuchung

Die Nährstoffbelastung wird anhand der Konzentrationen von Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat beurteilt. Diese Stoffe gelangen einerseits kontinuierlich mit gereinigtem Abwasser aus ARA oder stossweise bei Entlastungen von ungereinigtem Abwasser aus der Kanalisation bei Starkregen in die Gewässer. Andererseits gelangen Phosphat und Nitrat, die in Form von Gülle, Mist, Kompost oder Mineraldünger in der Landwirtschaft verwendet werden, über Erosion oder Auswaschung landwirtschaftlich genutzter Böden in die Gewässer. Zusätzlich belasten Stickoxide aus Verbrennungsprozessen und Ammoniak aus der Landwirtschaft die Niederschläge und führen zu einer Grundbelastung sämtlicher Flächen mit Stickstoff.

Entwicklung und Beurteilung

Dank dem Ausbau der Siedlungsentwässerung und der Abwasserreinigungsanlagen sowie dem Phosphatverbot in Waschmitteln konnte die Nährstoffbelastung seit anfangs der Achtzigerjahre stark reduziert werden. Ebenfalls stark zum Rückgang der Nährstoffkonzentrationen beigetragen haben verschiedene Massnahmen in der Landwirtschaft. Seit der Einführung der integrierten Produktion 1996 und dem ökologischen Leistungsnachweis 1997 müssen Landwirtschaftsbetriebe u. a. eine ausgeglichene Düngerbilanz, einen angemessenen Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen und geeignete Bodenschutzmassnahmen ausweisen, um in den Genuss von Direktzahlungen zu kommen.

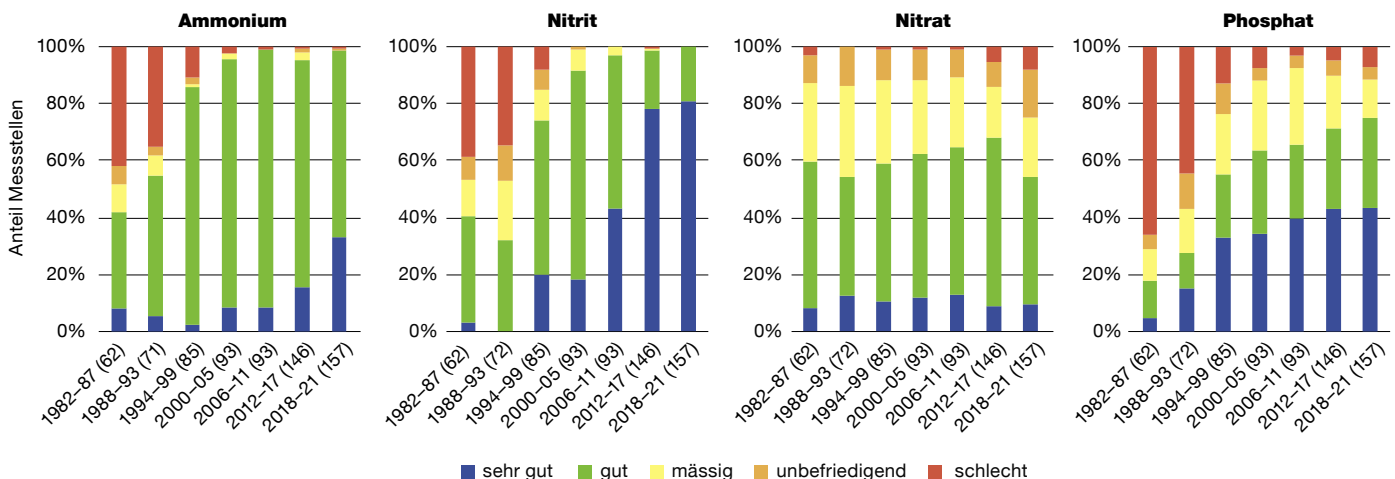
Eine Gefährdung der Wasserlebewesen durch Ammonium und Nitrit tritt heute kaum mehr auf, da die beiden giftigen Stickstoffverbindungen nur noch ganz selten in erhöhten Konzentrationen in den Fließgewässern vorkommen. Die Ammonium-

Konzentrationen sind in der letzten Messperiode nochmals deutlich gesunken und die Nitrit-Konzentrationen erfüllten die Zielvorgaben erstmals vollständig seit Messbeginn. Diese erfreuliche Entwicklung ist auf die bereits erwähnten Massnahmen in der Landwirtschaft, den fortlaufenden Ausbau und die Sanierung von ARA sowie auf mehrere milde Winter zurückzuführen. Höhere Temperaturen begünstigen die Nitrifikation in der Abwasserreinigung und führen damit zu geringeren Nitrit-Konzentrationen in den Gewässern.

Im Gegensatz zu Ammonium und Nitrit wurden die Zielvorgaben für Nitrat und Phosphat regelmässig überschritten und dies, obwohl die ARA die geltenden Einleitungsbedingungen mit wenigen Ausnahmen erfüllten. Immerhin konnte der Anteil Stellen, welche die Zielvorgabe für Phosphat erfüllte, im Vergleich zur Vorperiode weiter gesteigert werden. Die Entwicklung der Nitratkonzentrationen dagegen geht in die falsche Richtung. Die Belastung war seit Messbeginn noch nie so hoch wie zwischen 2018–2021. Dazu beigetragen haben einerseits die beiden warmen und trockenen Sommer 2018 und 2020. Aufgrund der geringen Wasserführung kam es in vielen Bächen zu einer ungenügenden Verdünnung des gereinigten Abwassers mit Bachwasser und damit erhöhten Nitrat-Konzentrationen. Andererseits kam es auch in kleinen Bächen, die kein gereinigtes Abwasser mit sich führen, vermehrt zu Überschreitungen der Zielvorgaben, insbesondere im Januar und Februar 2019. Während der Trockenheit im Jahr 2018 wurde kaum Stickstoff aus den Böden ausgewaschen. Der überschüssige Stickstoff reicherte sich im Boden an und gelangte erst in der nächsten Niederschlagsperiode in die Gewässer.

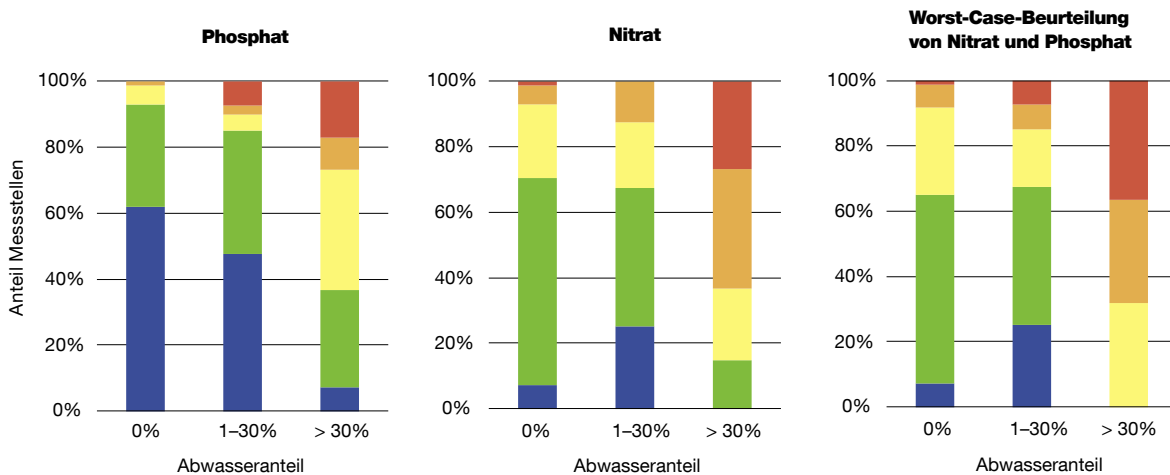
Entwicklung der Nährstoffbelastung seit 1982

In Klammern hinter Jahreszahlen: Anzahl Messstellen



Geringe Wasserführung bei Trockenheit verursacht wegen schlechter Verdünnung von gereinigtem Abwasser hohe Nitrat-Konzentrationen in Bächen.

Nährstoffbelastung in Abhängigkeit des Abwasseranteils (2018–2021, n=152)



Nährstoffbelastung durch Abwasser

Die Nährstoffbelastung in den Fließgewässern wird stark durch den Abwasseranteil im Gewässer beeinflusst. Bei einem Abwasseranteil von über 30 % überschritt immer einer der beiden Indikatoren Phosphat oder Nitrat die Zielvorgabe (Worst-Case-Beurteilung). Um die Phosphoreinträge in die Seen möglichst zu minimieren und damit ein übermässiges Algenwachstum zu verhindern, sind alle ARA im Einzugsgebiet von Seen zusätzlich mit einer Flockungsfiltration ausgerüstet. Eine weitere Reduktion der Stickstofffrachten, die mit dem Abwasser in die Gewässer gelangen, kann nur mit einer Denitrifikation auf der ARA erreicht werden. Nitrat im Wasser ist für die Organismen weniger problematisch zu werten als Nitrit oder Ammonium, die direkt toxische Wirkungen haben. Hohe Nitratwerte können aber auf das Vorhandensein anderer Problemstoffe, wie Pestizide oder Medikamentenrückstände, hinweisen und sind auch aus Gründen des Grundwasser- und Nordseeschutzes zu reduzieren.

Aber auch in Gewässern, die nicht als Vorfluter für ARA dienen, erfüllten nur 65 % die Zielvorgaben für beide Indikatoren gleichzeitig. Vergleichbar ist die Zielerfüllung bei den Fließgewässern mit einem Abwasseranteil von bis zu 30 %. Dies macht deutlich, dass diffuse Einträge aus der Landwirtschaft und Entlastungen aus der Kanalisation bei Starkregen ebenfalls wesentlich zur Belastung beitragen.

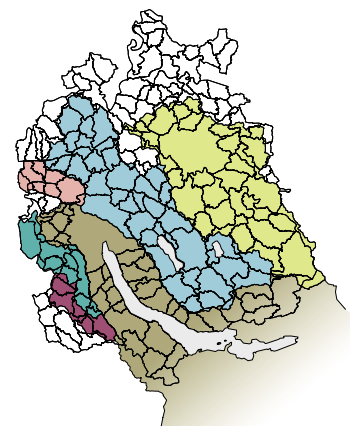


Abwasserreinigung

Qualität Stickstoff- und Phosphorfrachten aus den grossen Einzugsgebieten

Obwohl die Bevölkerung im Kanton Zürich seit Beginn der Neunzigerjahre um 35 % zugenommen hat, konnten die Frachten beim Stickstoff um 28 % und beim Phosphor um 35 % gesenkt werden.

Für die Berechnung der Stickstoff- und Phosphorfrachten bieten sich die Messungen von den 15 Hauptmessstellen an. Erstens sind an diesen Stellen Automaten installiert, die Mischproben schöpfen können, zweitens misst die AWEL-Fachgruppe Hydrometrie dort die Abflüsse. Aus den Konzentrationen für die Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die in den Mischproben gemessen werden, und den Daten für die Abflüsse können Frachten ermittelt werden. Die langjährige Entwicklung dieser Frachten zeigt die Wirkung aller Massnahmen in den Bereichen Abwasserreinigung, Siedlungsentwässerung und Landwirtschaft auf.

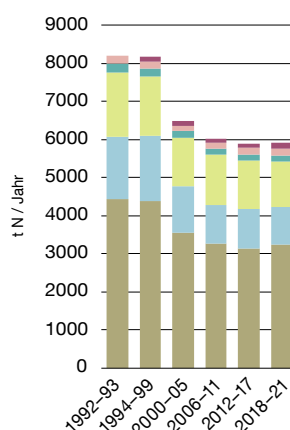


Frachten werden stark durch die Witterung beeinflusst. In niederschlagsreichen Jahren mit hohen Abflüssen sind die Frachten infolge verstärkter Abschwemmungen von landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Entlastungen aus der Kanalisation deutlich höher als in trockenen Jahren. Um die Entwicklung der Frachten über mehrere Jahre hinweg aufzuzeigen, wurden die Daten bis 2017 in Sechsjahresperioden zusammengefasst, wodurch sich trockene und nasse Jahre weitgehend ausgleichen. Seit 2018 umfasst die Auswertungsperiode nur noch vier Jahre. Mit 2018 und 2020 wurden in dieser Periode zwei trockene und mit 2019 und 2021 zwei nasse Jahre zusammengefasst.

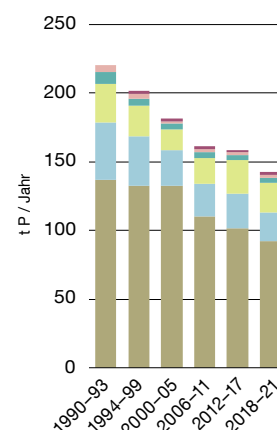
Für die letzte Auswertungsperiode (2018 bis 2021) betrug die Reduktion beim Stickstoff im Vergleich zur ersten Messperiode zu Beginn der Neunzigerjahre insgesamt 2281 t N/Jahr. Im Vergleich zur Periode 2012 bis 2017 konnte keine Reduktion mehr beobachtet werden. In den Einzugsgebieten von Limmat, Reppisch, Furtbach und Jonen stieg die Stickstofffracht sogar wieder leicht an. Beim Phosphor betrug die Verminderung im Vergleich zur ersten Messperiode 77 t P/Jahr.

Die Entwicklung der letzten drei Untersuchungsperioden zeigt, dass es ohne weiterführende Massnahmen kaum mehr zu einem Rückgang der Stickstofffrachten kommen wird. Zu beachten ist, dass im Einzugsgebiet der Limmat auch Gebiete der Kantone Schwyz, Glarus und St. Gallen enthalten sind.

Stickstoff



Phosphor



■ Jonen ■ Furtbach ■ Reppisch ■ Töss ■ Glatt ■ Limmat



Landwirtschaft, Bevölkerung, Verkehr und Bautätigkeit



Hauptmessstelle am Furtbach bei Würenlos

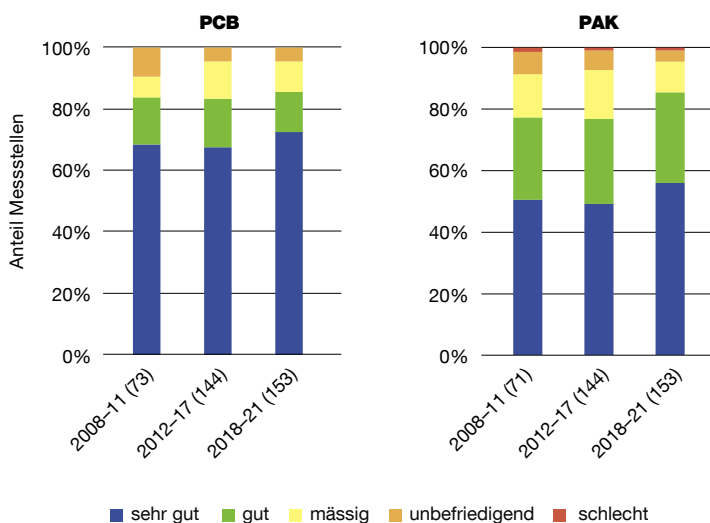
Qualität PCB und PAK

PCB und PAK sind schlecht abbaubare organische Schadstoffe, die sich in der Nahrungskette anreichern und zu Vergiftungen und Krebs führen können. Seit Messbeginn im Jahr 2008 gehen die Konzentrationen leicht zurück.



Entwicklung der PCB-Belastung seit 2008

In Klammern hinter Jahreszahlen: Anzahl Messstellen



Herkunft und Untersuchung

Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden als Industriechemikalien ab 1930 bis zu ihrem Totalverbot im Jahr 1986 in sehr vielen Produkten wie Kondensatoren, Transformatoren, Schmierstoffen, Weichmachern für Kunststoffe, Imprägnier- und Flammschutzmitteln, Dichtungsmassen und Korrosionsschutzanstrichen verwendet. Direkt oder über die Verbrennung von PCB-haltigen Materialien ist ein bedeutender Teil dieser PCB in die Umwelt gelangt, wo sie sich wegen ihrer schlechten Abbaubarkeit teilweise heute noch befinden. Aus Altlasten wie Abfalldeponien, mit PCB verschmutzten Betriebsstandorten oder älteren Gebäuden, in denen PCB-haltige Materialien eingebaut sind, können auch heute noch PCB in die Umwelt freigesetzt werden.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material, z. B. fossiler Brennstoffe in Heizungen oder Automotoren. Sie sind an Russpartikel gebunden, geraten mit diesen in die Umgebungsluft und gelangen direkt oder durch die Abschwemmung von belasteten Flächen in die Gewässer. Gewisse Kunststoffe oder Gummiprodukte, z. B. Autoreifen, enthalten ebenfalls PAK. Zudem sind PAK ein natürlicher Bestandteil von Kohle und Erdöl und deshalb in grossen Mengen in mit Bitumen und Steinkohleteer behandelten Produkten vorhanden. Bei der Alterung der Materialien werden die PAK freigesetzt und gelangen über Strassenabwasser, Sickerwasser aus belasteten Standorten, Abwasser und Entlastungen in die Gewässer.

Da sowohl PCB als auch PAK an feine Partikel adsorbieren, die sich teilweise an strömungsberuhigten Stellen im Fließgewässer absetzen, werden die Sedimente zur Erfassung der PCB- und PAK-Belastung untersucht.

Beurteilung

Zwischen 2008 und 2011 wurden erstmals die Sedimente von 73 Gewässerabschnitten auf PCB und PAK untersucht. In den nachfolgenden Untersuchungsperioden kamen rund 80 zusätzliche Abschnitte hinzu. Die Belastung mit PCB und PAK ist in der Untersuchungsperiode 2018 bis 2021 im Vergleich zu den beiden Vorperioden leicht zurückgegangen. Der Anteil unbefriedigend und schlecht beurteilter Abschnitte hat ab- und der Anteil Stellen mit sehr guter Beurteilung etwas zugenommen.

Erhöhte PCB-Belastungen kommen meist zusammen mit erhöhten PAK-Belastungen vor. Häufig sind auch die Kupfer- und Zink-Belastungen an diesen Standorten hoch. Über Strassenabwasser gelangen sowohl PAK als auch PCB in die Gewässer und auch unterhalb von ARA wurden häufig erhöhte PAK- und PCB-Konzentrationen gemessen. Die Kombination von einem hohen Anteil an Siedlungs- und Verkehrsflächen führt vor allem im Furt- und Glattal häufig zu Überschreitungen der Zielvorgaben. In diesen stark industrialisierten Gebieten des Kantons befinden sich zudem viele belastete Standorte, die ebenfalls als Ursachen für erhöhte PCB- und PAK-Konzentrationen in Frage kommen.

Qualität Schwermetalle

Verkehr, Industrie, Siedlungen und Landwirtschaft hinterlassen ihre Spuren in den Gewässern – auch in Form von Schwermetallen. Diese kämen – wenn überhaupt – unter natürlichen Verhältnissen nur in sehr geringen Mengen in den Gewässern vor.

Herkunft und Untersuchung

Mit dem Regenwasser gelangen Kupfer und Zink, die als Baumaterialien weit verbreitet sind, durch Abschwemmung in die Gewässer. Über Strassenabwasser werden Kupfer, Zink und Cadmium, die im Abrieb von Bremsen, Reifen und Strassenbelägen vorhanden sind, und Blei in die Gewässer eingetragen. Erhöhte Bleikonzentrationen in Böden entlang von Strassen sind auf die Verbrennung bleihaltiger Treibstoffe zwischen 1955 und 1985 zurückzuführen. Bahnlinien tragen vor allem zur Kupferbelastung bei. In industriellen Prozessen wird eine Vielzahl von Schwermetallen verwendet, die trotz betriebsinterner Abwasservorbehandlung in die ARA gelangen.

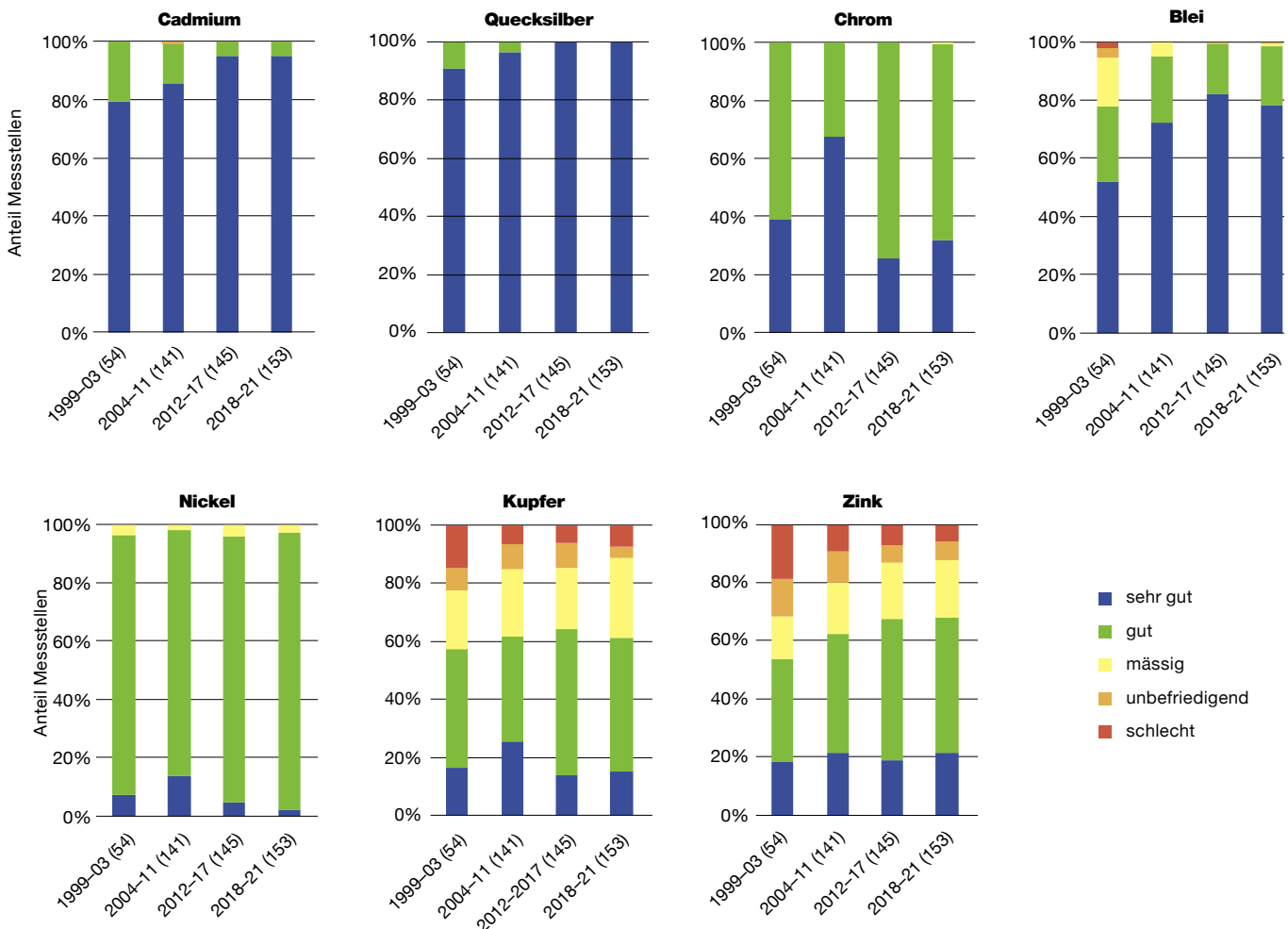
Angelagert an Klärschlammteilchen werden rund 90 % der Schwermetalle aus dem Abwasser entfernt; ein kleiner Teil gelangt jedoch mit dem gereinigten Abwasser kontinuierlich und bei Entlastungen aus der Kanalisation bei Regen stossweise in die Gewässer. Aus belasteten Standorten wie Industriebetrieben und Deponien können Schwermetalle auch mit dem Sickerwasser in die Gewässer freigesetzt werden. Da Schwermetalle an feine Partikel adsorbieren, die teilweise an strömungsberuhigten Stellen im Fließgewässer sedimentieren, werden die Sedimente zur Erfassung der Schwermetallbelastung verwendet.



Landwirtschaft, Bevölkerung, Verkehr und Bautätigkeit

Entwicklung der Schwermetallbelastung seit 1999

In Klammern hinter Jahreszahlen: Anzahl Messstellen



Beurteilung

Zwischen 1999 und 2003 wurden in 54 Gewässerabschnitten die Sedimente erstmals auf Schwermetalle untersucht. In den nachfolgenden Untersuchungsperioden kamen rund 100 zusätzliche Abschnitte hinzu. Die Zielvorgaben für Cadmium und Quecksilber werden seit 2012 vollständig eingehalten. Die Anforderungen für Chrom wurden in der letzten Untersuchungsperiode in einer, für Blei in zwei und für Nickel in vier Untersuchungsabschnitten nicht erfüllt. Damit blieb die Belastung ähnlich hoch wie in der Vorperiode. Auch die Kupfer- und Zinkbelastung hat sich gegenüber der Vorperiode kaum verändert. Die Zielvorgaben wurden für Kupfer in 39 % und für Zink in 32 % aller Abschnitte nicht erfüllt. Ein Vergleich der aktuellen Untersuchungen mit der ersten Messperiode zeigt jedoch, dass die Schwermetallbelastung insgesamt deutlich gesunken ist. Die getroffenen Massnahmen in der Industrie bezüglich Luftreinhaltung und Abwasservorbehandlung sowie das Bleiverbot in Treibstoffen haben sich bewährt. Ein weiterer Rückgang ist jedoch ohne weiterführende Massnahmen nicht zu erwarten.

In den mittleren und grossen Flüssen (Limmat, Thur, Töss, Sihl, Reppisch, Jonen, Kempt, Eulach) konnten die Zielvorgaben für Schwermetalle mit wenigen Ausnahmen eingehalten werden. Schwermetalle werden dort ausreichend verdünnt. Eine Ausnahme ist die Glatt unterhalb von Dübendorf, in der die Zielvorgaben für verschiedene Schwermetalle trotz der Grösse des Gewässers regelmässig überschritten wurden. Dies zeigt den grossen Druck auf die Glatt durch die starke Industrialisierung im Einzugsgebiet und die hohe und zunehmende Dichte an Siedlungs- und Verkehrsflächen. Auch in kleineren Fließgewässern kommt es sehr oft zu Überschreitungen der Zielvorgaben. Eingehalten werden sie meist nur in kleinen Fließgewässern, die nicht als Vorfluter für ARA dienen, und in denen keine Regenüberläufe aus der Kanalisation oder Einleitungen von Strassenabwasser vorhanden sind. Ebenfalls nur wenig belastet sind kleine Fließgewässer, die einen sehr geringen Siedlungsanteil im Einzugsgebiet (< 15 %) aufweisen.



Glatt unterhalb Dübendorf

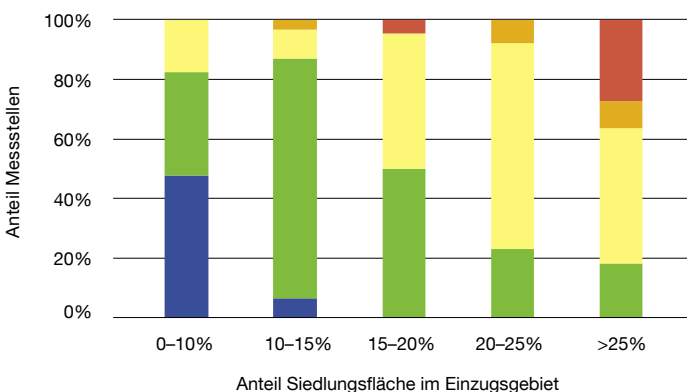


Schwermetallbelastung durch Siedlungen

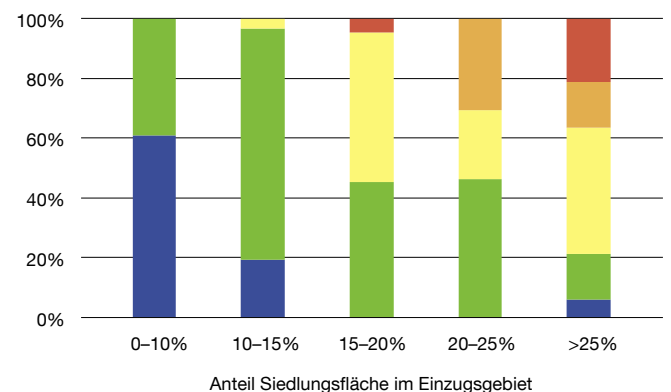
Sowohl die früheren wie auch die aktuellen Untersuchungen zeigen, dass mit zunehmender Siedlungsfläche in einem Einzugsgebiet die Kupfer- und die Zinkbelastung der Sedimente stark ansteigen. Die Konzentrationen von Kupfer und Zink weisen dabei meist ein erstaunlich konstantes Verhältnis auf. Dies deutet darauf hin, dass nicht einzelne Belastungsquellen wie Industriebetriebe, belastete Standorte oder mit Kupfer behandelte Weinberge die Hauptquellen der Belastung darstellen. Vielmehr dürften Baumaterialien und Verkehrsträger Hauptursachen für die Belastungen sein.

Kupfer und Zink sind allgegenwärtig und zeigen, wo der Siedlungsdruck besonders hoch ist.

Kupferbelastung in Abhängigkeit der Siedlungsdichte im Einzugsgebiet (2018–2021, n=122)



Zinkbelastung in Abhängigkeit der Siedlungsdichte im Einzugsgebiet (2018–2021, n=122)



Mikroverunreinigungen

Unter dem Begriff «Mikroverunreinigungen» versteht man ein breites Spektrum organischer Stoffe, die nur aufgrund menschlichen Wirkens in den Gewässern vorkommen und meist nur in Konzentrationen von Nano- bis Mikrogramm pro Liter im Wasser nachweisbar sind. Einige ihrer Vertreter können bereits in diesen oder noch tieferen Konzentrationen Organismen gefährden.



Herkunft und Bedeutung

Die meisten Mikroverunreinigungen stammen aus Produkten, die in Haus und Garten, in der Industrie und im Gewerbe oder in der Landwirtschaft verwendet werden, z. B. Desinfektions- und Reinigungsmittel, Pflanzenschutzmittel oder Biozidprodukte. Andere bedeutende Quellen sind künstliche Süßstoffe, Medikamente und Produkte für die Körperpflege. Zu den Mikroverunreinigungen gehören auch Abbauprodukte von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln, Medikamenten usw. sowie natürliche Stoffe wie die körpereigenen Östrogene.

Eine besondere Stellung innerhalb der Mikroverunreinigungen nehmen die Wirkstoffe der Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte ein, die sogenannten Pestizide. Meist werden sie absichtlich in die Umwelt ausgebracht mit dem Ziel, unerwünschte Organismen abzuwehren oder zu vernichten. Vom Ort ihrer Verwendung finden viele von ihnen den Weg ins Wasser, wo sie und ihre Abbauprodukte die aquatischen Lebewesen schädigen und unser Trinkwasser gefährden können.

Pflanzenschutzmittel werden vor allem im Frühling und Frühsommer angewendet. Entsprechend findet man zu diesen Zeiten hohe Konzentrationen von Pestiziden aus der Landwirtschaft. Mikroverunreinigungen, die aus Industrie, Gewerbe und Haushalt kommen, werden hingegen das ganze Jahr durch in mehr oder weniger gleichbleibenden Mengen über ARA in die Gewässer eingetragen. Damit ändern sich ihre Konzentrationen mit dem Abfluss des Vorfluters einer ARA. Ist er beispielsweise durch ein längeres Regenereignis hoch, wird das eingeleitete Abwasser stark verdünnt, und die Konzentrationen sind entsprechend tief. Bei Trockenwetter ist die Verdünnung kleiner, was höhere Konzentrationen zur Folge hat.

Beurteilung der Wasserqualität

Um die Gefahr abzuschätzen, die von den Mikroverunreinigungen für die Lebewesen im Wasser ausgeht, werden die gemessenen Konzentrationen mit stoffspezifischen, effektbasierten Qualitätskriterien verglichen. Sind die gemessenen Konzentrationen grösser als diese Kriterien, kann ein Risiko für Wasserorganismen nicht ausgeschlossen werden. Für die meisten Verbindungen liegen zwei Qualitätskriterien vor. Das «Akute Qualitätskriterium (AQK)» ist ein Anhaltspunkt dafür, ab welcher Konzentration Organismen bei kurzfristiger Belastung geschädigt werden können. Betrachtet wird ein Zeitraum bis maximal vier Tage. Das «Chronische Qualitätskriterium (CQK)» gibt Auskunft darüber, ab welcher Konzentration Organismen gefährdet sind, wenn eine Verbindung über eine längere Zeit auf sie einwirkt. Als Kriterium wird eine gemittelte Konzentration über eine Zeitdauer von zwei Wochen verwendet. Die Quotienten, die aus den Vergleichen der Konzentrationen mit den beiden Qualitätskriterien resultieren, heissen entsprechend «Akuter Risikoquotient (ARQ)» bzw. «Chronischer Risikoquotient (CRQ)». Die Resultate in diesem Kapitel basieren auf der Analyse von Zweiwochenmischproben. Zur Beurteilung der Belastungen wurden die chronischen Qualitätskriterien verwendet. Die Bezeichnung der Wasserqualität und ihre farbliche Codierung erfolgen gemäss nachfolgendem Schema.

Schema für die Beurteilung der Wasserqualität

Qualität	Bedingung gemäss Qualitätskriterien
■ sehr gut	CRQ < 0.1
■ gut	$0.1 \leq \text{CRQ} < 1$
■ mässig	$1 \leq \text{CRQ} < 2$
■ unbefriedigend	$2 \leq \text{CRQ} < 10$
■ schlecht	$10 \leq \text{CRQ}$

AQK = akutes Qualitätskriterium; Verwendung für Stichproben und Mischproben bis 96 Stunden
 CQK = chronisches Qualitätskriterium; Verwendung für Zweiwochenmischproben
 CRQ = chronischer Risikoquotient = gemessene Konz./CQK

Will man das Risiko der chronischen Toxizität nicht nur für einen einzelnen Stoff, sondern für eine ganze Stoffgruppe bestimmen, addiert man die berechneten CRQ-Werte aller Stoffe der betreffenden Gruppe (Summe CRQ). In diesem Bericht wurde zwischen den Pestiziden, die im Pflanzenschutz zum Einsatz kommen, und den Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie unterschieden. Die Pestizide wurden weiter in die Gruppen der Herbizide, Insektizide und Fungizide unterteilt, die Gruppe der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie in Arzneimittel und weitere Stoffe sowie die Wirkstoffe aus Biozidprodukten.

Je nach Messkampagne werden an einer einzelnen Untersuchungsstelle jeweils 12 bis 14 (April–Sept.) oder 25 Zweiwochenmischproben geschöpft (ganzjährige Beprobung). Für eine zusammenfassende Darstellung der Resultate werden im vorliegenden Bericht die höchsten CRQ-Werte der Messperiode verwendet, weil diese für das Risiko der Organismen im Gewässer ausschlaggebend sind (CRQ_{max}). Für die zusammenfassende Darstellung von Messresultaten über mehrere Jahre werden als weitere Auswertungsmethode die Mittelwerte der

Über 30 000 Stoffe sind in der Schweiz im regelmässigen Gebrauch.



CRQ-Werte eines Jahres berechnet. Diese Methode führt zu robusten Resultaten, weil nicht nur der Höchstwert berücksichtigt wird, sondern alle Messwerte einer Messperiode in die Berechnung eingehen. Die Gefährdung der Organismen im Wasser wird mit dem Mittelwert der Belastungen jedoch schlechter abgeschätzt.

Seit April 2020 sind in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) für 19 Pestizide und 3 Arzneimittel stoffspezifische Anforderungswerte festgelegt. Diese Werte entsprechen den vom Schweizerischen Zentrum für angewandte Ökotoxikologie hergeleiteten Werten für die akute und chronische Toxizität (AQK und CQK). Für alle übrigen Pestizide gilt weiterhin ein Anforderungswert von $0.1 \mu\text{g/l}$.



Schöpfautomat bei der Hauptmessstelle
«Furtbach bei Würenlos»



Sampler zur Entnahme von zeitproportionalen
Mischproben aus kleinen Fließgewässern

Die Untersuchung der Einzugsgebiete mittels Quartalsproben

Um die Belastung der Fließgewässer im Kanton Zürich bezüglich Mikroverunreinigungen beurteilen und die zeitliche Entwicklung der Gewässerqualität dokumentieren zu können, werden seit dem Jahr 2015 bei den 15 Hauptmessstellen jeweils viermal pro Jahr Proben – die sogenannten Quartalsproben – erhoben. Die Hauptmessstellen dienen der Überwachung der wichtigsten Fließgewässer im Kanton; sie sind mit Automaten ausgerüstet, die abfluss- oder zeitproportionale Tagesmischproben schöpfen können. In den Jahren 2015 bis 2017 wurden sie zu Wochenmischproben vereint, in den Jahren 2018 bis 2021 zu Halbwochen- oder Zweiwochenmischproben. Für die Auswertungen in diesem Bericht wurden die Halbwochenmischproben jeweils rechnerisch zu Zweiwochenmischproben vereint, indem aus den Konzentrationen einer Verbindung in den vier Halbwochenmischproben, aus denen sich die hypothetische Zweiwochenmischprobe zusammensetzt, der Mittelwert berechnet wurde.

Ganzjährige Untersuchungen an ausgewählten Hauptmessstellen

Mit einer lückenlosen Beprobung über ein ganzes Jahr lässt sich beantworten, welche Verbindungen am häufigsten auftreten, wie die Wasserqualität ist, wenn effektbasierte Qualitätskriterien als Richtschnur genommen werden, welche Verbindungen hauptsächlich verantwortlich sind für die Beeinträchtigung der Wasserqualität, und wie sich die Belastung im Laufe des Jahres verändert. Seit dem Jahr 2018 werden die Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Furtbach bei Würenlos» im Rahmen des gemeinsamen Messprogramms von Bund und Kantonen (NAWA-Trend) ganzjährig untersucht. Zur Erfolgskontrolle des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel wurde auch die Messstelle «Aabach bei Mönchaltorf» in das koordinierte Bundesprogramm aufgenommen. Zusätzlich zu diesen drei Stellen wurde zwischen 2018 und 2021 jedes Jahr jeweils eine vierte Messstelle untersucht. Dabei handelte es sich um die «Aa bei Niederuster» (2018), die «Jonen nach ARA Zwillikon» (2019), die «Reppisch bei Dietikon» (2020) und die «Eulach vor Töss» (2021).

Untersuchung kleiner Fließgewässer mit mobilen Mischprobensammlern

Zur Untersuchung der Belastung kleiner Fließgewässer mit Mikroverunreinigungen werden seit dem Jahr 2018 mobile Sampler eingesetzt, die zeitproportionale Wochenmischproben schöpfen. Die Sampler sind eine Eigenentwicklung des Gewässerschutzlabors und haben sich in der Praxis gut bewährt. Die Stellen für die Beprobung von April bis September werden jährlich aufgrund aktueller Fragen festgelegt. Für die Analytik werden die Proben von zwei Wochen zu einer Mischprobe vereint.

Mikroverunreinigungen

Die Untersuchung der Einzugsgebiete mittels Quartalsproben

Die Belastung der mittleren und grossen Fließgewässer mit Mikroverunreinigungen ist zurückgegangen. Der Anteil Quartalsproben, der die stoffspezifischen Anforderungswerte der GSchV erfüllt, stieg von 10 auf 30 %. Drei Arzneimittel waren für 72 % aller Überschreitungen verantwortlich.

Beurteilung der Stellen

Der Anteil der Quartalsproben, in denen keine Überschreitungen der spezifischen numerischen Anforderungen der GSchV festgestellt wurden, stieg von 10 % im Jahr 2015 auf 30 % im Jahr 2021. Am stärksten belastet mit Mikroverunreinigungen war in den Jahren 2015 bis 2021 das Wasser des Furtbachs. In den Proben der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» traten in dieser Zeitspanne in jeder Quartalsprobe durchschnittlich rund drei Überschreitungen der stoffspezifischen Anforderungswerte auf. Detaillierte Angaben zu den einzelnen Proben sind im Anhang in Tabelle A1 zu finden.

Beurteilung der Verbindungen

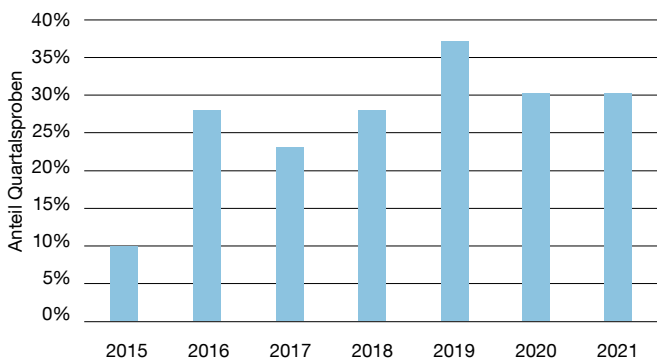
Bei 16 der 22 Verbindungen, für die in der GSchV spezifische numerische Anforderungen festgelegt sind, wurden in den Quartalsproben der Jahre 2015 bis 2021 mindestens einmal zu hohe Konzentrationen nachgewiesen. An der Spitze stand mit 261 Überschreitungen das Arzneimittel Diclofenac; es verursachte zwei Drittel aller Überschreitungen. Die beiden anderen Arzneimittel Azithromycin und Clarithromycin schlugen mit 18 bzw. 9 Überschreitungen zu Buche. Die drei Arzneimittel waren somit für 72 % aller Überschreitungen der stoffspezifischen Anforderungswerte verantwortlich (siehe Tabelle A2). Die Pestizide, die am häufigsten ihre stoffspezifischen Anforderungswerte gemäss GSchV nicht erfüllen konnten, waren das Insektizid Imidacloprid und das Herbizid Metazachlor. Mit Diazinon, Terbutryn, Diuron und Isoproturon wurden vier Stoffe mit Überschreitungen gefunden, die in Pflanzenschutz-

mitteln nicht mehr zugelassen sind und vermutlich aus der Anwendung von Biozidprodukten stammen. Ein Beispiel für die Verwendung von Biozidprodukten, die Terbutryn, Diuron oder Isoproturon enthalten, sind Anstriche für Fassaden. Sie enthalten diese Herbizide, um den Bewuchs der Fassade mit Algen und Moos zu verhindern. Von den neunzehn Pestiziden, für die die GSchV Anforderungswerte vorsieht, wurden bei sechs Verbindungen nie Überschreitungen gefunden: Azoxystrobin, Cyprodinil, Epoxiconazol, Metribuzin, Pirimicarb und Metolachlor.

Für organische Pestizide ohne spezifische numerische Anforderungen gilt ein Höchstwert von 0.1 µg/l. Am häufigsten überschritten wurde dieser Wert vom Herbizid Mecoprop, gefolgt vom Repellent DEET. Die beiden Verbindungen waren zusammen für 56 % aller Überschreitungen des Anforderungswerts von 0.1 µg/l verantwortlich (Tabelle A3).

Zu den Mikroverunreinigungen gehören auch die Abbauprodukte von Pestiziden und Arzneimitteln. Sie sind ebenfalls unerwünscht in unseren ober- und unterirdischen Gewässern, im Unterschied zu den bis anhin erwähnten Verbindungen gesetzlich aber nicht geregelt. Konzentrationen oberhalb 0.1 µg/l wurden regelmässig bei Abbauprodukten von Chloridazon und Metalochlor gefunden. Am meisten Nachweise wurden im Jahr 2016 verzeichnet (53), am wenigsten im extrem trockenen Jahr 2018 (14) (Tabelle A4).

Anteil Quartalsproben mit Erfüllung der stoffspezifischen Anforderungswerte GSchV

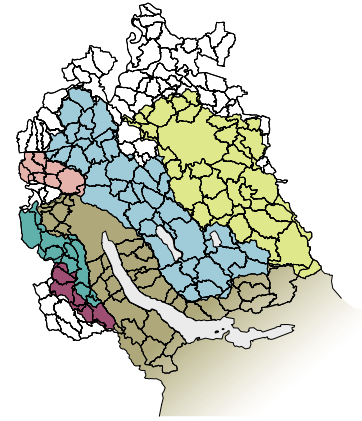
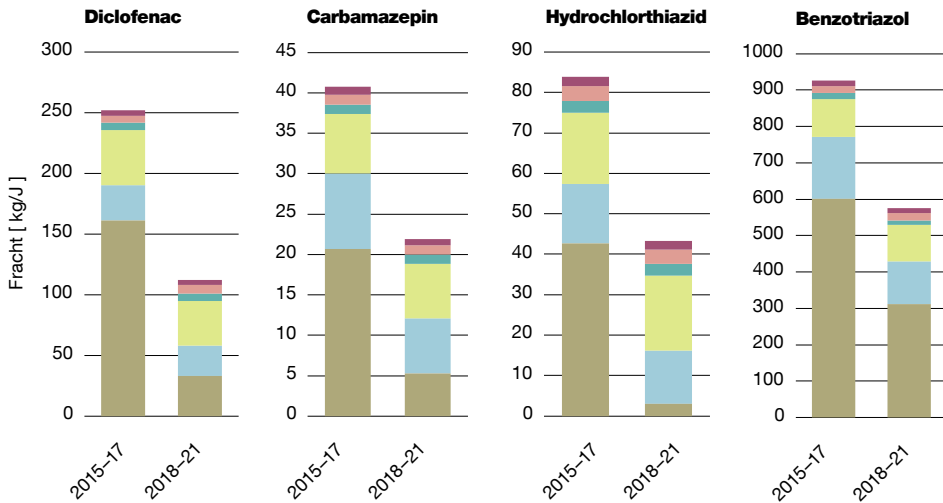


Der Einfluss von Abwasser

An den Hauptmessstellen wurde die Gewässerqualität hauptsächlich durch die drei Arzneimittel Diclofenac, Azithromycin und Clarithromycin geprägt. Weil diese Stoffe vornehmlich über ARA in die Gewässer eingetragen werden, kam es vor allem in Gewässern mit hohem Abwasseranteil zu vielen Überschreitungen ihrer spezifischen Anforderungswerte. Gewässer mit hohem Abwasseranteil sind aber oft auch mit Pestiziden belastet. Auch sie werden aus der Landwirtschaft und aus Siedlungsgebieten über ARA in die Gewässer eingetragen. Zudem handelt es sich bei Gewässern mit hohem Abwasseranteil meist um kleine Fließgewässer. Bei ihnen ist die Wahrscheinlichkeit viel höher, dass Pestizidstöße, die durch Abschwemmungen von landwirtschaftlichen Flächen zustande kommen, zu einer Überschreitung der Anforderungswerte führen.

Frachten von Diclofenac, Carbamazepin, Hydrochlorthiazid und Benzotriazol aus sechs Einzugsgebieten des Kantons

■ Jonen ■ Furtbach ■ Reppisch ■ Töss ■ Glatt ■ Limmat



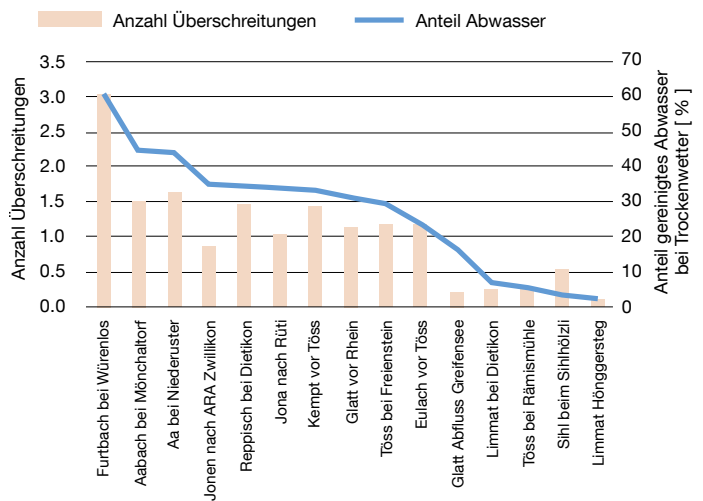
Frachten

Da bei den Hauptmessstellen auch die Abflüsse gemessen werden, kann man mit Hilfe der Konzentrationen, die in den Mischproben gemessen werden, die Frachten in den Gewässern berechnen. Dies ist vor allem für die Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie interessant. Diese Stoffe stammen aus Produkten wie Geschirrspülmitteln, Lebensmitteln, Medikamenten usw., die über das Jahr hinweg in mehr oder weniger gleichbleibenden Mengen verwendet werden. Daher ist auch der Eintrag dieser Mikroverunreinigungen in die Gewässer mehr oder weniger konstant.

Ausgewertet wurden die durchschnittlichen Jahresfrachten aus den sechs wichtigsten Einzugsgebieten des Kantons in den beiden Perioden 2015 bis 2017 und 2018 bis 2021. Beispielfhaft dargestellt werden hier die Frachten der drei Medikamente Diclofenac, Carbamazepin und Hydrochlorthiazid sowie von Benzotriazol, einem Korrosionsschutzmittel, das in Geschirrspülmitteln verwendet wird. Auffällig ist die Abnahme der Frachten dieser vier Verbindungen bei der Hauptmessstelle «Limmat bei Dietikon», deren Einzugsgebiet neben dem Zürichsee das Gebiet der Stadt Zürich sowie das Sihl- und das Limmattal umfasst. Die Abnahme ist auf den Ausbau der ARA Werdhölzli mit einer zusätzlichen Stufe zur Elimination der Mikroverunreinigungen zurückzuführen, die im Jahr 2018 in Betrieb genommen wurde. Insgesamt konnte die Fracht an Mikroverunreinigungen, die den Kanton Zürich verlässt, im Mittel um etwa die Hälfte reduziert werden.

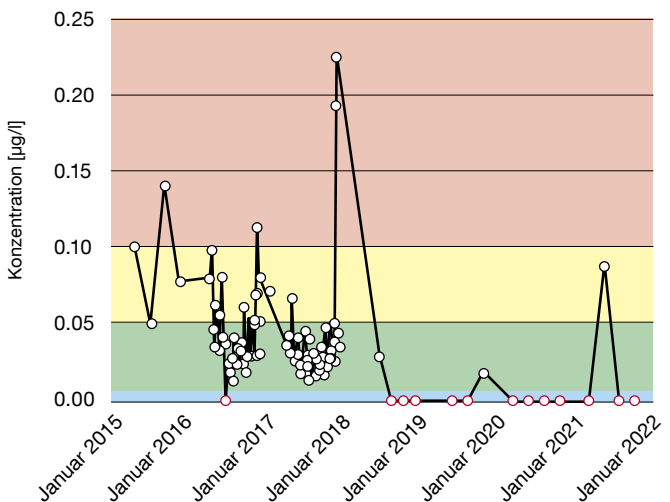
Die tieferen Frachten an der Hauptmessstelle «Limmat bei Dietikon» widerspiegeln sich natürlich auch in den Konzentrationen. Ab dem Jahr 2018 lagen z. B. die Konzentrationen von Diclofenac an dieser Stelle meist unterhalb der für Lebewesen kritischen Grenze von 0.05 µg/l, in zwölf von fünfzehn Proben lagen sie unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0.02 µg/l. Die Qualität des Limmatwassers hat sich also durch den Ausbau der ARA Werdhölzli markant verbessert.

Anzahl Überschreitungen eines Anforderungswerts der GSchV in der durchschnittlichen Quartalsprobe 2015–2021



Gemessene Konzentrationen an Diclofenac in den Proben der Limmat bei Dietikon seit 2015 und Beurteilung der chemischen Wasserqualität

○ Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0.02 µg/L



Mikroverunreinigungen Ganzjährige Untersuchungen an NAWA-Stellen und weiteren ausgewählten Hauptmessstellen

Bei den Pestiziden aus der Landwirtschaft sind es vor allem die Insektizide, die zu einer schlechten Wasserqualität führen. Bestimmt man die Wasserqualität mit Hilfe der mittleren Summen der Risikoquotienten, dann fallen die Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie stärker ins Gewicht als die Pestizide aus der Landwirtschaft. Zudem ist in den letzten Jahren eine Abnahme der Belastung mit Pestiziden aus der Landwirtschaft zu verzeichnen.

Beurteilung gemäss maximaler Summe der Risikoquotienten der Wirkstoffgruppen

Von allen Gewässern, die ganzjährig mittels Zweiwochenmischproben untersucht wurden, zeigte der Furtbach bezüglich aller Gruppen von Mikroverunreinigungen die grösste Belastung. Die hohe Bevölkerungsdichte im Furttal und seine intensive landwirtschaftliche Nutzung hinterlassen ihre Spuren im Wasser. Die hohen Summen der Risikoquotienten für die Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie sind darauf zurückzuführen, dass der Bach das gereinigte Abwasser von drei ARA aufnimmt. Bei Trockenwetter weist der Bach bei der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» einen Abwasseranteil von 60 % auf. Die hohen Summen der Risikoquotienten für die Herbizide und Insektizide sind eine Folge der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft. Ins Gewicht fällt hier die Tatsache, dass im Furttal viel Gemüseanbau betrieben wird, der mit einem grossen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verbunden sein kann.

Am wenigsten belastet von allen Gewässern, die zwischen 2018 und 2021 ganzjährig untersucht wurden, ist die Glatt. Ca. 50 % des Wassers, das bei Rheinsfelden in den Rhein fliesst, stammt aus dem Greifensee und ist relativ gering mit Mikroverunreinigungen belastet. Ein anderer Grund für das gute Abschneiden der Glatt ist, dass bereits zwei ARA im Glattal über eine zusätzliche Reinigungsstufe verfügen, die die Konzentrationen der Mikroverunreinigungen reduziert.

Die Qualität des Wassers von Aabach, Aa, Jonen, Reppisch und Eulach bei ihren jeweiligen Hauptmessstellen ist in einem vergleichbaren Bereich. Die Wasserqualität bezüglich Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie (Med./Bioz.) wurde bei der Eulach als unbefriedigend und bei allen anderen Stellen als schlecht beurteilt. Die Wasserqualität bezüglich Insektiziden wurde bei diesen Stellen durchwegs als schlecht beurteilt. Bei den Herbiziden variiert die Wasserqualität zwischen mässig für die Reppisch und unbefriedigend für alle anderen Stellen. Bezüglich der Fungizide wird die Wasserqualität von Aabach (seit 2019), Aa, Jonen und Reppisch als sehr gut beurteilt, nur von der Eulach ist sie lediglich gut.

Auswertung der Zweiwochenmischproben der NAWA-Stellen sowie zusätzlicher Hauptmessstellen für die Jahre 2018 bis 2021

Jahreshöchstwerte der Summen der Risikoquotienten für die Gruppen der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie (Med., Bioz.), Herbizide, Fungizide und Insektizide.

Furtbach Würenlos

Med./Bioz.	37.0	60.0	26.9	19.0
Herbizide	30.0	19.0	21.0	14.0
Fungizide	0.6	1.1	0.7	0.7
Insektizide	31.0	520.0	392.0	48.0

Aabach Mönchaltorf

Med./Bioz.	35.0	16.0	17.0	7.3
Herbizide	2.2	3.3	2.1	3.3
Fungizide	0.7	0.1	0.0	0.0
Insektizide	27.0	19.0	15.0	1.8

Glatt Rheinsfelden

Med./Bioz.	10.0	5.8	8.2	7.3
Herbizide	2.3	0.4	0.3	1.0
Fungizide	0.1	0.0	0.0	0.1
Insektizide	4.2	6.4	6.5	5.2

Aa Niederuster

Med./Bioz.	13.0
Herbizide	5.2
Fungizide	0.0
Insektizide	22.0

Jonen nach ARA Zwillikon

Med./Bioz.	21.0
Herbizide	6.3
Fungizide	0.1
Insektizide	14.0

Reppisch bei Dietikon

Med./Bioz.	16.0
Herbizide	1.4
Fungizide	0.1
Insektizide	14.0

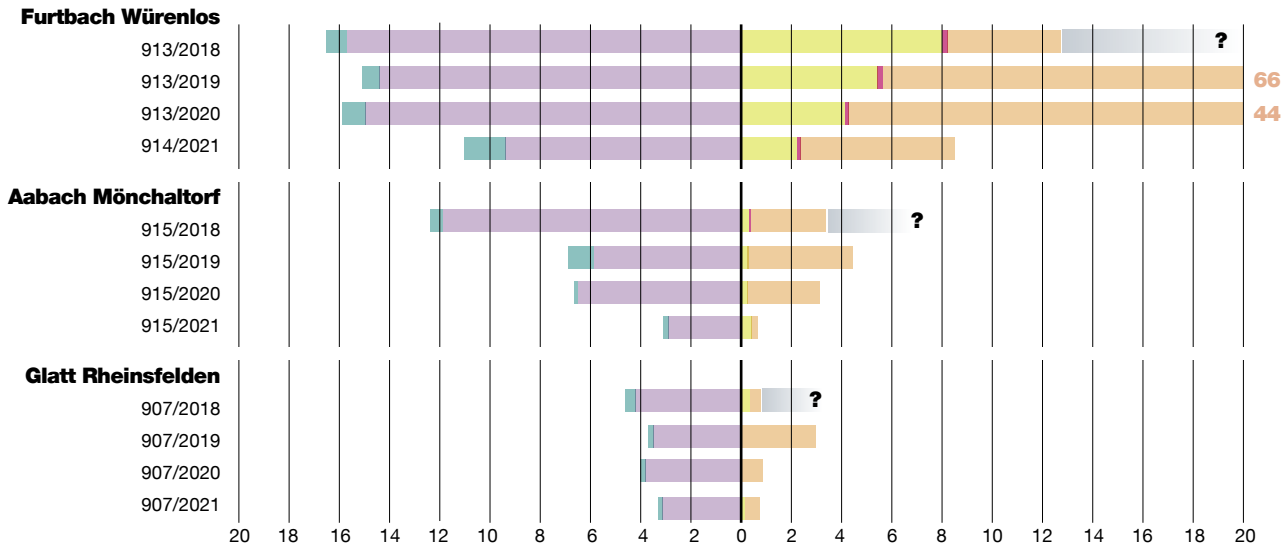
Eulach vor Töss

Med./Bioz.	2.8
Herbizide	3.0
Fungizide	0.7
Insektizide	11.0

Auswertung der einzelnen Zweiwochenmischproben siehe Anhang Tabelle A5.

Mittlere Summe der Risikoquotienten nach Wirkstoffgruppen

■ Biozide
 ■ Arzneimittel und weitere
 ■ Herbizide
 ■ Fungizide
 ■ Insektizide
■ ? Einführung Spezialanalytik für Pyrethroide und Organophosphate (wegen hohen Bestimmungsgrenzen RQ unterschätzt)



Entwicklung der durchschnittlichen Summe der Risikoquotienten nach Wirkstoffgruppen

Für die Hauptmessstellen «Furtbach bei Würenlos», «Glatt vor Rhein» und «Aabach bei Mönchaltorf» wurden die mittleren Summen der Risikoquotienten bezüglich der vier Wirkstoffgruppen benutzt, um zu zeigen, wie sich die Wasserqualität in den Jahren 2018 bis 2021 entwickelt hat. Das Fragezeichen beim Balken, der die mittlere Summe der CRQ der Insektizide im Jahr 2018 repräsentiert, bedeutet, dass zu diesem Zeitpunkt die Pyrethroide analytisch erst teilweise erfasst werden konnten. Da diese Gruppe von Verbindungen sehr giftig für die Lebewesen im Wasser ist, wurde die Belastung der Gewässer für das Jahr 2018 somit unterschätzt.

Einzugsgebiet des Aabachs befinden, mit einer Pulveraktivkohlestufe aufgerüstet, die im Juni 2019 bzw. im November 2020 in Betrieb genommen wurden. Bei der Glatt sieht man keine Reduktion der Belastung, da der Ausbau der ARA von Dübendorf und Bassersdorf vor 2018 stattgefunden hat.

Die Herbizidbelastung nimmt ab

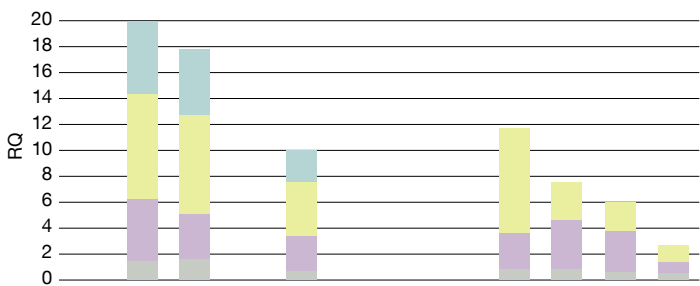
Wie bereits vorangehend gezeigt, hat die Belastung mit Pestiziden aus der Landwirtschaft im Laufe der Zeit tendenziell abgenommen. Diese erfreuliche Tatsache dürfte im Wesentlichen auf die Einführung der Massnahmen zurückzuführen sein, die mit dem Aktionsplan Pflanzenschutzmittel vorgeschlagen wurden.

Auch mit dieser Auswertungsmethode zeigt sich, dass der Furtbach wesentlich stärker mit Mikroverunreinigungen belastet ist als der Aabach und die Glatt. Weiter bestätigte sich, dass bei den Pestiziden, die in der Landwirtschaft verwendet werden, die Insektizide die Wirkungen von Herbiziden und Fungiziden bei weitem übertrafen, und dass in Glatt und Aabach die Belastung durch Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie grösser ist als die Belastung durch die Pestizide. Bei den Resultaten für den Aabach fällt zudem auf, dass die Belastung mit Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie nach dem Jahr 2018 auf rund die Hälfte abnahm. Im Zürcher Oberland wurden die ARA Wetzikon und ARA Esslingen (Egg-Oetwil), die sich im

Bei den Herbiziden sind es vor allem Metazachlor, Propyzamid und Propachlor, die tiefe CQK haben und somit zu einer schlechten Wasserqualität führten. Einen grossen Einfluss auf die Wasserqualität hatte das Verbot von Propachlor. Der Verkauf dieses Wirkstoffs wurde im Jahr 2012 eingestellt und die Aufbrauchfrist lief im Mai 2013 ab. Das Verbot von Propachlor führte dazu, dass ab dem Jahr 2013 die Belastung mit Herbiziden an vielen Stellen zurückging. Die Verkaufsmengen von Metazachlor und Propyzamid hingegen blieben in den letzten acht Jahren mehr oder weniger konstant (siehe Abb. A1 im Anhang).

Mittlere Summe der Risikoquotienten (März bis Oktober) im Furtbach

■ Metazachlor
 ■ Propyzamid
 ■ Propachlor
 ■ übrige Herbizide



*2012: Daten NAWA-Spez (März bis Juli)

Betrachtet man die Resultate des Furtbachs, dann stellt man in den letzten vier Jahren eine kontinuierliche Abnahme der Belastung mit Herbiziden fest. Als Kriterium für die Wasserqualität wurde die mittlere Summe der Risikoquotienten verwendet; ausgewertet wurden die Proben, die jeweils zwischen März und Oktober erhoben wurden. Die Abnahme der Herbizidbelastung ist vor allem auf einen Rückgang der Konzentrationen von Propyzamid zurückzuführen: Die durchschnittliche Belastung durch Propyzamid konnte im Jahr 2021 auf einen Sechstel der Belastung von 2018 gesenkt werden. Trotz des Rückgangs der Konzentrationen von Propyzamid ist der Furtbach aber noch immer viel stärker mit Herbiziden belastet als die Glatt oder der Aabach (vgl. Abb. A2 und A3). Vor allem der Vergleich mit dem Aabach ist interessant, weil dieser ein ähnlich grosses Einzugsgebiet wie der Furtbach hat. Der für das Furttal typische Anbau von Gemüse hinterlässt aber nach wie vor eine Herbizidbelastung, die deutlich höher ist als die Belastung im Einzugsgebiet des Aabachs, das durch Ackerbau geprägt ist.

Mikroverunreinigungen

Untersuchung kleiner Fließgewässer mit mobilen Mischprobensammlern

Auch Fließgewässer, die kein gereinigtes Abwasser mit sich führen, können durch Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie belastet sein. Für die Belastung mit Pestiziden aus der Landwirtschaft sind rund ein Dutzend Verbindungen verantwortlich.

Einzugsgebiet Glatt und Greifensee 2018 sowie Hofibach 2019

Im Jahr 2018 wurden die Mischprobensammler im Rahmen eines Pilotprojekts an fünf Stellen im Einzugsgebiet von Glatt und Greifensee platziert. 2019 wurde zudem der Hofibach vor Hedingen untersucht. Die Einzugsgebiete der Messstellen weisen unterschiedlich hohe Anteile an Landwirtschafts- und Siedlungsflächen auf. Keines der Fließgewässer führt bei seiner Messstelle gereinigtes Abwasser mit sich.

Pestizide aus der Landwirtschaft

Vergleicht man die sechs Fließgewässer bezüglich der Pestizide aus der Landwirtschaft, fällt das sehr gute Abschneiden des Leutschenbachs auf. Dieser Bach wird durch Siedlungsgebiet geprägt und weist im Einzugsgebiet nur wenig landwirtschaftlich genutzte Flächen auf. In den anderen Bächen lagen die maximalen Konzentrationen von sieben Pestiziden oberhalb ihres jeweiligen CQK. Dabei handelte es sich um die vier Insektizide Chlorpyrifos, Imidacloprid, λ-Cyhalothrin und Thiamethoxam sowie die drei Herbizide Nicosulfuron, Metazachlor und Propyzamid.

Bezüglich der Herbizide wiesen zwei Bäche eine ungenügende Wasserqualität auf, nämlich der Aabach und der Katzenbach. Hauptsächlich verantwortlich dafür waren Nicosulfuron, Metazachlor, Metolachlor und Terbutylazin. Bezüglich Insektizide wurden der Aabach und der Katzenbach als ungenügend und der Chimlibach als schlecht beurteilt. Vor allem Imidacloprid, Thiamethoxam, Chlorpyrifos und λ-Cyhalothrin belasteten das Wasser dieser Stellen. Die Fungizide werden von den Pestiziden als am wenigsten problematisch beurteilt. In allen untersuchten Fließgewässern war die Wasserqualität bezüglich dieser Stoffgruppe sehr gut bis gut.

Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie

Bei den Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie konnten sechs Verbindungen in allen untersuchten Bächen nachgewiesen werden, obwohl keiner von ihnen bei seiner Messstelle gereinigtes Abwasser mit sich führt. Bei den sechs Verbindungen handelte es sich um die beiden Korrosionsinhibitoren Benzotriazol und Methylbenzotriazol, die beiden künstlichen Süsstoffe Acesulfam und Cyclamat sowie das Medikament Metformin und den Insektenrepellent DEET. Allgemein zeigte sich, dass mit steigendem Anteil Siedlungsfläche in einem Einzugsgebiet auch die Anzahl Nachweise der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie grösser wird.

Diuron und Diclofenac waren die einzigen Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie, die in Konzentrationen oberhalb ihres CQK auftraten. Im Chimlibach führten die Konzentrationen von Diuron, Benzotriazol und Mecoprop zu einer unbefriedigenden Wasserqualität. Die Wasserqualität des

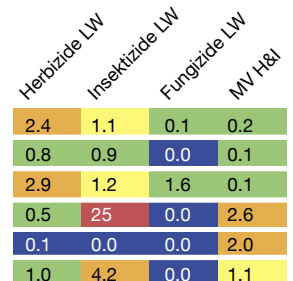
Leutschenbachs war ebenfalls unbefriedigend. Verantwortlich dafür war vor allem Diclofenac. Dieser Stoff hat auch im Hofibach zu einer mässigen Wasserqualität geführt. Die anderen drei Bäche konnten als gut beurteilt werden.

Beurteilung der Wasserqualität anhand der maximalen Summe der CRQ bei den Messstellen 2018 und im Hofibach 2019

(in Klammern: Abwasseranteil [%]; Anteil Siedlungsfläche [%])

Messstelle

Aabach vor Grossauerbach (0; 14)	2.4	1.1	0.1	0.2
Riedikerbach (0; 14)	0.8	0.9	0.0	0.1
Katzenbach (0; 38)	2.9	1.2	1.6	0.1
Chimlibach (0; 45)	0.5	25	0.0	2.6
Leutschenbach (0; 71)	0.1	0.0	0.0	2.0
Hofibach vor Hedigen (0; 6)	1.0	4.2	0.0	1.1



Auswertung der einzelnen Zweiwochenmischproben siehe Anhang Tabelle A6.

Furttal 2019

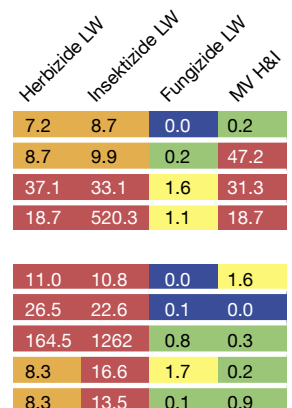
Um die Herkunft der Mikroverunreinigungen im Furttal auf Teilgebiete einzugrenzen und in Bezug zu ihrer landwirtschaftlichen Nutzung zu setzen, wurde im Jahr 2019 eine Messkampagne durchgeführt, bei der drei Stellen des Furtbachs sowie fünf seiner wichtigsten Seitenbäche mit mobilen Mischprobensammlern beprobt wurden. Zwischen Anfang April und Mitte Oktober wurden je vierzehn zeitproportionale Zweiwochenmischproben gesammelt und auf Pestizide und Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie hin analysiert. In die Auswertung miteinbezogen wurden die Resultate der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos».

Wasserqualität anhand der maximalen Summe der CRQ an den Messstellen 2019

(in Klammern: Abwasseranteil [%]; Anteil Siedlungsfläche [%])

Messstelle

Furtbach vor Trockenloo-Kanal (0; 29)	7.2	8.7	0.0	0.2
Furtbach nach ARA Regensdorf (74; 29)	8.7	9.9	0.2	47.2
Furtbach nach ARA Buchs (66; 27)	37.1	33.1	1.6	31.3
Furtbach bei Würenlos (61; 21)	18.7	520.3	1.1	18.7
Breitwieskanal vor Furtbach (0; 36)	11.0	10.8	0.0	1.6
Mülibach vor Furtbach (0; 33)	26.5	22.6	0.1	0.0
Bännegraben vor Furtbach (0; 6)	164.5	1262	0.8	0.3
Oberwiesenbach vor Furtbach (0; 7)	8.3	16.6	1.7	0.2
Harberenbach vor Furtbach (0; 28)	8.3	13.5	0.1	0.9

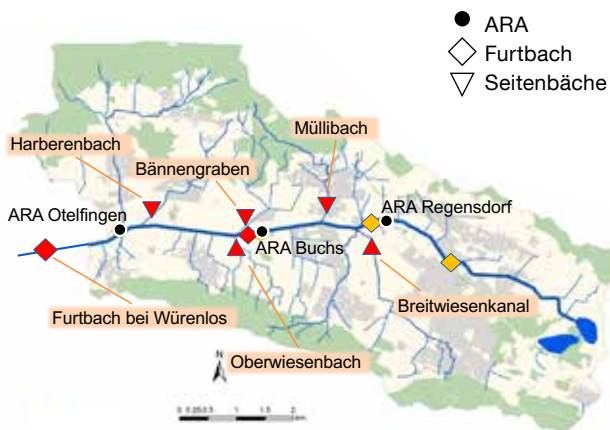


Auswertung der einzelnen Zweiwochenmischproben siehe Anhang Tabelle A7.

Insektizide

Bei den Insektiziden führten vor allem Chlorpyrifos-methyl (Furtbach bei Würenlos), Cypermethrin (Müllibach, Bännengraben, Oberwiesenbach), λ-Cyhalothrin (Furtbach nach ARA Buchs, Breitwiesenkanal, Bännengraben, Harberenbach) zu den hohen Summen der CRQ.

Die Seitenbäche des Furtbachs wiesen die höchsten Summen der CRQ der Insektizide auf. Vor allem der Bännengraben wartete mit Summen von über 1000 auf; die maximale Summe der CRQ der Insektizide wurde zu etwa gleichen Teilen durch Cypermethrin und λ-Cyhalothrin verursacht.



Herbizide

Wie bei den Insektiziden sticht auch bei den Herbiziden der Bännengraben als besonders belastet hervor. Die Belastung wurde vor allem durch Metazachlor verursacht. Der gleiche Wirkstoff war auch dafür verantwortlich, dass die Summe der CRQ bei den Messstellen nach ARA Buchs und bei Würenlos grösser als 10 war. Da im Breitwiesenkanal und im Müllibach, die beide vor der ARA Buchs in den Furtbach münden, kaum Metazachlor gefunden wurde, muss vermutet werden, dass Metazachlor mit dem gereinigten Abwasser der ARA Buchs in den Furtbach eingetragen wurde. Propyzamid wurde nach der ARA Buchs ebenfalls in einer Konzentration gemessen, die zu einem CRQ von mehr als 10 führte. Im Breitwiesenkanal und im Müllibach waren MCPA bzw. Metazachlor und Terbutylazin für die schlechte Wasserqualität bezüglich Herbiziden verantwortlich.

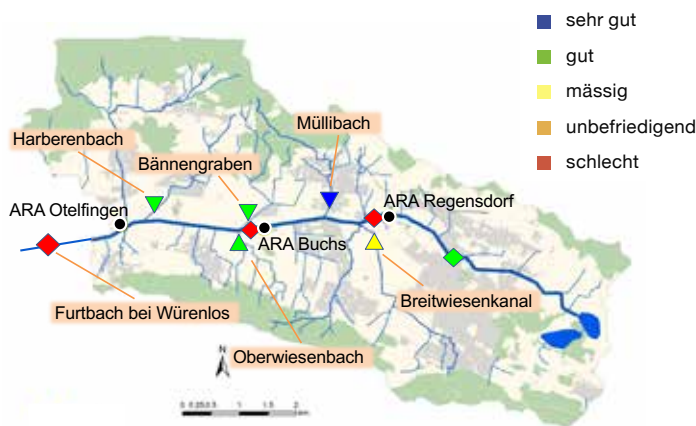


Fungizide

Die Belastung mit Fungiziden ist nicht so gross wie mit Insektiziden oder Herbiziden. Die beiden Verbindungen mit Überschreitungen der jeweiligen CQK waren Azoxystrobin und Fludioxonil.

Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie

Im Furtbach war die Wasserqualität bezüglich der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie nur an der obersten Stelle – vor dem Trockenloo-Kanal – gut, an den anderen Stellen, die alle weiter flussabwärts liegen, schlecht. Grund dafür ist, dass der Furtbach vor dem Trockenloo-Kanal noch kein gereinigtes Abwasser mit sich führt, während die anderen Stellen alle unterhalb einer ARA liegen. Bei den drei Stellen nach ARA haben Diclofenac zu rund 75 %, Azithromycin zu 20 % und Clarithromycin zu 5 % Prozent zu der maximalen Summe der CRQ beigetragen. Dass die maximale Summe der CRQ in den Proben des Furtbachs mit sinkendem Abwasseranteil abnimmt, ist im Einklang mit der Hypothese, dass pro Einwohner und Tag etwa die gleiche Menge an Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie ins gereinigte Abwasser gelangen. Die Wasserqualität der Seitenbäche des Furtbachs variiert in Bezug auf die Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie von sehr gut im Müllibach bis zu mässig im Breitwiesenkanal. Da die Seitenbäche kein gereinigtes Abwasser mit sich führen, ist ihre Belastung vermutlich auf Entlastungen aus der Kanalisation zurückzuführen.



Zürcher Weinland 2021

Um zu überprüfen, ob ARA ein relevanter Eintragspfad für Pflanzenschutzmittel sind, die in der Landwirtschaft Verwendung finden, wurden im Jahr 2021 im Zürcher Weinland der Niederwiesenbach und der Müllibach untersucht, und zwar vor und nach Einlauf der ARA Marthalen bzw. ARA Stammheim. Die Resultate zeigen deutlich, dass wesentliche Mengen an Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln über ARA in die Gewässer eingetragen werden können. Die hohe Belastung durch Insektizide im Niederwiesenbach nach der ARA Marthalen ist auf den Eintrag von Thiacloprid zurückzuführen. Beim Müllibach ist für den Anstieg der Belastung nach der ARA Stammheim bei den Herbiziden Metribuzin und bei den Insektiziden Cypermethrin und Chlorpyrifos-methyl verantwortlich. Die Befunde deuten darauf hin, dass Waschplätze für Feldspritzen an der Misch- oder Schmutzwasserkanalisation angeschlossen sind oder Wirkstoffe bei der Zubereitung der Spritzbrühen in die Kanalisation gelangen. Der Überprüfung und Sanierung von Waschplätzen für die Reinigung der Feldspritzen ist somit hohe Priorität einzuräumen.

Untersuchte Stellen 2021 im Zürcher Weinland vor und nach ARA

(in Klammern: Abwasseranteil [%]; Anteil Siedlungsfläche [%])

Messstelle

Messstelle	Herbizide LW	Insektizide LW	Fungizide LW	MV H&I
Niederwiesenbach vor ARA Marthalen (0; 11)	3.5	0.9	0.1	0.0
Niederwiesenbach nach ARA Marthalen (29; 11)	3.3	1.7	0.4	6.4
Ellikerbach (0; 14)	12	23	0.1	0.0
Müllibach vor ARA Stammheim (0; 8)	1.8	0.0	0.0	0.0
Müllibach nach ARA Stammheim (16; 9)	4.8	13	0.1	3.5
Müllibach bei Furtmüli (10; 10)	4.5	14	0.1	2.9

Auswertung der einzelnen Zweiwochenmischproben siehe Anhang Tabelle A8.

Zusammenfassung: Messkampagnen kleine Fließgewässer (20 Stellen; 264 Proben)

Cypermethrin, λ -Cyhalothrin, Metazachlor und Propyzamid sind die vier Verbindungen, die verbreitet und wiederholt in Konzentrationen oberhalb ihres jeweiligen CQK gefunden wurden.

Parameter	Wirkstoffgruppe	CQK [$\mu\text{g/l}$]	CRQ >1 Anz. Proben	CRQ >1 Anz. Stellen	CRQ max	Höchstwert [$\mu\text{g/l}$]	Bem.
Pflanzenschutzmittel							
Cypermethrin	Insektizid	0.00003	15	6	677.8	0.0203	
Lambda-Cyhalothrin	Insektizid	0.000022	25	9	582.9	0.0128	R
Metazachlor	Herbizid	0.02	60	10	163.0	3.26	
Metolachlor	Herbizid	0.69	4	1	14.7	10.14	
Terbuthylazin	Herbizid	0.22	4	1	11.8	2.59	
Propyzamid	Herbizid	0.063	28	9	11.3	0.71	
MCPA	Herbizid	0.66	2	2	11.0	7.24	
Thiamethoxam	Insektizid	0.042	9	2	9.6	0.404	
Bifenthrin	Insektizid	0.000019	14	4	8.2	0.00016	R
Pirimicarb	Insektizid	0.09	3	2	6.6	0.596	R
Chlorpyrifos	Insektizid	0.00046	10	4	6.4	0.003	!
Isoproturon	Herbizid	0.64	2	2	5.1	3.28	! R
Chlorpyrifos-methyl	Insektizid	0.001	5	3	5.0	0.005	!
Metribuzin	Herbizid	0.058	6	4	4.8	0.278	R
Foramsulfuron	Herbizid	0.017	3	2	4.5	0.076	
Dimethenamid	Herbizid	0.26	3	2	4.2	1.08	
Imidacloprid	Insektizid	0.013	6	2	3.7	0.048	
Nicosulfuron	Herbizid	0.0087	7	6	3.2	0.027	R
Mesosulfuron-methyl	Herbizid	0.027	1	1	2.2	0.059	

mit stoffspezifischer Anforderung GSchV

R Wirkstoff mit besonderem Risikopotential

! In der Zwischenzeit nicht mehr als Wirkstoff in PSM zugelassen



Welches sind die problematischen Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln?

Die Resultate der Kampagnen in den Jahren 2018, 2019 und 2021, in denen kleine Fließgewässer mit den mobilen Mischprobensammlern untersucht wurden, geben einen guten Überblick darüber, welche Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln die problematischsten sind. In den drei Jahren setzte man die Geräte an zwanzig Stellen ein, wobei insgesamt 264 Proben geschöpft wurden.

Neunzehn Wirkstoffe wurden mindestens einmal in einer Konzentration gefunden, die das Doppelte ihres jeweiligen CQK überschritt, sieben davon in einer Konzentration, die mehr als den zehnfachen Wert betrug. Bei Letzteren handelte es sich um Cypermethrin und λ -Cyhalothrin sowie Metazachlor, Metolachlor, Terbuthylazin, Propyzamid und MCPA. Die maximalen Konzentrationen der ersten drei Verbindungen überschritten sogar das Hundertfache ihres CQK. An mehr als an fünf Stellen wurden fünf der neunzehn Wirkstoffe in einer Konzentration oberhalb ihres CQK gefunden: Cypermethrin und λ -Cyhalothrin, Metazachlor, Propyzamid und Nicosulfuron. In zehn Proben und mehr in einer Konzentration oberhalb ihres CQK gemessen wurden sechs der neunzehn Wirkstoffe: Cypermethrin und λ -Cyhalothrin, Metazachlor, Propyzamid, Bifenthrin und Chlorpyrifos.

Cypermethrin, λ -Cyhalothrin, Metazachlor und Propyzamid: das sind die vier Verbindungen, die in allen drei Aufzählungen vorkommen. Sie traten in Konzentrationen auf, die mehr als das Doppelte ihres CQK betragen, und wurden an mehr als an fünf Stellen sowie in mehr als in zehn Proben in einer Konzentration oberhalb ihres CQK gefunden.

λ -Cyhalothrin ist als einzige dieser vier Verbindungen in Anhang 9.1 des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel aufgeführt. Die Wirkstoffe in diesem Anhang sind Verbindungen mit unerwünschten Eigenschaften für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Alle Pflanzenschutzmittel, die einen solchen Wirkstoff enthalten, gelten als «Pflanzenschutzmittel mit besonderem Risikopotential». Falls Alternativen zu solchen Pflanzenschutzmitteln vorhanden sind, sollen sie verwendet werden.

Grösste Vorsicht beim Umgang mit hochwirksamen Insektiziden!

Pyrethroide sind hochwirksame synthetische Insektizide. Gelangen sie ins Wasser, können Insektenlarven und Bachflohkrebse bereits durch kleinste Mengen geschädigt werden.



Grosse Vorsicht – nicht nur beim Einsatz auf dem Feld

Pyrethroide finden im Pflanzen- und Materialschutz sowie in der Tiermedizin Anwendung. Pyrethroidhaltige Pflanzenschutzmittel werden in der Landwirtschaft und im Gartenbau verwendet, sind aber auch für nichtberufliche Verwender für den Einsatz im Hausgarten erhältlich. Im Materialschutz werden Biozidprodukte, die Pyrethroide enthalten, z. B. zum Schutz von geschlagenem Rundholz im Wald oder zur Bekämpfung von Spinnen auf Hausfassaden eingesetzt. In der Tiermedizin schliesslich dienen Pyrethroide dazu, Haus- und Nutztiere vor stechenden und bissenden Insekten zu schützen. Die synthetisch hergestellten Pyrethroide sind strukturell den Hauptwirkstoffen des natürlichen Insektizids Pyrethrum ähnlich.

Schon kleinste Mengen dieser Wirkstoffe können in der Umwelt zu Problemen führen: Konzentrationen von wenigen Nanogramm (ein Milliardstel Gramm) pro Liter genügen, um ein Krebs- oder Fischsterben auszulösen. Negative Langzeiteffekte können für einzelne Pyrethroide sogar bereits ab einer Konzentration von 0.02 ng/l auftreten. Dies entspricht bei kleinen Gewässern einer Menge von etwa einem Milligramm, die über eine Zeitdauer von zwei Wochen ins Gewässer gelangt. Ein Milligramm ist rund 3000-mal weniger, als ein einzelner Würfelzucker wiegt.

Pyrethroide sind nicht besonders gut wasserlöslich und bauen sich in der Umwelt relativ rasch ab. Im Vergleich zu den mobileren und persistenten Herbiziden sind deshalb geringere Einträge über Abschwemmung oder Drainagen zu erwarten. Trotzdem werden im Rahmen des Gewässermonitorings regelmässig Überschreitungen der ökotoxikologischen Qualitätskriterien festgestellt. Dies ist einerseits darin begründet, dass aufgrund der ausserordentlich hohen Toxizität schon sehr kleine Mengen ausreichen, um Überschreitungen der Qualitätskriterien im Gewässer zu verursachen. Andererseits gibt es eindeutige Hinweise, dass ein erheblicher Anteil der Einträge in die Gewässer nicht über die Anwendung auf dem Feld und die damit verknüpften diffusen Eintragspfade erfolgt, sondern über abgeleitetes Abwasser, das von Wasch- und Befüllplätzen landwirtschaftlicher Betriebe stammt. Dieses Abwasser gelangt über die ARA, wo die Wirkstoffe nur ungenügend eliminiert werden, in die Gewässer. Bei Fehlanschlüssen oder Havarien kann es auch vorkommen, dass das Abwasser direkt ins Gewässer eingeleitet wird.

Welche Bedeutung hat der Eintrag über die ARA?

Um kleine Fliessgewässer mittels Mischproben untersuchen zu können, werden seit 2018 mobile Sampler eingesetzt. Am Furtbach wurde bei den Untersuchungen 2019 eine erhebliche Zunahme von Pyrethroiden durch die Einleitung von gereinigtem Abwasser gefunden. So stieg z. B. unterhalb der ARA Buchs die Belastung mit λ -Cyhalothrin, einem besonders toxischen Pyrethroid, stark an. Es wurde zwar auch vereinzelt in den verschiedenen Seitenbächen und regelmässig im Bännergaben nachgewiesen, in welche es über diffuse Eintragspfade gelangte. In dem kleinen Einzugsgebiet zwischen der ARA Regensdorf und der ARA Buchs müsste aber ein sehr grosser diffuser Eintrag stattgefunden haben, um den Anstieg nach der ARA Buchs zu erklären. Viel plausibler ist, dass es mit dem gereinigten Abwasser aus der ARA in den Furtbach eingetragen wurde.

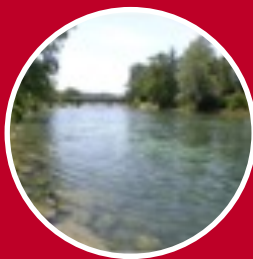
Untersuchungen von Sedimentproben erhärten die These eines Eintrags über die ARA Buchs. So wurde nach der ARA Buchs eine rund 100-mal höhere Konzentration von λ -Cyhalothrin im Sediment festgestellt als vor der ARA.

λ -Cyhalothrin dürfte somit mit grosser Wahrscheinlichkeit über die ARA ins Gewässer gelangt sein. λ -Cyhalothrin wird im Gegensatz zu anderen Pyrethroiden in der Schweiz nur vereinzelt als Wirkstoff in Biozidprodukten eingesetzt und hat keine aktuelle Zulassung als Tierarzneimittel. Es muss daher höchstwahrscheinlich aus der Anwendung als Pflanzenschutzmittel stammen.

Fatale Auswirkungen auf die Gewässerbiologie

Bachflohkrebse sollten in unseren Gewässern über das ganze Jahr zahlreich vorkommen. Eine Ausnahme ist der sehr schlickige Abfluss des Katzensesee, wo der Furtbach beginnt. Für Bachflohkrebse als Lebensraum ist dieser Abschnitt nur mässig geeignet. Im weiteren Verlauf des Furtbachs und in allen Seitenbächen mit kiesiger Gewässersohle und reichem Pflanzenbewuchs sollten aber sehr dichte Bestände vorhanden sein. In den Untersuchungen 2019 wurden jedoch, wie bereits in früheren Jahren, nur stark reduzierte Bestände vorgefunden. Nur oberhalb der ARA Regensdorf und im Dorfbach Otelfingen, dem sauberes Wasser von der Lägern zufließt, wurde ein guter Bestand nachgewiesen. In den übrigen Gewässerabschnitten war der Bestand verarmt. Damit fehlt den Fischen eine wichtige Futterbasis.

Wieviel Wirkstoff wird in unterschiedlichen Gewässern zur Überschreitung der ökotoxikologischen Kriterien benötigt?

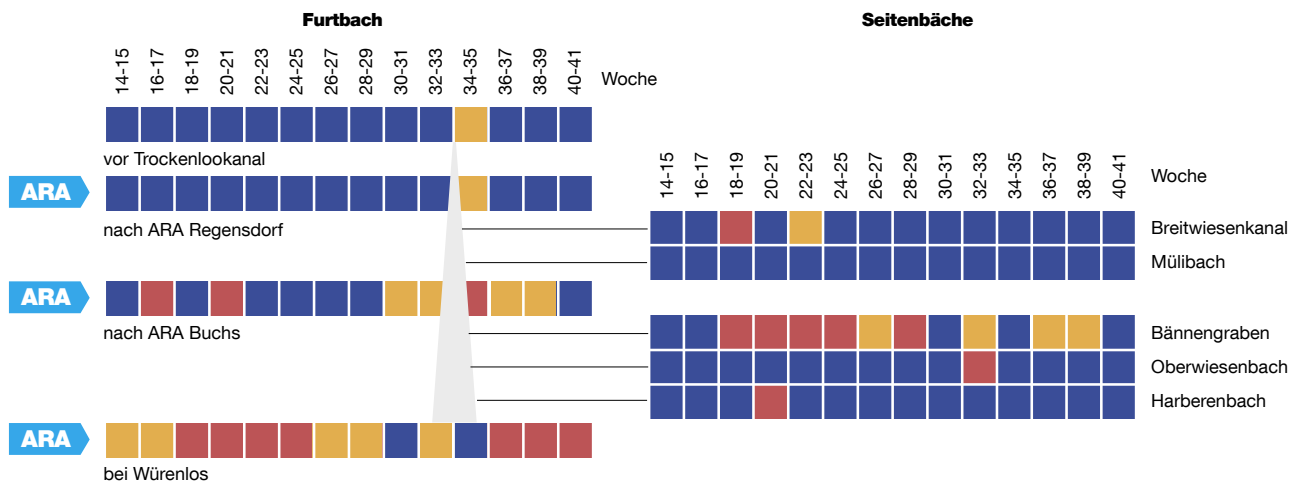


Wirkstoff	CQK	Limmat Dietikon Abfluss 98.1 m³/s	Furtbach Würenlos Abfluss 658 l/s	Bännergriaben Abfluss 32 l/s
Glyphosat	120 µg/l	14.2 t	95.5 kg	4.6 kg
Chlorpyrifos	0.46 ng/l	54.6 g	370 mg	18 mg
λ-Cyhalothrin	0.02 ng/l	2.4 g	16 mg	0.8 mg



Beurteilung der Belastung durch λ-Cyhalothrin im Furtbach und Seitenbächen

Dargestellt sind die Beurteilungen für die Zweiwochenmischproben von Woche 14 bis 41 des Jahres 2019



Qualität

- sehr gut CRQ < 0.1
- gut 0.1 ≤ CRQ < 1
- mässig 1 ≤ CRQ < 2
- unbefriedigend 2 ≤ CRQ < 10
- schlecht 10 ≤ CRQ

CRQ = chronischer Risikoquotient



λ-Cyhalothrin dürfte mit grosser Wahrscheinlichkeit auch über die ARA ins Gewässer gelangt sein.

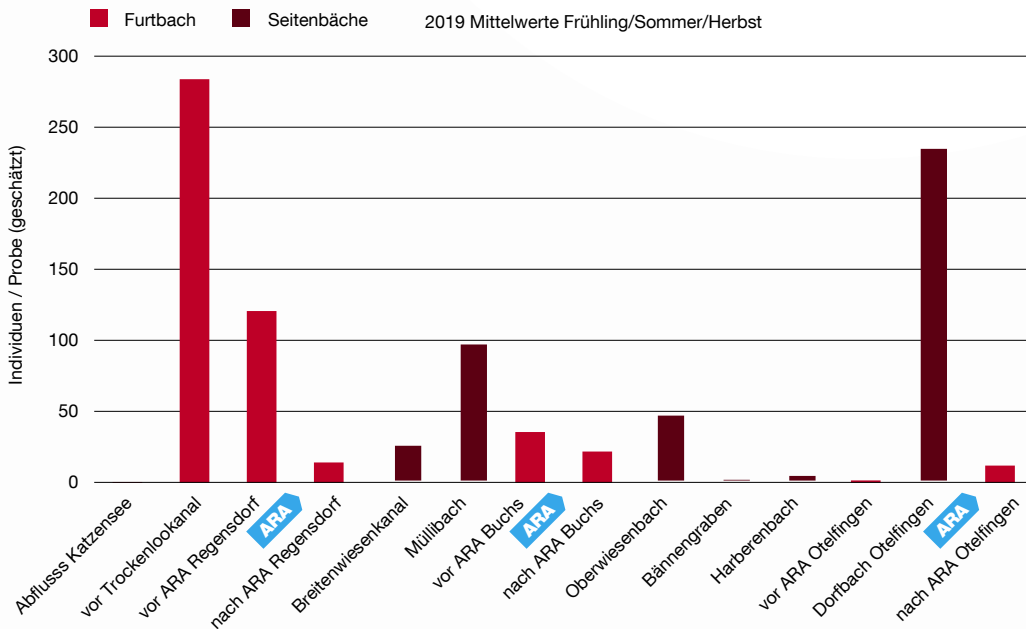
Fokus

PSM-Eintrag über ARA

**λ-Cyhalothrin
in Sedimenten**



Vorkommen der Bachflohkrebse im Furttal und Seitenbächen



Bedeutender Eintrag über Platzentwässerungen

Als Punktquellen für Pflanzenschutzmittel wurden Platzentwässerungen identifiziert, die über die Mischwasserkanalisation und dann über die ARA oder über Regenabwasserkanäle ins Gewässer eingeleitet werden. Das Reinigen der Spritzgeräte auf Flächen, die an die Kanalisation angeschlossen sind, kann zu bedeutenden Einträgen in die Gewässer führen, weil die Wirkstoffe auf der ARA nur ungenügend abgebaut werden. Auch das Verschütten kleiner Mengen von Wirkstoffen beim Abmessen und Befüllen der Spritze kann grosse Auswirkungen haben. Nur schon das Auswaschen des Messbechers im Lavabo kann aufgrund der extrem hohen Toxizität der Pyrethroide zu kritischen Belastungen führen.

Auch die Messkampagnen am Mülibach im Stammertal und am Niederwiesenbach bei Marthalen im Jahr 2021 weisen auf einen bedeutenden Eintrag von λ -Cyhalothrin über Pflanzenschutzmittel hin, die in der Landwirtschaft verwendet werden und über die ARA in die Gewässer gelangen. Die Erkenntnisse aus der Umweltbeobachtung werden zusätzlich gestützt durch Resultate aus verschiedenen Ressourcenprojekten in den Kantonen Thurgau, Bern und Baselland.

Zentrale Bedeutung der Waschplätze

Mit fachgerechten Befüll- und Waschplätzen können Einträge über die Siedlungsentwässerung und die ARA verhindert werden. Aus diesen Gründen wurde die Überprüfung der Befüll- und Waschplätze in die Kontrollen für den ökologischen Leistungsnachweis aufgenommen. Die Entrichtung von Direktzahlungen setzt voraus, dass der Beitragsbezüger die Anforderungen des ÖLN auf dem gesamten Betrieb erfüllt. Das Waschwasser, das ebenfalls mit Pflanzenschutzmitteln belastet ist, muss fachgerecht entsorgt werden. Wenn das Waschwasser in die Güllegrube geleitet wird, kann es direkt mit der Gülle auf die Felder ausgebracht werden. Für den Fall, dass keine aktive Güllegrube auf dem Hof vorhanden ist, muss das Wasser entweder mit einem Schleppschlauch auf dem Feld ausgebracht oder aber über ein geeignetes System verdunstet werden. Für das Erstellen von Befüll- und Waschplätzen können Subventionen bezogen werden, wobei maximal die Hälfte der Kosten angerechnet werden kann.



Befüll- und Waschplatz beim Strickhof in Lindau

Mit fachgerechten Befüll- und Waschplätzen können Einträge über die Siedlungsentwässerung und die ARA verhindert werden.

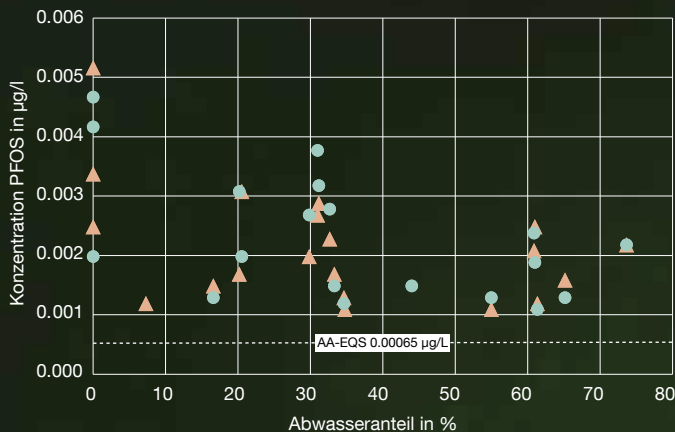
Spezialmesskampagne Fließgewässer Per- und polyfluorierte Stoffe – langlebig und giftig?

Per- und polyfluorierte Stoffe werden in der Umwelt kaum abgebaut. Bei einzelnen Vertretern dieser Substanzgruppe, wie der Trifluoressigsäure (TFA), wurde in den letzten Jahren ein Anstieg der Umweltkonzentrationen beobachtet. Im Fall von TFA ist dieser höchstwahrscheinlich auf den vermehrten Gebrauch von halogenierten und teilfluorierten Kälte- und Treibmitteln zurückzuführen.

Konzentration von PFOS und der Summe der PFAS in Abhängigkeit des Abwasseranteils

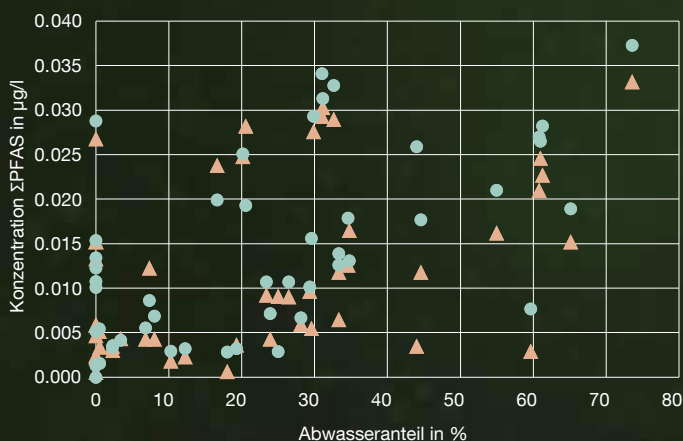
PFOS

▲ August 2021 ● Oktober 2021



Summe PFAS

▲ August 2021 ● Oktober 2021



Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)

Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) sind organische Substanzen, die mehr als ein Fluoratom in der Struktur aufweisen respektive komplett fluoriert sind. Es handelt sich um schwer abbaubare Chemikalien, die jahrzehntelang in der Industrie eingesetzt wurden und in Gewässern überall nachgewiesen werden. Anwendungen fanden diese Stoffe in der Produktion von Textilien, Elektronik, Papierbeschichtungen, Farben, Feuerlöschschäumen und Skiwachs. 2018 hat die europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde EFSA zwei speziell problematische Vertreter der Stoffgruppe, die Perfluorocantansulfonsäure (PFOS) und die Perfluorocantansäure (PFOA), als besonders kritisch eingestuft. Beide Stoffe wurden verboten, sind aber weiterhin in der Umwelt, in der Nahrungskette und im Menschen nachweisbar. In der Schweiz werden aktuell weitere Massnahmen zur Reduktion der Verwendung dieser Stoffgruppe geprüft. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie listet PFOS als prioritären Stoff mit einem chronischen Umweltqualitätsstandard (AA-EQS) von 0.00065 µg/l auf.

Erste Messkampagne 2021

Um eine Übersicht über die Lage im Kanton Zürich zu erlangen, hat das AWEL im Jahr 2021 zwei Messkampagnen bei 50 Untersuchungsstellen an grossen und mittelgrossen Fließgewässern durchgeführt. Die Proben wurden dabei auf 20 verschiedene PFAS analysiert. Die Summe aller analysierten PFAS lag zwischen 0.0005 µg/l und 0.038 µg/l. PFOS war bei 20 von 50 untersuchten Stellen oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0.001 µg/l nachweisbar, was auch eine Überschreitung des AA-EQS der EU-Wasserrahmenrichtlinie von 0.00065 µg/l bedeutet. In der Schweiz gibt es aktuell keine Anforderungswerte für Oberflächengewässer.

Zu möglichen Quellen und Eintragspfaden der PFAS in den verschiedenen Einzugsgebieten kann noch keine Aussage gemacht werden. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den gemessenen Konzentrationen und dem Anteil von gereinigtem Abwasser am Gesamtabfluss ist sowohl für PFOS als auch für die Summe der PFAS nicht ersichtlich.

Die beiden verbotenen Stoffe PFOS und PFOA sind weiterhin in der Umwelt, in der Nahrungskette und im Menschen nachweisbar.

Trifluoressigsäure (TFA)

Persistent und im Wasser sehr mobil

Trifluoressigsäure (TFA) ist die kürzeste perfluorierte Alkansäure. Die Verbindung zählt ebenfalls zu den PFAS, unterscheidet sich aber aufgrund der chemischen Eigenschaften und stofflichen Quellen von den meisten anderen PFAS. TFA gelangt aufgrund seiner sehr hohen Wasserlöslichkeit und Mobilität leicht in den Wasserkreislauf und verbreitet sich primär durch diesen in der Umwelt. Weil TFA nicht abbaubar ist, verbleibt es nach seinem Eintrag über Jahrzehnte in der Umwelt. Nach aktuellen Erkenntnissen ist TFA nicht besonders toxisch. Das Umweltbundesamt Deutschland schlägt für TFA eine Umweltqualitätsnorm (UQN) von 21 µg/l vor. Eine effektive, nachträgliche Entfernung von TFA aus dem Wasser ist für die Aufbereitung von Trinkwasser mit den etablierten Techniken nicht realisierbar.

Vielfältige Verwendung und Entstehungswege

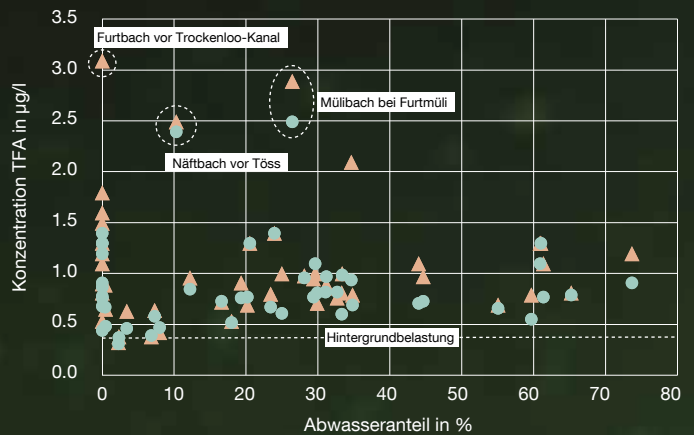
TFA wird als Grundchemikalie für die Produktion fluorierter Stoffe verwendet. Darüber hinaus ist TFA ein Abbauprodukt zahlreicher Fluorchemikalien, die in verschiedenen Bereichen Anwendung finden, wie in halogenierten Kälte- und Treibmitteln, Pflanzenschutzmitteln, Arzneimitteln und Bioziden. Das Wissen über den Beitrag dieser Quellen zur Belastung einzelner Untersuchungsstellen ist derzeit noch sehr beschränkt. Es gibt jedoch einige Hinweise, dass teilfluorierte Kälte- und Treibmittel eine wichtige Quelle für die Hintergrundbelastung darstellen. Diese Mittel wurden als Ersatzprodukte der früher verwendeten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eingeführt. FCKW wurden wegen der Schädigung der Ozonschicht und der Klimarelevanz verboten. Da teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) ebenfalls klimaschädlich sind, werden sie seit den 2010er-Jahren oftmals durch ungesättigte HFKW mit geringerer Klimawirkung ersetzt. Diese werden jedoch in der Atmosphäre in noch grösserem Mass zu halogenierten Stoffen wie TFA abgebaut.

Erste Messungen geben Hinweise auf verschiedene Quellen

Erste Übersichtsmessungen, die 2021 ebenfalls im Rahmen der vorangehend erwähnten Messkampagnen erfolgten, bestätigen eine weit verbreitete Hintergrundbelastung. TFA wurde in sämtlichen untersuchten Wasserproben in Konzentrationen über 0.31 µg/l gefunden, selbst in Gewässern, die kein Abwasser führen. Dieses ubiquitäre Vorkommen deutet auf den Eintrag über atmosphärische Deposition hin, die in sämtlichen Gewässern eine Hintergrundkonzentration verursacht. Zusätzlich wurden in einzelnen Gewässern Spitzenkonzentrationen bis zu 3.1 µg/l gefunden, die von weiteren Quellen stammen müssen. Mögliche zusätzliche Quellen, die lokal zu hohen Belastungen führen können, sind industrielle Einleitungen über ARA. TFA wird in der Industrie u.a. als Lösemittel für Proteine und als Reagenz für chemische Prozesse eingesetzt. TFA kann aber auch als Abbauprodukt aus fluorierten Pflanzenschutzmitteln entstehen. Mögliche Wirkstoffe mit einem jährlichen Verbrauch von 4 bis 10 Tonnen sind in der Schweiz zum Beispiel das Herbizid Flufenacet und das Fungizid Fluazinam. Insbesondere in Gewässern, die kein Abwasser führen und dennoch erhöhte Konzentrationen aufweisen, muss angenommen werden, dass Pflanzenschutzmittel einen wesentlichen Beitrag zur Belastung beisteuern. Die höchsten Konzentrationen von TFA wurden mit 2.4 bis 3.1 µg/l im Furtbach vor der ARA Regensdorf (Trockenloo-Kanal), im Mülibach (Stammetal) und im Näfbach vor der Mündung in die Töss gemessen.

Trifluoressigsäure TFA

▲ August 2021 ● Oktober 2021



Raumklimageräte enthalten klimaschädliche teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, die zu TFA abgebaut werden.

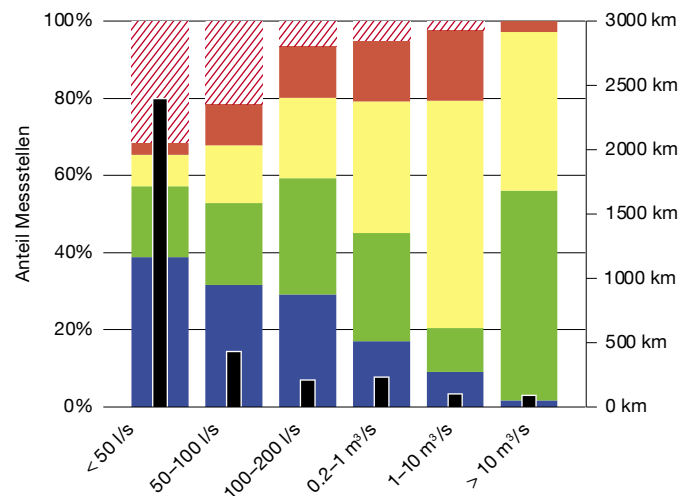
Quantität/Dynamik und Lebensraum Ökomorphologie

Die Ökomorphologie beschreibt und bewertet die Naturnähe der Lebensraumstrukturen eines Gewässerabschnitts. Vor allem die kleinen Fließgewässer sind in gutem Zustand.

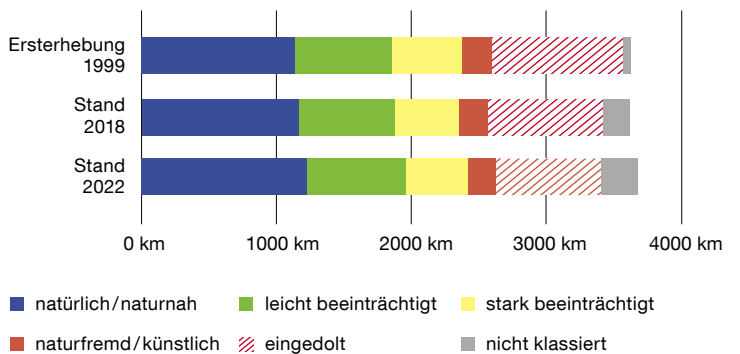
Im Kanton Zürich wurden 3406 der insgesamt 3678 Kilometer Fließgewässer gemäss der Methode Ökomorphologie Stufe F des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) erfasst und bewertet. Davon befinden sich 1959 Kilometer (57.5 %) in naturnahem oder leicht beeinträchtigtem Zustand. Die übrigen 1448 Kilometer (42.5 %) sind stark beeinträchtigt, naturfremd oder eingedolt. Die geringfügigen Änderungen zum Stand von 2018 ergeben sich weniger aufgrund von tatsächlichen Veränderungen im Gelände, sondern vor allem durch Korrekturen und Anpassungen am digitalen Gewässernetz: Verlängerung von meist naturnahen Bachlinien im Wald, Aufnahme von Seetraversen und Löschung von eingedolten Abschnitten aus dem Gewässernetz. Auch seit der Ersterhebung in den Jahren 1997 bis 99 hat sich im Vergleich zum aktuellen Stand von 2022 insgesamt wenig verändert. Die Nachführungen zeigen, dass etwa 80 km Fließgewässer in den letzten fünfundzwanzig Jahren ausgedolt oder revitalisiert wurden. Diese revitalisierten Abschnitte haben eine sehr wichtige Bedeutung als ökologische Trittsteine und Refugien für Flora und Fauna. Im Rahmen der strategischen Revitalisierungsplanung sollen in den kommenden zwanzig Jahren im Kanton Zürich insgesamt 100 km Fließgewässer revitalisiert werden.

Kleine Gewässer mit Abflüssen unter 50 Liter pro Sekunde weisen den grössten Anteil naturnaher und leicht beeinträchtigter Strecken auf (58 %). Diese kleinen Bäche machen kilometermässig einen grossen Anteil am Gewässernetz aus und verbessern damit das Gesamtbild des ökomorphologischen Zustands erheblich. Bei den grösseren Gewässern, von denen im Kanton deutlich weniger Kilometer vorhanden sind, ist der ökomorphologische Zustand im Schnitt wesentlich schlechter. Die Lebensräume, die den beeinträchtigten grossen Fließgewässern fehlen, können nicht durch die vielen kleinen naturnahen Gewässer kompensiert werden, da sie andere ökologische Nischen bieten. Die Verbesserung der Ökomorphologie vor allem bei den grösseren Fließgewässern ist deshalb ein Schwerpunkt in der strategischen Planung von Revitalisierungen.

Ökomorphologischer Zustand in Abhängigkeit von der Gewässergrösse und Gesamtlänge der Grössenklassen



Entwicklung des ökomorphologischen Zustandes seit 1999



GIS Browser Kanton Zürich
<https://maps.zh.ch/s/pt8x0qy8>



Bis 2040 sollen weitere 100 km Fließgewässer revitalisiert werden.



Quantität/Dynamik und Lebensraum Wasserführung

Die Nutzung der Fließgewässer, insbesondere zur Stromproduktion, ist aus Sicht Klimaschutz sinnvoll – kann jedoch negative Auswirkungen auf die Gewässerorganismen haben.



Bedeutung und Untersuchung

Zu geringe Restwassermengen verkleinern die Lebensräume für Wasserorganismen. Durch das Trockenfallen von Flachwasserzonen am Ufer verlieren Uferpflanzen Lebensraum, und wichtige Laichplätze und Aufenthaltsorte für Jungtiere gehen verloren. Zudem führen zu geringe Restwassermengen im Sommer zu deutlich höheren Temperaturen im Gewässer und verstärken damit die Auswirkungen der Klimaerwärmung. Dies kann zum Verschwinden von kälteliebenden Arten, z. B. der Bachforelle führen.

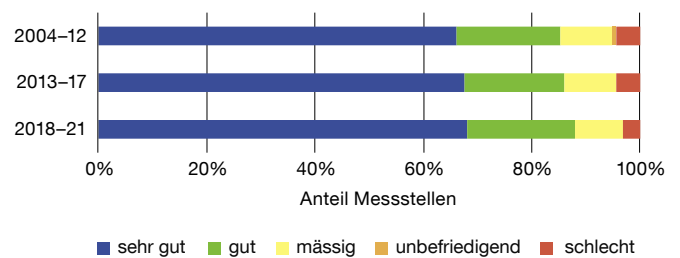
Schwallbetrieb mit periodischen Hochwasserspitzen als Folge kurzzeitig erhöhter Stromproduktion kann Fischlarven und Kleintiere in untiefe Bereiche am Ufer schwemmen, wo sie bei Sunk anschliessend trockenfallen und verenden. Schwallbetrieb bewirkt auch unnatürliche Abschwemmungen von Feinsedimenten, die zu Trübungen im Wasser und unerwünschten Sedimentablagerungen führen. Damit die Abflussverhältnisse als wichtiger Aspekt in die integrale Bewertung einfließen konnten, wurde aufgrund von Expertenwissen im AWEL eine grobe Beurteilung vorgenommen. Die Beurteilung erfolgte somit nicht aufgrund des Moduls Hydrologie – Abflussregime des Modul-Stufen-Konzeptes des BAFU.

Beurteilung

Im Kanton Zürich spielen unnatürliche Abflussverhältnisse eine eher untergeordnete Rolle. Einen ungenügenden Zustand bezüglich Wasserführung wiesen die gesamte Sihl, die Limmat unterhalb des Kraftwerks Höngg, die Töss bei Rämismühle und Winterthur, die Jona unterhalb von Rüti und der Furtbach unterhalb von Buchs auf. Gegenüber der Vorperiode hat sich die Situation in verschiedenen Gewässerabschnitten leicht verbessert.

Beurteilung der Wasserführung

Entwicklung seit 2004 (n=157)



Die Sihl wird durch das Abflussregime und die Regulierung des Sihlsees sowie die Restwasserstrecken bei den Kraftwerken Waldhalden und Im Schiffli beeinflusst. Das Kraftwerk Manegg wurde inzwischen stillgelegt und die Konzession aufgehoben. Auch die negativen Auswirkungen von Spülungen und Schwall-Sunk-Betrieb der Kraftwerke im Kanton Schwyz konnten leicht reduziert werden. Als regulierter Seeabfluss weist auch die Limmat nicht vollständig natürliche Abflussverhältnisse auf. Zudem liegen die untersuchten Gewässerabschnitte der Limmat in Restwasserstrecken oder Staubereichen verschiedener Kraftwerke. Bauliche Massnahmen und erhöhte Restwassermengen als Folge der Neukonzessionierung des Kraftwerks Dietikon führten zu einem Rückgang der Belastung. Die Töss und die Jona zwischen Rüti und Wald befinden sich im Einflussbereich mehrerer Kraftwerke. Der Zustand an der Jona verbesserte sich gegenüber der Vorperiode, weil das Kraftwerk Tiefenhof stillgelegt worden ist und das Kraftwerk Pilgersteg eine neue Konzession erhalten hat. Der Furtbach dient zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen und des Golfplatzes Otelfingen. Zur Bewässerung wird seit dem Sommer 2022 Wasser aus der Limmat ins Furttal gepumpt. Dies dürfte zu einer Verbesserung der Abflussverhältnisse im Furtbach führen.

Nach wie vor einen schlechten Zustand wiesen der Aabach in Horgen vor der Mündung in den Zürichsee und die Aa zwischen Pfäffikersee und Greifensee bei Wetzikon auf. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich Restwasser werden nicht eingehalten und es gibt grosse Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk. Die Sanierung dieser Abflussverhältnisse konnte bisher noch nicht umgesetzt werden und hat weiterhin eine hohe Priorität. Aufgrund ungenügender Restwassermengen des Kraftwerkes der Honegger AG weist auch die Jona in Wald einen schlechten Zustand bezüglich Wasserführung auf. Da aber im betroffenen Gewässerabschnitt die Ufer und die Gewässersole komplett verbaut sind und die Durchgängigkeit für Fische aufgrund eines angrenzenden Wasserfalls nicht gegeben ist, würde auch eine Erhöhung der Restwassermenge nicht zu einer nennenswerten Verbesserung der gewässerökologischen Defizite führen. Deshalb wurden die Anforderungen an die Restwassermenge reduziert.



Wassertemperaturen und Abflüsse zunehmend im kritischen Bereich

Die Wassertemperaturen in den Fließgewässern steigen an und überschreiten immer häufiger kritische Schwellenwerte. Trockenperioden nehmen zu und Hochwasser im Winter treten häufiger auf, was für die Fortpflanzung der Fische kritisch sein kann.

Ansteigende Wassertemperaturen bei allen Messstellen

Um ein Messnetz für die Entnahme von Mischproben zur Verfügung zu haben, wurden Ende Achtziger- und anfangs Neunzigerjahre des letzten Jahrhunderts an den grossen und mittelgrossen Fließgewässern im Kanton Zürich die sogenannten «Hauptmessstellen» gebaut. Zur Erfassung der Wasserqualität gehört auch die Messung der Wassertemperatur, die unter anderem für die Beurteilung der Ammoniumkonzentrationen nötig ist. Aus diesem Grund wurden bei allen Messstellen Sonden zur kontinuierlichen Erfassung der Wassertemperatur installiert. Unterhalten und betrieben werden diese Sonden, wie auch die Abflussmessstationen von der Gruppe Hydrometrie der Abteilung Wasserbau. Der Aufbau dieser Messinfrastruktur ist aus heutiger Sicht ein Glücksfall, weil damit nicht nur die Veränderung der Wasserqualität, sondern auch die Temperatur- und Abflussbedingungen bei verschiedenen Fließgewässern detailliert dokumentiert werden können.

In den letzten 30 bis 35 Jahren zeigen die Messreihen bei allen 15 Hauptmessstellen des Kantons Zürich eine ansteigende Tendenz. Die Jahresmittelwerte der Töss im Oberlauf bei Rämismühle nähern sich allmählich den Werten, die zu Beginn der Messungen Ende der Achtziger- und in den Neunzigerjahren im Unterlauf bei Freienstein gemessen wurden.

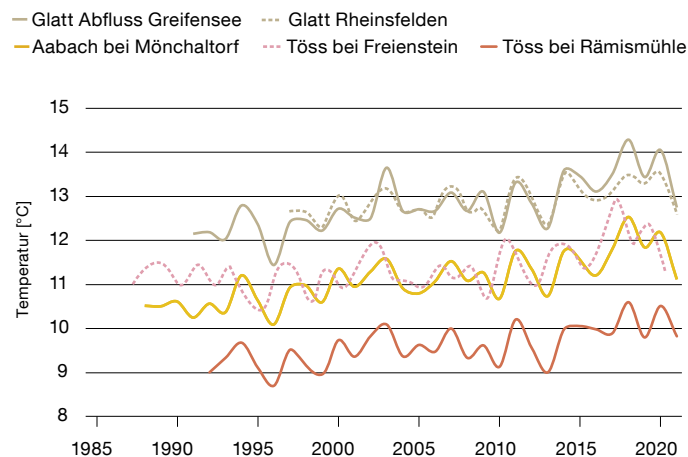
Seeabflüsse mit Höchsttemperaturen

Die höchsten Jahresmittelwerte weisen die Seeabflüsse Glatt und Limmat (nicht dargestellt) auf. Bei der Glatt ist interessant, dass in den letzten Jahren die Wassertemperatur bei Rheinsfelden vor der Mündung in den Rhein regelmässig einige Zehntelsgrade kühler war als beim Abfluss aus dem Greifensee. Erklären lässt sich dieses Phänomen durch das Eindringen von kühlerem Grundwasser, das bei geringem Abfluss der Glatt im Unterlauf eine merkliche Abkühlung bewirken kann. Den Fischen kommt dieser Effekt entgegen, denn auch die Anzahl Tage mit Wassertemperaturen über 25 °C weist bei den Seeabflüssen in den letzten 20 Jahren eine zunehmende Tendenz auf. Hitzeperioden mit Wassertemperaturen über 25 °C haben im Rhein und in der Limmat insbesondere in den Rekordjahren 2003 und 2018 zu grossen Äschensterben geführt.

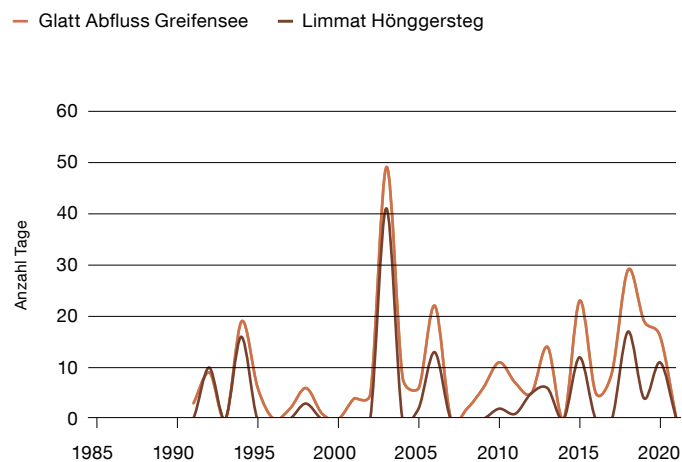
Auch kleine Fließgewässer im Stress

Liegen die Temperaturen mehrere Wochen in Folge über 15 °C, kann sich die tödliche Fischkrankheit PKD stark ausbreiten. Im Aabach bei Mönchaltorf wurde diese Temperaturschwelle in den ersten 10 Messjahren (1988–1997) im Durchschnitt während 74 Tagen überschritten. In den letzten 10 Jahren (2012–2021) waren es bereits 104 Tage. Auch die Temperaturschwelle von 20 °C wird seit 2003 mit zunehmender Häufigkeit überschritten. Für Forellen stellen so hohe Temperaturen eine Stresssituation dar, die letztlich zum Tod führen kann.

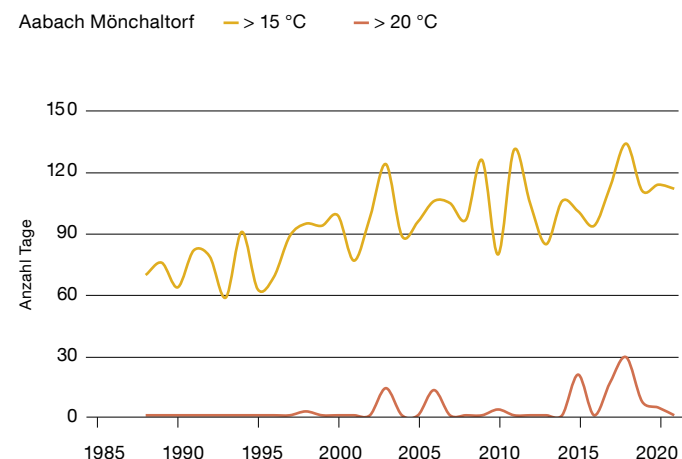
Jahresmittelwerte Temperatur



Tagesmittelwerte > 25 °C



Tagesmittelwerte Temperatur





Trockengefallener Tüftalerbach in Mönchaltorf im Sommer 2018 und bei normalem Abfluss.

In den letzten 30–35 Jahren zeigen die Temperaturmessreihen bei allen Hauptmessstellen des Kantons Zürich eine ansteigende Tendenz.

Extreme Wettersituationen treten häufiger auf

Die Summe der Niederschläge, die sich letztlich in den Jahresmittelwerten der Abflüsse widerspiegelt, hat sich in den letzten 30 Jahren nicht signifikant verändert. Der mittlere Abfluss bei der Messstelle Töss Rämismühle beträgt beispielsweise $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ – ohne Trend einer Zu- oder Abnahme. In den einzelnen Jahren werden aber Abweichungen von bis zu 45 % vom Mittelwert festgestellt. Sehr nasse Jahre, wie letztmals 1999, sind seither allerdings ausgeblieben.

Trockenperioden nehmen zu

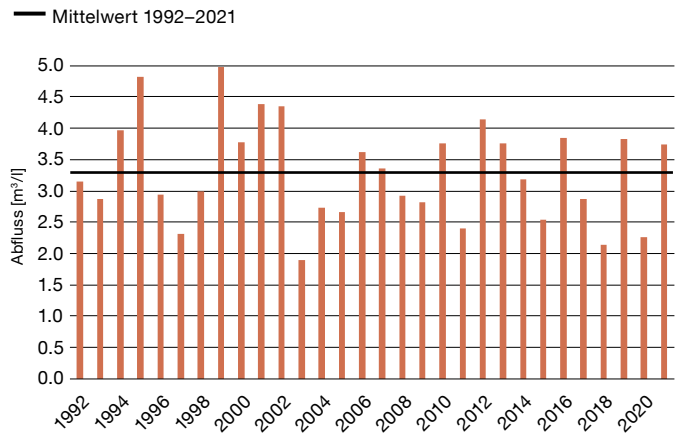
Gehäuft aufgetreten sind in den letzten 20 Jahren lange Trockenperioden. Der Trockenwetterabfluss Q_{347} ist per Definition jener Abfluss, der an 347 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten wird. Nur an 18 Tagen im Jahr wird somit im langjährigen Mittel ein geringerer Abfluss gemessen.

In den Jahren 2003, 2015 und 2018 traten lange Hitzeperioden mit sehr wenig Niederschlag auf. Im Oberlauf der Töss bei Rämismühle wurden 2003 insgesamt 68 Tage mit einem Abfluss $< Q_{347}$ gemessen. 2015 waren es 121 Tage und im Jahr 2018 wurde mit 144 Tagen der bis jetzt gültige Rekord erreicht. Der Aabach in Mönchaltorf hatte in der Messperiode 1980–2017 einen Trockenwetterabfluss von 189 l/s. Im Jahr 2018 wurde dieser Wert an 150 Tagen erreicht oder unterschritten. Der tiefste gemessene Tagesmittelwert betrug nur noch 41 l/s, was in etwa dem Abfluss der beiden ARA im Einzugsgebiet entspricht. Mit Berücksichtigung der Messungen der letzten Jahre (Messperiode 1980–2020) musste der Trockenwetterabfluss auf 177 l/s reduziert werden. Viele kleinere Bäche führten im Sommer 2018 gar kein Wasser mehr. Die Fischerei- und Jagdverwaltung musste insgesamt rund 200 Abfischungen wegen Trockenheit durchführen und tausende Fische aus über 120 Kilometern Fließgewässer in wasserreichere Abschnitte umsiedeln.

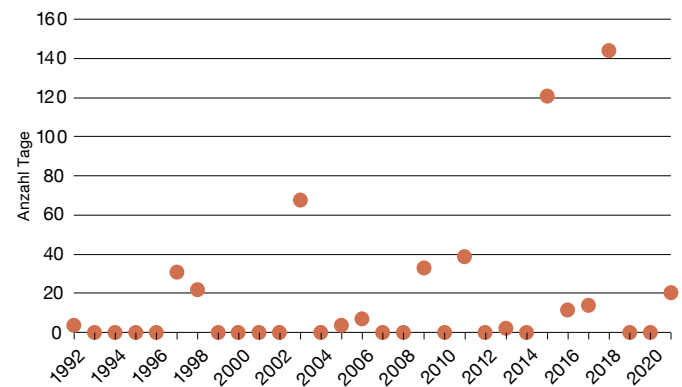
Problematische Winterhochwasser

An der Töss bei Rämismühle wird ein Abfluss von $30 \text{ m}^3/\text{s}$ im langjährigen Mittel an ein bis zwei Tagen pro Jahr überschritten. Die Hochwasser traten bei dieser Messstelle meist über die Sommermonate auf (Mai bis November). Winterhochwasser gab es zwischen 1992 und 2011 durchschnittlich nur zweimal pro Dekade. In den letzten zehn Jahren aber gab es gleich siebenmal im Winter Hochwasser. Für die Fortpflanzung der Forellen sind Hochwasser während der Monate Dezember bis April besonders kritisch. Gerät die Gewässersohle als Folge hoher Abflüsse in Bewegung, werden Laich oder frisch geschlüpfte Jungfische abgeschwemmt, was zum Verlust ganzer Jahrgänge führen kann.

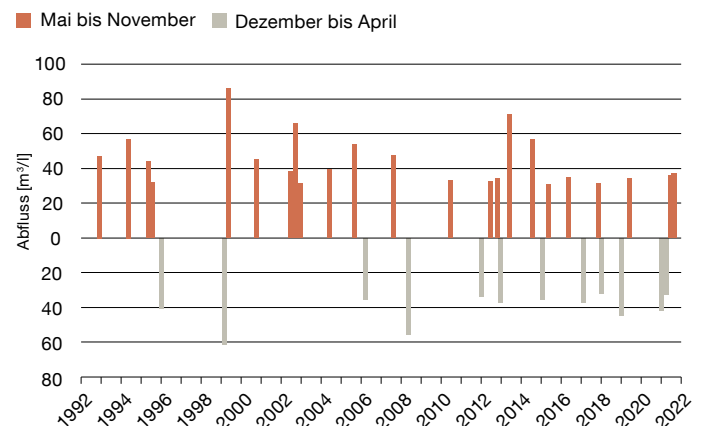
Jahresmittelwert Abfluss Töss Rämismühle



Trockenwetterabfluss ($< Q_{347}$) Töss Rämismühle



Abflussereignisse $> 30 \text{ m}^3/\text{s}$ Töss Rämismühle



Biologischer Zustand

Moose und Wasserpflanzen

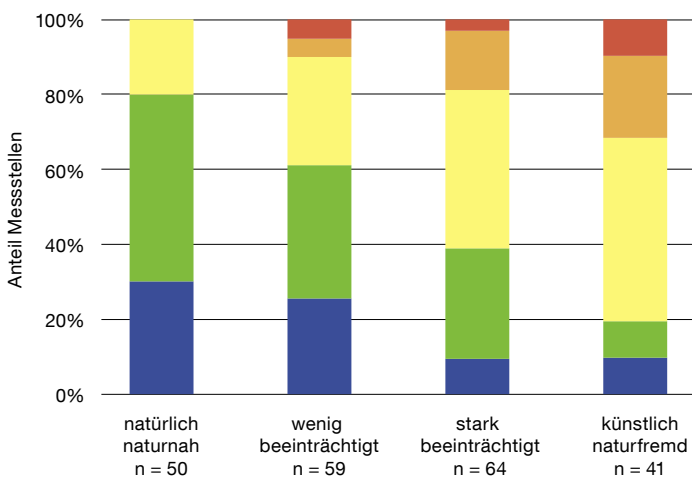
Wasserpflanzen sind charakteristische Bewohner verschiedener Fliessgewässer-Typen und in ihrem Vorkommen stark gefährdet. Mit Revitalisierungen lässt sich die Qualität des Lebensraums und damit meist auch der Zustand der standorttypischen Vegetation verbessern.



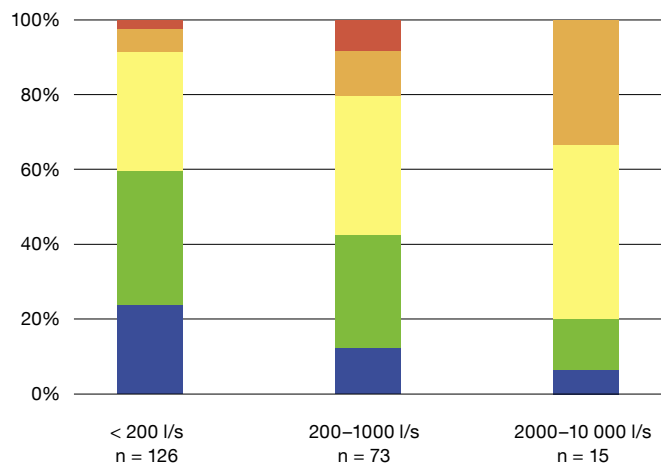
Ökologische Bedeutung und Untersuchung

Moose und höhere Wasserpflanzen bilden zusammen mit den Algen die Flora eines Fliessgewässers. Sie beeinflussen die natürlichen Prozesse in den Gewässern und deren Lebensgemeinschaften. Als Primärproduzenten sind sie ein wichtiger Teil der aquatischen Nahrungskette. Zudem erhöhen Moose und Wasserpflanzen die Strukturvielfalt in den Gewässern und dienen Algen, Invertebraten und Fischen als Lebensraum. Im Kanton Zürich gibt es zahlreiche verschiedenartige Fliessgewässer. Kleine, steile und stark beschattete Tobelbäche, langsam fliessende, wenig beschattete Wiesenbäche und grosse Flüsse wie die Thur und die Limmat, um nur die Extreme zu nennen. Diese Fliessgewässer weisen natürlicherweise eine unterschiedliche Zusammensetzung der Vegetation auf. Aufgrund ausgewählter Standortbedingungen werden die Gewässer in 6 Vegetations-Flusstypen unterschiedlicher Abflussklassen eingeteilt, die jeweils durch eine charakteristische Zusammensetzung der Vegetation gekennzeichnet sind.

Zustand der Vegetation in Abhängigkeit der Gewässerstruktur (n=214) 2018–2021



Zustand der Vegetation in kleinen, mittelgrossen und sehr grossen Fliessgewässern (n=214) 2018–2021



■ sehr gut ■ gut ■ mässig ■ unbefriedigend ■ schlecht

Wasserpflanzen als biologische Indikatoren

Verändern sich die für Pflanzen relevanten Lebensbedingungen in einem Gewässer, z.B. die Beschattung, widerspiegelt sich das auch in der Zusammensetzung der Vegetation. Da Wasserpflanzen und Moose je nach Art meist über mehrere Vegetationsperioden am selben Ort wachsen, können sie als biologische Indikatoren Veränderungen des Lebensraums anzeigen, die über längere Zeiträume stattgefunden haben. Wasserpflanzen eignen sich aus diesen Gründen auch gut als Indikatoren für eine verbesserte Lebensraumstruktur, z.B. nach Revitalisierungen. Im Gegensatz zum Makrozoobenthos und zu den Fischen kommen Makrophyten jedoch nicht in allen Fliessgewässern vor. Sie können deshalb nur in solchen Gewässern zur Erfolgskontrolle eingesetzt werden, wo die Lebensbedingungen für Wasserpflanzen nach der Revitalisierung günstig sind.

Der Zustand der Vegetation ist von der Gewässerstruktur abhängig. In strukturell stark beeinträchtigten oder naturfremd/künstlichen Abschnitten ist die Vegetation häufiger in einem mässigen oder schlechten Zustand als in ökomorphologisch intakten Abschnitten. Insbesondere der Verbau von Sohle und Ufer setzt den Pflanzen zu, weil die vielfältigen Lebensräume in der Übergangszone zwischen Wasser und Land zerstört werden. Dies ist mit ein Grund dafür, dass sich in kleinen Fliessgewässern die Lebensgemeinschaften der Wasserpflanzen öfters in einem guten oder sehr guten Zustand befinden als in mittelgrossen und grossen Gewässern. Grössere Gewässer fliessen im Kanton Zürich meist durch landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete oder durch Siedlungsgebiet und sind stark verbaut. Bei den kleinen Bächen gibt es mehr Gewässerabschnitte mit guter Lebensraumqualität und deshalb besserem Zustand der aquatischen Vegetation.

Wasserpflanzen haben ihren Verbreitungsschwerpunkt in wenig steilen Gewässern mit moderaten Abflussschwankungen. Der hohe Verbauungsgrad dieser Gewässer ist mitverantwortlich dafür, dass mehr als die Hälfte aller Gefässpflanzen der Gewässer und Ufer auf der Roten Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz zu finden sind.

Zustandsverbesserung durch Revitalisierungen

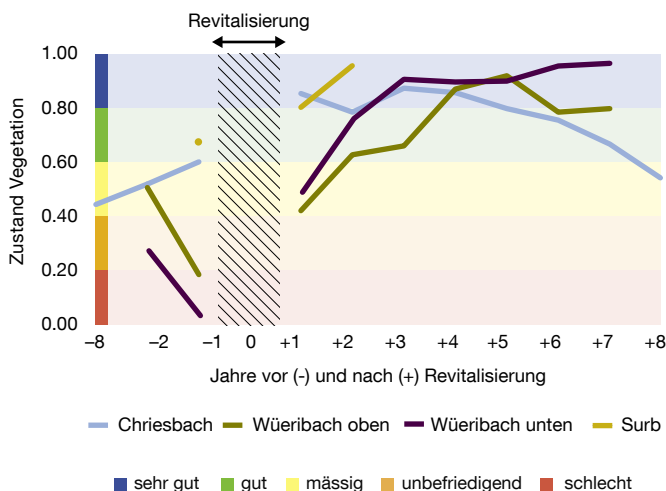
Untersuchungen an vier verschiedenen Gewässern vor und nach einer Revitalisierung zeigen, dass sich der Zustand der Vegetation im Vergleich zu vorher verbessert hat. Durch Revitalisierungen werden meist flache Uferbereiche geschaffen, die in den kanalisierten Gewässern vorher vollständig fehlten. Der neu entstandene Lebensraum wird von verschiedenen Uferpflanzen besiedelt, die den Lebensraumtypen des Bach- oder Flussufer- und Landröhrichts zugeordnet werden können. Die standorttypischere Besiedlung mit höherer Artenvielfalt führt zu einer besseren Bewertung. Weil aber bisher nur weit verbreitete Arten die neu geschaffenen Lebensräume wiederbesiedelt haben, hat sich der Anteil an gefährdeten Arten nicht verändert.



Von Revitalisierungen profitieren hauptsächlich standorttypische, weitverbreitete Arten – gefährdete Arten bisher noch nicht.

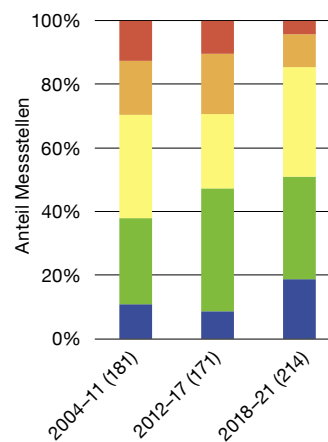
Die wenigen bisherigen Erfolgskontrollen zeigen aber auch, dass die Zustandsverbesserung nicht in allen Fällen Bestand hat. Im Falle des Chriesbachs hat der Zustand der Vegetation seit dem fünften Jahr nach der Revitalisierung wieder abgenommen. Im Chriesbach bedeckte der flutende Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*) vor der Revitalisierung mehr als 90 % der Gewässer- sohle. Alle anderen Arten kamen nur mit geringer Deckung vor. Durch die Bautätigkeit während der Revitalisierung wurde der Bestand des flutenden Hahnenfusses stark reduziert. Auf den nach der Revitalisierung vegetationslosen Flächen breiteten sich Arten aus, die zuvor nur mit geringer Deckung oder gar nicht im Abschnitt vorhanden waren. Die Zunahme der Artenvielfalt und die gleichmässige Verteilung, insbesondere durch den Rückgang der Dominanz des flutenden Hahnenfusses, führten zu einer besseren Bewertung. Im Verlauf der weiteren Entwicklung hat der Anteil des flutenden Hahnenfusses wieder stark zugenommen und einzelne Arten, die sich nicht etablieren konnten, sind fast oder vollständig verschwunden: einerseits, weil sie sich gegen den flutenden Hahnenfuss oder andere, konkurrenzstärkere Arten nicht behaupten konnten, andererseits aufgrund der morphologischen Entwicklung des Baches seit der Revitalisierung. Der Anteil an flachen Uferzonen ist seit Abschluss der Revitalisierung zurückgegangen, wovon der flutende Hahnenfuss auf Kosten der aquatischen Ufervegetation (z.B. Brunnenkresse) profitieren konnte. Gleichzeitig kam es zu einer Aufwindung der ehemaligen Uferpartien, was ebenfalls zum Rückgang der aquatischen Uferpflanzen beitrug.

Zustand der Vegetation vor und nach Revitalisierungen von vier Gewässerabschnitten



Zustandsbeurteilung der Vegetation seit 2004

In Klammern hinter Jahreszahlen: Anzahl Messstellen



Aktueller Zustand und Entwicklung seit 2004

Im Vergleich zur letzten Erhebungsperiode hat sich der Zustand der Vegetation insgesamt leicht verbessert. Revitalisierungen und das Zulassen des Verfalls oder das partielle Entfernen bestehender Uferverbauungen fördern die Lebensraumqualität und können zu einer höheren Artenvielfalt führen. Auch eine Reduktion der Beschattung durch einen starken Rückschnitt der Ufervegetation und das Wirken des Bibers können das Wachstum der aquatischen Vegetation begünstigen. So wie sich nicht alle Verbesserungen auf konkrete Massnahmen im Gewässer zurückführen lassen, sind auch die Ursachen für eine schlechtere Bewertung, wie bei allen biologischen Indikatoren, häufig nicht klar ersichtlich. Neben witterungsbedingten Schwankungen und natürlichen Sukzessionsprozessen werden aquatische Pflanzen im Rahmen von Unterhaltsmassnahmen in einigen Gewässern regelmässig oder sporadisch entfernt. Solche Entkräutungen können kurzfristig zu einem massiven Rückgang der Artenvielfalt und der pflanzlichen Biomasse und damit einer schlechteren Bewertung führen. Da solche Eingriffe bereits nach kurzer Zeit im Gewässer nicht mehr erkennbar sind, bleibt die Ursache für die Zustandsverschlechterung meist unerkannt.





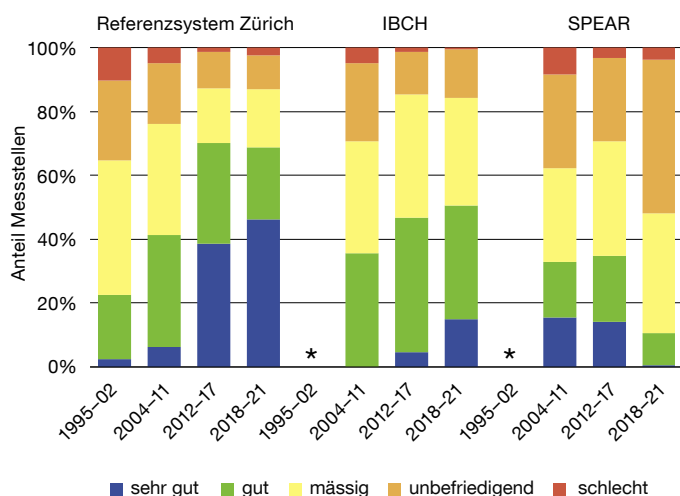
Biologischer Zustand

Makrozoobenthos

Der Zustand der wirbellosen Kleintiere im Wasser (Makrozoobenthos) hat sich im Laufe der letzten vier Untersuchungsperioden insgesamt verbessert. Empfindliche Arten konnten sich jedoch noch nicht merklich erholen.

Zustandsbeurteilung der Makrozoobenthos-Gemeinschaften anhand von drei Indices seit 1995

* kann aufgrund der vorhandenen Daten nicht berechnet werden



Zu den Kleintieren in der Gewässersohle (Makrozoobenthos) zählen Insektenlarven, Kleinkrebse, Schnecken, Muscheln und verschiedene Würmer. Die Artenzusammensetzung der Kleintiere gibt Auskunft über den ökologischen Zustand eines Gewässers. Intakte Makrozoobenthos-Gemeinschaften sind nicht nur auf eine gute Wasserqualität angewiesen, sie benötigen auch naturnahe Abflussbedingungen und gute ökomorphologische Verhältnisse. Im Rahmen des Gewässermonitorings wird das Makrozoobenthos seit 1995 untersucht. Die Zustandsbeurteilung erfolgt einerseits mit dem speziell für den Kanton Zürich erarbeiteten Referenzsystem (Ref ZH). Zusätzlich wird die vom BAFU vorgeschlagene Zustandsbeurteilung gemäss IBCH vorgenommen sowie der SPEAR Index für Pestizidbelastungen berechnet. Mit diesen drei Indices kann ein differenziertes Bild der Belastungen und Defizite in den Kleintiergemeinschaften der Fließgewässer gewonnen werden.

Im Laufe der letzten vier Untersuchungsperioden seit 1995 fällt eine Verbesserung in der Beurteilung der Kleintierfauna gemäss Ref ZH und BAFU-Index IBCH auf. Der SPEAR Index für die Beurteilung von Pestizidbelastungen zeigt hingegen eine gegenläufige Tendenz. Während Ref ZH und IBCH vor allem die Vielfalt der vorhandenen Taxa (Artengruppen) gewichten, beurteilt der SPEAR Index den Zustand anhand des Verhältnisses von empfindlichen zu weniger empfindlichen Taxa. Die Befunde der drei Indices deuten insgesamt darauf hin, dass eine Zunahme der Artenvielfalt vor allem bei robusten «Allerweltsarten» stattgefunden hat, nicht aber bei spezialisierten und empfindlichen Arten. Mit den im Gewässermonitoring angewandten Beurteilungsmethoden kann diese These nicht weiter überprüft werden, da hierfür weitergehen-

de Bestimmungen der Taxa auf Artniveau notwendig wären. Forschungsprojekte auf nationaler Ebene zeigen jedoch, dass wärmeliebende und pestizidtolerante Artengruppen in mittleren Höhenlagen in der Schweiz im letzten Jahrzehnt zunahmten, während sich kälteliebende und empfindliche Arten nicht weiter entfalten konnten [1].

Wärmetolerante Wasserorganismen scheinen von der gegenwärtigen Häufung von warmen Wetterphasen zu profitieren. Neben einheimischen Arten gehören dazu auch verschiedene eingeschleppte Neozoen aus dem Donaugebiet, dem Mittelmeerraum oder aus Übersee. Die starke Ausbreitung einiger invasiver Neozoen kann negative Folgen für die Kleintierfauna haben (siehe Fokus Limmatfliegen). Weitere belastende Faktoren für die Kleintierfauna sind nach wie vor die intensive Landnutzung durch Siedlung, Landwirtschaft und Verkehr, welche die Qualität der Lebensraumstrukturen reduzieren und die Wasserqualität durch den Eintrag von Pestiziden und anderen Schadstoffen beeinträchtigen.

Langfristige schleichende Veränderungen in der Kleintierfauna, wie sie z.B. durch den allmählichen Klimawandel verursacht werden, können mit den angewandten Indices kaum erfasst werden. Im Kanton Zürich wurden im Jahr 2002 zur Etablierung des Referenzsystems die Kleintierfauna in 99 morphologisch und chemisch unbelasteten Bachabschnitten im ganzen Kanton untersucht. Diese Untersuchungen wurden 2022 an 62 der 99 Referenzstellen wiederholt. Die Resultate dieser Studie sollen zeigen, ob sich der Referenzzustand der Kleintierfauna im Kanton Zürich im Laufe der letzten 20 Jahre verändert hat und ob daher die Bewertungskriterien des Ref ZH angepasst werden müssen.

Biologischer Zustand

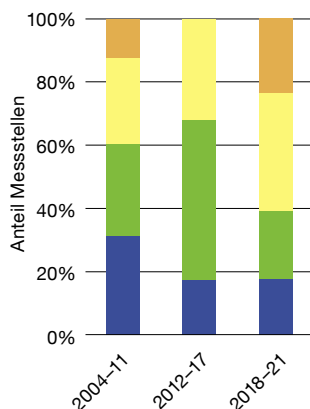
Fische

Fische kommen in den meisten Fliessgewässern vor. Sie sind relativ einfach zu bestimmen und ihre Ökologie ist gut bekannt. Sie sind langlebig und damit geeignet, neben Stossbelastungen auch chronische Belastungen anzuzeigen. Der Zustand der Fliessgewässerfische im Kanton Zürich hat sich in den letzten Jahren verschlechtert.

Durch ihre hohen Ansprüche an den Lebensraum weisen Fische auf Defizite der Wasserqualität sowie des morphologischen und hydrologischen Zustands der Gewässer hin. Die Mobilität und die Wanderungen von Fischarten lassen zudem Rückschlüsse auf die Durchgängigkeit und Vernetzung der Gewässer zu. Die Erhebung und Bewertung der Fischbestände erfolgte gemäss dem BAFU-Modul Fische Stufe F. In der Periode von 2018 bis 2021 wurden insgesamt 51 Stellen untersucht. Die Befunde fielen schlechter aus als in den beiden Vorperioden. Dazu beigetragen hat sicherlich auch der sehr trockene Sommer 2018 mit tiefen Abflüssen und hohen Wassertemperaturen in den Flüssen und Bächen. Die Fangstatistik der Sportfischer weist seit längerer Zeit auf stark abnehmende Fischbestände in den Fliessgewässern hin (siehe Fokus Fische). Diese Abnahme hat sich in der Periode 2018 bis 2021 ungebremst fortgesetzt.



Zustandsbeurteilung der Fische seit 2004



Die Fischbestände in den Fliessgewässern des Kantons Zürich nehmen seit längerer Zeit ab. Einzelne Arten nähern sich einer kritisch tiefen Bestandesgrösse. Die getroffenen Massnahmen brachten noch nicht den gewünschten Erfolg.

Ausgefischt? Anhaltender Rückgang der Fangenerträge in Fließgewässern

Die Fangenerträge der Angelfischer in den Zürcher Fließgewässern sind immer noch rückläufig. Die bisherigen Massnahmen zeigen noch keinen sichtbaren Erfolg. Veränderte klimatische Bedingungen verstärken bereits vorhandene Defizite und setzen den Fischen immer mehr zu.

Die seit den achtziger Jahren beobachtete Abnahme der Fischbestände in den Zürcher Fließgewässern hat sich weiter fortgesetzt. Immerhin sind bei Bach-/Seeforelle, Alet, Barbe und Hecht die Bestände auf tiefem bis sehr tiefem Niveau einigermaßen stabil geblieben. Egli und Schwale (Rotaugen) sind seit 2018 stark zurückgegangen, jedoch sind starke Schwankungen des Bestands bei diesen Arten nicht ungewöhnlich. Zudem liegt ihr bevorzugter Lebensraum in den Seen, wo ihre Bestände nicht gefährdet sind. Der Äschenbestand ist hingegen bis auf eine alarmierend kleine Restpopulation geschrumpft, und das weitere Fortbestehen dieser Art im Kanton Zürich ist gefährdet. Nach wie vor bestehen in vielen Fließgewässern Defizite, wie sie bereits im Schlussbericht zum Projekt Fischnetz 2004 aufgezeigt wurden:



Schlechte Lebensraumqualität (Verbauungen, Fragmentierungen, Wanderhindernisse), die den Fischen den Zugang zu geeigneten Laichplätzen oder die Flucht vor widrigen Umständen erschwert.



Ungenügende Wasserqualität (Nährstoff- und Pestizidbelastungen), welche die Gesundheit der Fische beeinträchtigt.



Die Infektionskrankheit PKD welche die Nieren der Forellen zerstört.



Das Zusammenwirken der oben genannten und weiteren Faktoren wie z. B. erhöhte Wassertemperaturen, die das Auftreten der PKD begünstigen und Stress für die Fische bedeuten.

Heisse Trockenperioden belasten die Fische

Zusätzlich zu den im Projekt Fischnetz genannten Defiziten machen den Fischen in den Fließgewässern die häufiger werdenden heißen und trockenen Wetterphasen im Sommer zu schaffen. Die Äsche leidet als wärmeintolerante Art besonders darunter, und bei anhaltenden Wassertemperaturen über 25 °C kann es zu Massensterben kommen. Die Äschengewässer im Schweizer Mittelland erreichen im Sommer immer häufiger diese kritische Temperaturschwelle. Auch für die Forellen und andere Fischarten der Fließgewässer sind die zunehmenden Hitzeperioden eine grosse Belastung. Sie werden deswegen auch anfälliger für Krankheiten und Parasiten wie PKD oder Hautinfektionen.

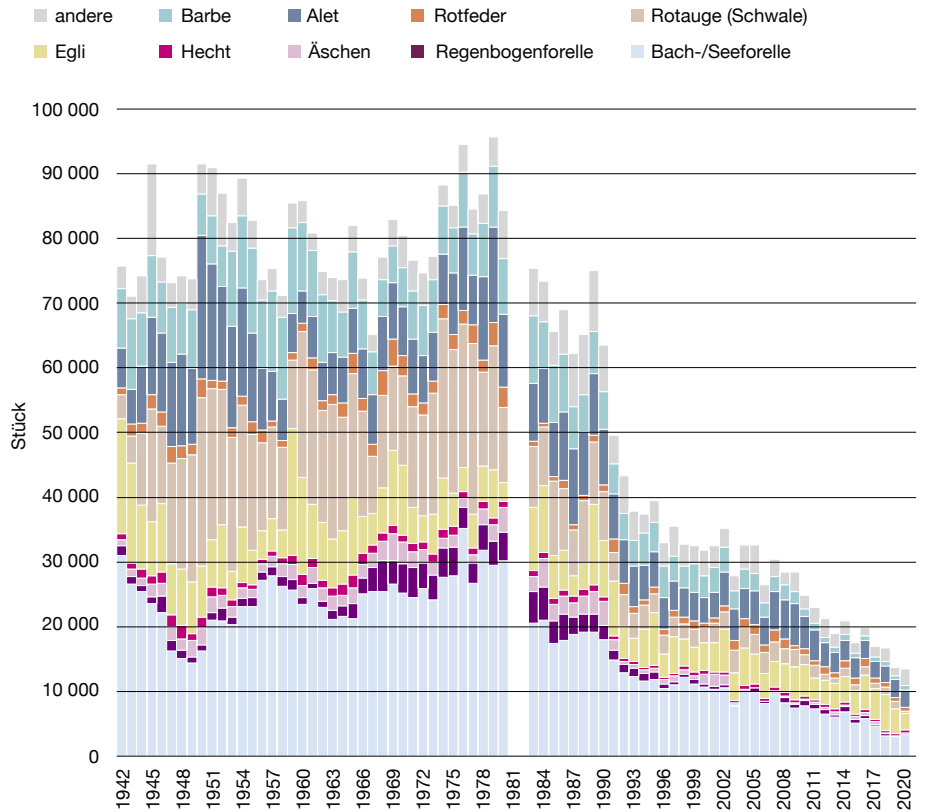
Bemühungen zur Verbesserung der Situation werden durch den Klimawandel torpediert

Bei tiefen Wasserständen während Trockenperioden verlieren die Fische ihre Lebensräume in den Uferbereichen, da viele schattige Verstecke wie unterspülte Wurzeln oder Löcher in der Uferböschung trockenfallen. Durch Revitalisierungen punktuell naturnah gestaltete Uferbereiche sind für die Fische in diesen kritischen Phasen oft nicht mehr verfügbar. Sie können sich nur noch in der Niederwasserrinne aufhalten und sind der Hitze und anderen Stressfaktoren schutzlos ausgesetzt.

Die Qualität der gereinigten Abwässer, die in die Fließgewässer eingeleitet werden, ist vielerorts deutlich besser geworden und wird weiter verbessert durch die Modernisierung der ARA und durch die Elimination von Mikroverunreinigungen. Während Trockenperioden mit niedrigen Abflüssen verschlechtert sich jedoch das Verdünnungsverhältnis der eingeleiteten Abwässer, was trotz guter Reinigungsleistung der ARA zu einer Verschlechterung der Wasserqualität im Bach führt.

Fischfang – Fliessgewässer

Die Daten stammen aus den gemeldeten Fängen der Angelfischer. Es sind keine normierten Erhebungen, wie sie in fischereilichen Studien gemacht werden, und sie widerspiegeln nicht direkt die Grösse der Fischbestände. Tiefe Fangerträge können dazu führen, dass einige Fischer ihr Hobby seltener ausüben. Umgekehrt können Erfolgserlebnisse die Angler motivieren, öfter und länger am Gewässer zu verweilen. Der massive Rückgang der Fischbestände kann dennoch als Tatsache gelten und ist kein blosses Artefakt einer abnehmenden Angeltätigkeit.



Daten: FJV ALN

Die Schaffung vielfältiger Lebensraumstrukturen kann dazu beitragen, den Kleinfischen das Überleben zu ermöglichen.



Im Winter führen Warmwetterphasen mit ergiebigen Niederschlägen häufiger zu saisonal atypischen Hochwasserereignissen, die den im Kiesbett liegenden Laich der Forellen auschwemmen und zerstören können.

Die veränderten klimatischen Verhältnisse überprägen momentan die Wirkung vieler Bemühungen zur Behebung der im Projekt Fischnetz aufgezeigten Defizite. Dies macht die Umsetzung wirksamer Massnahmen schwieriger und deren Erfolg noch ungewisser.

Im Zusammenhang mit der Strukturarmut vieler Gewässer können auch die aktuell wachsenden Bestände von fischfressenden Vögeln (Kormoran, Gänsesäger) zu einem Problem werden. Manche Kleinfischarten wie die Schmerle haben im Kanton Zürich offenbar infolge des zunehmenden Frassdrucks durch den Gänsesäger stark abgenommen. Den Fischen fehlt oft die nötige Deckung, um sich vor den Vögeln in Sicherheit zu bringen. Die Schaffung vielfältiger Lebensraumstrukturen mit Verstecken und Unterständen kann dazu beitragen, den Kleinfischen das Überleben zu ermöglichen, ohne dafür die Vögel bejagen oder vertreiben zu müssen.

Gesunde städtische Nasenpopulation

Das düstere Bild in der Fangstatistik wird immerhin durch ein paar erfreulichere Entwicklungen bei den fischereilich nicht relevanten Arten etwas erhellt. In der Sihl und in Teilen der Limmat lebt eine gesunde Population von Nasen, die sich mitten in der Stadt Zürich in den letzten Jahren vergrössert und ausgebreitet hat. Bei den Kleinfischen wie Schneider, Elritze, Gründling oder Groppe existieren keine umfassenden Daten zu Vorkommen und Bestandesgrössen, wie sie aus einer Fangstatistik abgeleitet werden können. Man kann aber diesen Kleinfischen in verschiedenen Fliessgewässern im Kanton Zürich heute wieder ab und zu begegnen.





Invasive Flohkrebse dezimieren die Wasserinsekten in der Limmat

Invasive Flohkrebse aus dem Donauegebiet dringen in die Limmat vor

Im Sommer 2006 wurde der zuvor in den Zürichsee eingeschleppte Höckerflohkrebs *Dikerogammarus villosus* erstmals in der Limmat festgestellt. Er besiedelte die Flusssohle in kurzer Zeit in mittleren bis hohen Dichten. In den folgenden Jahren nahm die Dichte insgesamt wieder ab, mit örtlich und zeitlich grossen Schwankungen. Entgegen der anfänglichen Befürchtungen wurden während der ersten zehn Jahre nach dem Auftauchen des räuberisch lebenden *D. villosus* keine nachteiligen Effekte auf die Wirbellosenfauna in der Limmat festgestellt.

Im Herbst 2014 wurde erstmals ein einzelnes Individuum des Stachelflohkrebses *Echinogammarus ischnus* in der Limmat bei Oetwil gefunden. Wie der Höckerflohkrebs stammt er ursprünglich aus dem Donauegebiet und hat sich inzwischen ebenfalls in der Limmat etabliert.

Massiver Rückgang der Wasserinsekten seit 2018

Im trockenen Sommer 2018 herrschten in der Limmat sehr niedrige Abflüsse und hohe Wassertemperaturen. Um den Einfluss dieser Stresssituation auf die Kleintierfauna zu untersuchen, wurden im Oktober 2018 zwei Stellen an der Limmat bei Höngg und bei Dietikon gemäss der Methode MSK IBCH untersucht. Die Befunde zeigten vor allem bei der Probestelle Höngg eine massive Verschlechterung des Zustands im Vergleich zu früheren Aufnahmen (IBCH = 8, unbefriedigend). Auch im Frühling 2019 wurde die Stelle bei Höngg im

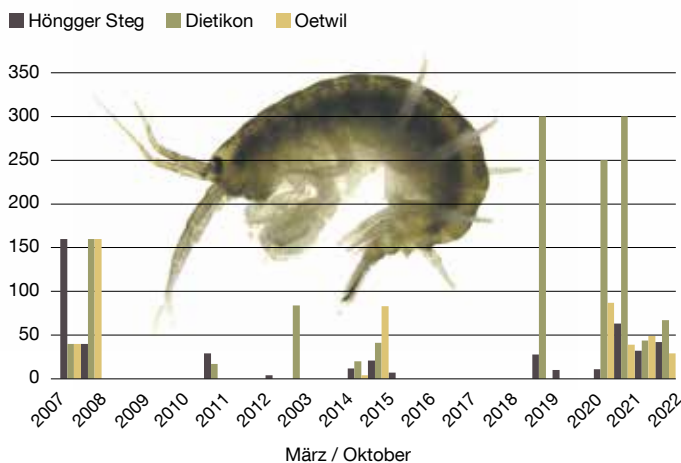
Rahmen der NAWA Untersuchungen als unbefriedigend beurteilt (IBCH = 7). Im März 2020 wurde die Limmat an fünf Stellen entlang der ganzen Fließstrecke umfassend mittels Tauchtransekten beprobt. Die Resultate brachten das ganze Ausmass des Artenschwunds zu Tage: Im Vergleich zu den Aufnahmen von 2010 war die Artenvielfalt um rund 2/3 reduziert (von 69 Taxa auf 23, bzw. 24 Taxa pro Probestelle), Eintagsfliegen fehlten fast vollständig, Köcherfliegen waren nur noch in tiefer Anzahl vorhanden. Der Befund war an allen Stellen und über die ganze Flussbreite ähnlich [2]. Bis zum Frühling 2021 war keine Erholung bei diesen Insektenordnungen erkennbar. Die übrigen Wirbellosen wie Zweiflügler, Weichtiere oder Würmer waren nicht so stark betroffen und teilweise noch in normalen Dichten vorhanden.

Auf der Suche nach Ursachen für den massiven Rückgang

Der trockene Sommer 2018 mit hohen Wassertemperaturen bedeutete Stress für viele Kleintiere in Fließgewässern. Jedoch hatte sich die Kleintierfauna in anderen kleineren Gewässern, die im Sommer 2018 unter noch viel stärkerem Trockenstress als die Limmat litten, bis zum Frühling 2019 längst wieder erholt. Der anhaltend schlechte Zustand in der Limmat über bislang drei Jahre kann also nicht mit dem trockenen Sommer 2018 erklärt werden. Auch chemische Beeinträchtigungen der Limmat scheiden als Ursache für den Rückgang aus, da Schadstoffe mit einer derart massiven Wirkung über einen so langen Zeitraum durch das Monitoring der Wasserqualität entdeckt worden wären.

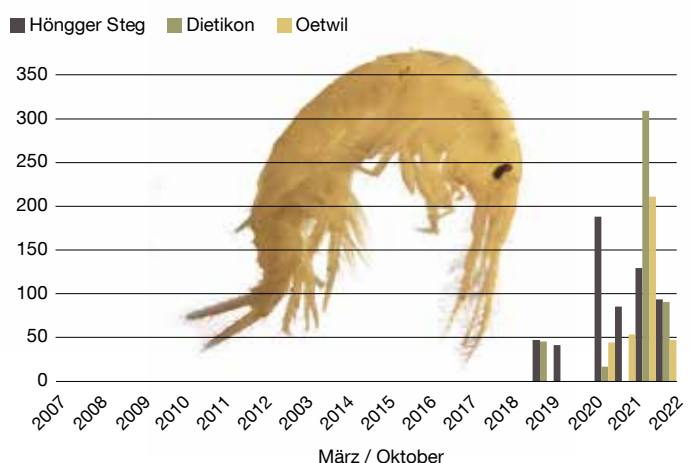
Höckerflohkrebs

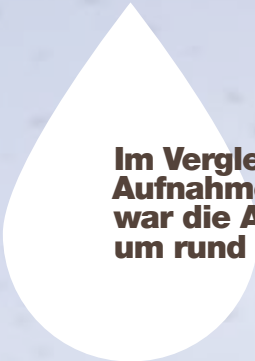
Dikerogammarus villosus



Stachelflohkrebs

Echinogammarus ischnus





Im Vergleich zu den Aufnahmen von 2010 war die Artenvielfalt um rund 2/3 reduziert.

Hoher Frassdruck und Stress durch Trockenheit lassen Bestände von Wasserinsekten einbrechen

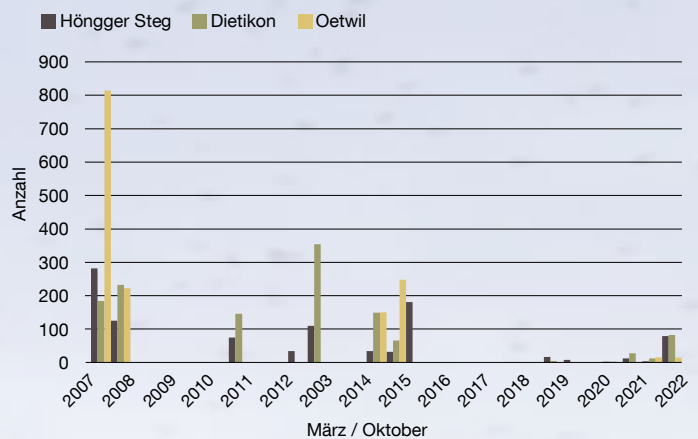
Negative Effekte von eingeschleppten räuberischen Flohkrebse auf die ansässige Wirbellosenfauna sind von verschiedenen europäischen und amerikanischen Fließgewässern bekannt. Die stärkste Frassaktivität wird dabei *D. villosus* zugeschrieben [3]. Aber auch von *E. ischnus* ist bekannt, dass er Wasserinsekten frisst. Als wahrscheinlichste Ursache für den Zusammenbruch der Insektenbestände in der Limmat wird daher der starke Frassdruck durch die beiden neozoischen Flohkrebse in Kombination mit dem sehr trockenen Sommer 2018 betrachtet. Eine Analyse der Individuendichten von Köcher- und Eintagsfliegen aus der Limmat zwischen 2007 und 2021 zeigt, dass normale bis hohe Dichten dieser beiden Insektenordnungen nur bei gleichzeitig geringen Dichten der räuberischen Flohkrebse gefunden werden. Steigt die Flohkrebse dichte über einen Wert von ca. 200 Individuen pro Probe an, so werden nur noch geringe Dichten bei den Eintags- und Köcherfliegen gefunden.

Refugien und Wiederbesiedlung

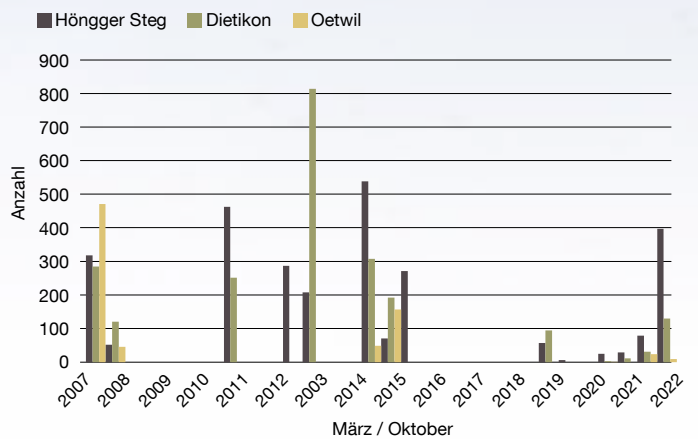
Untersuchungen des Besiedlungsmusters der Kleintiere in der Limmat im Sommer 2021 zeigten, dass einheimische Arten an kleinräumigen, naturnahen Stellen mit vielfältigen Lebensraumstrukturen noch in nahezu ursprünglichen Dichten vorhanden waren. In monotoneren Habitaten, die einen Grossteil der Limmatsohle ausmachen, waren die Insekten dichten generell tief und die Flohkrebse dichten hoch [4]. Dies unterstreicht die ökologische Bedeutung von naturnahen, vielfältigen Lebensraumstrukturen auch im Hinblick auf den Schutz der Fauna vor invasiven Neozoen. Revitalisierungen in grösseren Fließgewässern, die oft besonders stark von Invasionen von Neozoen betroffen sind, könnten die Auswirkungen solcher Ereignisse dämpfen und die Wiederbesiedlung beschleunigen.

Im Oktober 2021 war die Dichte der beiden invasiven Flohkrebse in der Flusssohle der Limmat wieder deutlich geringer. Gleichzeitig wurden erstmals seit 2018 wieder höhere Dichten von Köcherfliegenlarven der Gattung *Hydropsyche* (Wassergeistchen) festgestellt. Larven von Eintagsfliegen waren ebenfalls wieder etwas zahlreicher vorhanden. Auch wenn die ursprüngliche Artenvielfalt bei weitem noch nicht wieder vorhanden ist, zeigt dies doch, dass bei manchen Organismen eine Wiederbesiedlung aus kleinen Restbeständen in kurzer Zeit möglich ist. Im Mai 2022 konnten an der Limmat auch wieder die typischen Hochzeitsschwärme der adulten *Hydropsyche* beobachtet werden, und sofort erschienen in den Medien Berichte von Passanten, die sich von den harmlosen Insektenschwärmen belästigt fühlten. Das unnatürliche Fehlen der «Limmatfliegen» in den vier Jahren zuvor wurde in den Medien jedoch nicht erwähnt.

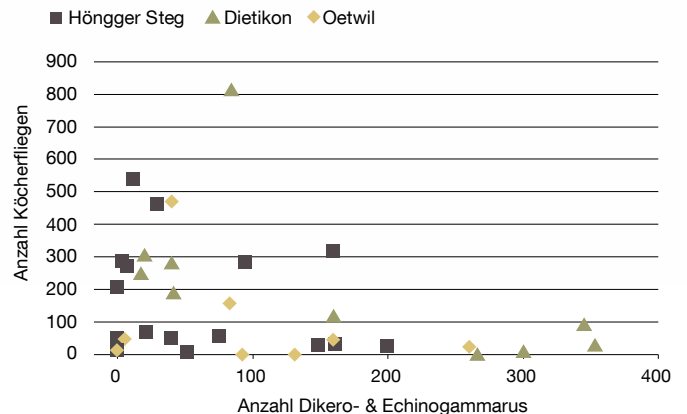
Eintagsfliegen



Köcherfliegen



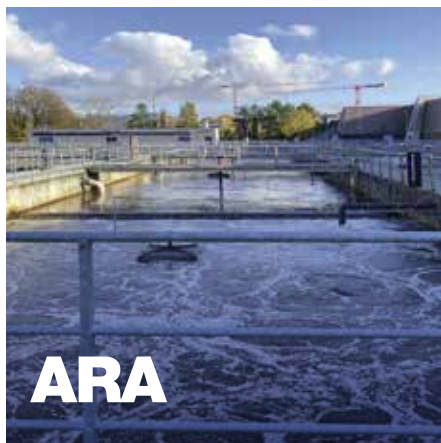
Einfluss der Flohkrebse dichte auf die Köcherfliegen



Synthese und Handlungsbedarf

Nährstoffe

Die Belastung der Fliessgewässer mit Nährstoffen hat trotz Bevölkerungswachstum nochmals leicht abgenommen. Die Nitritkonzentrationen erfüllten die Zielvorgaben erstmals vollständig. Zur Reduktion der zu hohen Nitratkonzentrationen sind hingegen weitere Massnahmen erforderlich.



Handlungsbedarf Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

Alle ARA werden regelmässig überprüft und erfüllen mit wenigen Ausnahmen die geltenden Einleitungsbedingungen. Um diesen hohen Stand zu halten, müssen die ARA laufend unterhalten und dem technischen Fortschritt angepasst werden.

Zudem sind weitere Anstrengungen erforderlich:

- ARA mit ungenügender Reinigungsleistung müssen Sofortmassnahmen einleiten und innerhalb vorgegebener Fristen erweitert oder saniert werden.
- Im Zusammenhang mit Erweiterungen von ARA werden vom AWEL in Zukunft vermehrt Anforderungen an die Gesamtstickstoffelimination gestellt. Bisher verfügen zwei Drittel aller ARA über eine Stufe zur Teilentfernung von Stickstoff, haben aber bezüglich Stickstoffelimination noch keine Anforderungen zu erfüllen.
- Vielfach vermögen ARA eine höhere Reinigungsleistung zu erbringen, als gefordert wird. Die Angabe von Zielwerten für Nährstoffe, die mit dem heutigen Stand der Reinigungstechnik erreicht werden können, soll ARA-Betreibern helfen, geeignete Massnahmen zur Verbesserung der Reinigungsleistung auf ihren ARA zu ergreifen und den Eintrag schädlicher Stoffe weiter zu vermindern.

- Bei anstehenden Erneuerungen oder Erweiterungen von Anlagen an übermässig mit gereinigtem Abwasser belasteten Gewässern muss die Aufhebung von ARA geprüft werden. Durch den Anschluss an andere ARA können Gewässerabschnitte nachhaltig von chronischer Belastung befreit werden. Gerade bei kleinen Bächen macht das gereinigte Abwasser jedoch einen hohen Anteil am Gesamtabfluss aus. Mit der Aufhebung einer solchen ARA müssen somit unter Umständen auch Massnahmen im Bach getroffen werden, damit es während Trockenperioden nicht zu einer ungenügenden Wasserführung kommt. Bereits vor 2012 wurden die ARA in Hittnau, Maschwanden und Rifferswil an eine grössere ARA in der Umgebung angeschlossen. Seit 2012 kamen weitere ARA hinzu: Fischenthal, Glattfelden, Hirzel, Ottenbach, Weisslingen, Rheinsfelden und Zumikon.

National- und Ständerat haben erkannt, dass zur Reduktion der Stickstoffbelastung unserer Gewässer weitere Massnahmen in der Abwasserreinigung erforderlich sind. Beide Räte haben der Überweisung der Motion «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen» (20.4261 WAK-NR) zugestimmt. Unter Einbezug der Forschung, der Fachverbände und kantonaler Fachstellen ist das BAFU zurzeit mit der Ausarbeitung einer Vorlage beschäftigt.



Siedlungs- entwässerung

Handlungsbedarf Siedlungsentwässerung

Bei Regen gelangen durch Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung beachtliche Nährstoffmengen in die Gewässer. Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, um diese Belastungen weiter zu reduzieren:

- Mit einer optimierten Dimensionierung der Regenbecken (RB) kann die stoffliche Belastung weiter verringert werden.
- Mit einem Management des Gesamtsystems (Kanäle, RB, ARA) kann die Abwasserentlastung in Gewässer und somit die Gewässerbelastung reduziert werden.
- Durch eine vermehrte Abtrennung oder Versickerung von nicht verschmutztem Regenabwasser kann die Reinigungsleistung auf der ARA verbessert und die Entlastungshäufigkeit aus den Regenbecken in die Gewässer reduziert werden.

All diese Massnahmen sind im Rahmen der generellen Entwässerungsplanung auf Stufe Gemeinde (GEP) oder Zweckverband einer ARA zu planen. Die Planung muss periodisch überprüft und allfällige Defizite behoben werden. So wurden durch den Ausbau der Beckenvolumen der Regenwasserrückhalt beispielsweise in Bülach, Eglisau, Glattfelden und Winterthur vergrössert und die Entlastungsmengen weiter reduziert. Dank Netzbewirtschaftungskonzepten für die Einzugsgebiete der beiden ARA Uster und Fällanden konnte die Entlastung der Schmutzfrachten in die Gewässer reduziert werden.



Landwirtschaft

Handlungsbedarf Landwirtschaft

Durch Abschwemmung und Auswaschung von Düngern sowie Erosion von Feinerde aus landwirtschaftlich intensiv genutzten Böden gelangen Nährstoffe in die Gewässer. Verschiedene Massnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge in die Gewässer wurden bisher umgesetzt. Sie müssen konsequent weitergeführt und wenn möglich verstärkt werden.

- Mit der Förderung einer standortgerechten landwirtschaftlichen Bodennutzung, der integrierten oder biologischen Produktion von Nahrungsmitteln, einer angepassten Bodenbearbeitung und dem sachgerechten Einsatz von Dünger können Abschwemmung, Auswaschung und Erosion aus landwirtschaftlich genutzten Gebieten reduziert werden.
- Das konsequente Ausscheiden des Gewässerraums und von Pufferstreifen entlang der Gewässer sowie das Einhalten des Düngeverbots auf diesen Flächen tragen ebenfalls zur Nährstoffreduktion bei.
- Die landwirtschaftliche Schulung und Beratung soll weitergeführt, den aktuellen Entwicklungen angepasst und bei Bedarf ausgebaut werden.

Im April 2022 hat der Bundesrat Änderungen verschiedener Verordnungen im Bereich Landwirtschaft verabschiedet, die für die Nährstoffbelastung der Gewässer relevant sind.

- Für Stickstoff- und Phosphorverluste aus landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde ein qualitatives Reduktionsziel festgelegt. Verglichen mit den Jahren 2014 bis 2016 soll die Reduktion der Verluste bis zum Jahr 2030 für Stickstoff und Phosphor mindestens 20 % betragen (SR 919.118).
- In der Nährstoffbilanz der Betriebe wird der bisher tolerierte Fehlerbereich von plus 10 % für Stickstoff und Phosphor aufgehoben. Ab dem Jahr 2024 darf somit die Nährstoffbilanz mit maximal 100 % abgeschlossen werden (DZV 910.13).

Synthese und Handlungsbedarf

Mikroverunreinigungen

Die Belastung der Fliessgewässer mit Mikroverunreinigungen geht zurück. Bei den mittleren und grossen Fliessgewässern macht sich vor allem der Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen mit einer zusätzlichen Stufe zur Elimination der Mikroverunreinigungen bemerkbar, bei den kleinen Fliessgewässern sind es die Anstrengungen in der Landwirtschaft, die bei den Herbiziden zu einer Reduktion der Belastung führten. Um den Tieren und Pflanzen in den Gewässern sauberes Wasser bieten zu können und die gute Qualität unseres Trinkwassers zu sichern, müssen die initiierten Massnahmen fortgesetzt und teilweise ergänzt werden.



Massnahmen an der Quelle leisten den wichtigsten Beitrag zur Reduktion der Mikroverunreinigungen. Sie sollen verhindern, dass die betreffenden Stoffe überhaupt in die Umwelt gelangen. Sie umfassen vor allem gesetzgeberische Massnahmen sowie die Information und Beratung zur Verwendung von Produkten, die umweltgefährliche Chemikalien enthalten.

Regulierung über die gesetzlichen Vorgaben

Gesetzgeberische Massnahmen, z.B. im Rahmen des Chemikalien- oder des Umweltrechts, sind geeignet, einzelne Stoffe oder Stoffgruppen zu verbieten oder deren Verwendung zu regeln. Sie richten sich an die Hersteller von Produkten, die umweltgefährliche Stoffe enthalten, und an die Verwender dieser Produkte. Die Hersteller sollen dazu motiviert oder gezwungen werden, umweltgefährliche Stoffe durch weniger schädliche zu ersetzen oder ihre Produkte so zu gestalten, dass bei ihrer Verwendung und Entsorgung keine Mikroverunreinigungen entstehen. Die Verwender werden in der Benützung umweltgefährlicher Produkte eingeschränkt.

Als Beispiel für ein Stoffverbot kann Atrazin erwähnt werden, das seit dem Jahr 2012 in der Schweiz verboten ist, weil die Verbindung selbst und sein wichtigstes Abbauprodukt, das Desethylatrazin, im Grundwasser nachgewiesen werden konnten. Das sogenannte Herbizidverbot ist ein Beispiel dafür, wie die Verwendung einer bestimmten Gruppe von Produkten geregelt werden kann. Zum Schutz des Grund- und Trinkwassers

ist es verboten, Herbizide auf und an Strassen, Wegen und Plätzen sowie auf Dächern und Terrassen zu verwenden, weil die Wirkstoffe von dort leicht aus- und abgewaschen werden und so direkt in die unter- und oberirdischen Gewässer gelangen können. Aus diesem Grund gibt es auch für Biozidprodukte gegen Algen und Moose ein solches Verbot.

Information und Beratung

Über Information und Beratung sollen private und professionelle Verwender von Chemikalien für einen umweltgerechten Umgang mit gefährlichen Produkten gewonnen werden. Am meisten gedient ist der Umwelt natürlich, wenn ganz auf diese Produkte verzichtet wird. Ist ihr Einsatz unumgänglich, gilt es, das Richtige auszuwählen und umweltgerecht anzuwenden. Dazu gehören die korrekte Dosierung, die massvolle Verwendung und die Beachtung von Verwendungseinschränkungen und -verboten. Am Schluss steht die richtige Entsorgung: Reste von Chemikalien dürfen auf keinen Fall in die Kanalisation gelangen, sondern müssen zurück zur Verkaufs- oder Sammelstelle für Sonderabfälle gebracht werden. Die Internetseite «wasser-wissen.ch» des VSA hat zum Ziel, die Bevölkerung über die Problematik der Mikroverunreinigungen und einen umweltgerechten Umgang mit Chemikalien zu informieren.



wasser-wissen.ch



Massnahmen zur Reduktion der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie

Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie gelangen hauptsächlich mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer. Allgemein wird damit gerechnet, dass die Belastung des Abwassers durch Mikroverunreinigungen weiterhin zunehmen wird. Einerseits dürften sowohl die Vielfalt der Chemikalien als auch der Produkte, die Chemikalien enthalten, grösser werden, andererseits wachsen die Bevölkerung und mit ihr die Verkaufsmengen dieser Produkte. Zudem steigt das Durchschnittsalter der Bevölkerung, was einen höheren Verbrauch an Arzneimitteln bedeutet.

Die Problematik der Mikroverunreinigungen, die mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer gelangen, wird durch die Klimaerwärmung verstärkt. Wenn Phasen mit trockener Witterung häufiger werden, treten auch mehr Niedrigwasserstände in den Bächen und Flüssen auf. Dies bedeutet eine schlechtere Verdünnung des gereinigten Abwassers und somit höhere Konzentrationen von Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie in den Fliessgewässern.

Bei den Massnahmen, welche die Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie reduzieren sollen, unterscheidet man zwischen dezentralen und zentralen Massnahmen.

Dezentrale Massnahmen

Vorbehandlung des Abwassers

Die Vorbehandlung des Abwassers bietet sich dort an, wo im grossen Massstab Stoffe ins Abwasser gelangen, die in den Gewässern schliesslich als Mikroverunreinigungen enden. Industriebetriebe, Spitäler oder Altersheime sind Orte, bei denen es sinnvoll sein kann, das Abwasser vorzubehandeln, sofern sie einen massgeblichen Anteil zur gesamten Abwasserfracht beitragen.

Optimierung der Siedlungsentwässerung

Ein Schwachpunkt der heutigen Siedlungsentwässerung ist, dass Mischwasserkanäle bei starken Regenfällen ungerinigtes Abwasser direkt in Flüsse, Bäche und Seen entlasten. Auch aus undichten Abwasserkanälen kann permanent ungeklärtes Abwasser in die unter- und oberirdischen Gewässer eindringen. Verringern lassen sich diese Einträge durch die konsequente Versickerung oder den Rückhalt und die Nutzung von unverschmutztem Regenwasser, die Sanierung undichter Kanäle, den Bau grösserer Regenrückhaltebecken und die optimierte Bewirtschaftung des gesamten Kanalnetzes.

Zentrale Massnahmen

Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen

Um den Eintrag von Mikroverunreinigungen aus Abwasserreinigungsanlagen zu vermindern, müssen zukünftig die grössten ARA sowie ARA mit mehr als 8000 angeschlossenen Personen an Gewässerabschnitten mit ungenügender Verdünnung des eingeleiteten gereinigten Abwassers mit einer Stufe für die Elimination von Mikroverunreinigungen ausgerüstet werden. Bis im Jahr 2035 müssen deshalb im Kanton Zürich 34 Anlagen mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe ergänzt werden. Als Verfahren stehen die Adsorption an pulverförmiger oder granulierter Aktivkohle sowie die Behandlung mit Ozon zur Verfügung. Diese Technologien vermögen eine Vielzahl von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Schweizweit soll damit die aus Abwasserreinigungsanlagen eingetragene Fracht an Mikroverunreinigungen um 70 % reduziert werden.

Zusammenschluss von Abwasserreinigungsanlagen

Eine weitere Verbesserung lässt sich erreichen, wenn kleine Abwasserreinigungsanlagen an moderne grosse Anlagen angeschlossen werden. Diese Massnahme verbessert nicht nur die Reinigung des Abwassers, sondern ermöglicht oft auch die Einleitung in ein grösseres Gewässer, was ein besseres Verdünnungsverhältnis zur Folge hat. Grössere Einzugsgebiete erlauben auch ein effizienteres Management des Einzugsgebiets mit professioneller Bewirtschaftung der Siedlungsentwässerung. Neben verbesserter Reinigungsleistung können mit dem Betrieb grösserer Anlagen auch Kosten reduziert werden.



Massnahmen zur Reduktion der Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten

Aktionsplan Pflanzenschutzmittel

Im September 2017 hat der Bundesrat den «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» (AP PSM) verabschiedet. Ziel des AP PSM ist es, die Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und die Einträge in die Umwelt zu verringern. Er beschreibt die Risiken, die der Einsatz von Pflanzenschutzmittel mit sich bringt, definiert die Reduktionsziele und schlägt 51 Massnahmen vor, mit deren Hilfe sie erreicht werden sollen. Insgesamt sollen die Anwendungen von Pflanzenschutzmittel nachhaltiger und die Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz gefördert werden. Damit werden auch die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen geschützt. Als konkretes Zwischenziel wurde definiert, die Anzahl Abschnitte des Schweizer Fliessgewässernetzes, in denen die numerischen Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung überschritten werden, bis 2027 zu halbieren. Im September 2021 waren 29 Massnahmen geprüft oder eingeführt, weitere 22 Massnahmen waren zu diesem Zeitpunkt in Erarbeitung.

Synthese und Handlungsbedarf | Mikroverunreinigungen



Schliessung des Regelkreises zwischen Umweltbeobachtung und Zulassung von Pestiziden

Damit der Regelkreis zwischen Umweltbeobachtung und Zulassung geschlossen werden kann, braucht es Regeln, wann und wie die Überprüfung der Zulassung eines Pestizids ausgelöst werden soll. In Art. 9 Abs. 3 des Gewässerschutzgesetzes, der am 1.1.2023 in Kraft tritt, muss eine Zulassung für Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (Pestizide) überprüft werden, wenn:

- a. in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind, der Grenzwert von 0.1 µg/l für Pestizide oder für deren Abbauprodukte wiederholt und verbreitet überschritten wird; oder
- b. in Oberflächengewässern die ökotoxikologisch begründeten Grenzwerte für Pestizide wiederholt und verbreitet überschritten werden.

Mit einer Revision der Gewässerschutzverordnung, die im Frühjahr 2022 in Vernehmlassung geschickt wurde, soll geregelt werden, was «wiederholt und verbreitet» heisst. In diesem Zusammenhang gilt es auch die Dringlichkeit zu betonen, für weitere Pestizide die ökotoxikologischen Werte in der GSchV als Anforderungen festzulegen. Die nationalen und kantonalen Untersuchungen zeigen deutlich, welche Pestizide in den Gewässern problematisch sind und demzufolge eine Überprüfung der Zulassung erfordern.

Zudem gilt es auf die grossen Unterschiede hinzuweisen, die es in der Schweiz bei der Bewilligung und der Reevaluation von Wirkstoffen gibt, je nachdem, ob sie Bestandteil eines Pflanzenschutzmittels oder eines Biozidprodukts sind. Da das Genehmigungsverfahren von Biozidprodukten mit der EU harmonisiert ist, übernimmt die Schweiz alle diesbezüglichen Zulassungen aus der EU. So kommt es, dass Wirkstoffe, die in der Schweiz in Pflanzenschutzmitteln längst verboten sind (Bsp. Fipronil oder Clothianidin), weiterhin in Biozidprodukten erlaubt sind. Diese Ungleichheit muss aufgehoben werden.



Nichtberufliche Verwendung von Pflanzenschutzmitteln

Nichtberufliche Verwendung von Pflanzenschutzmitteln in Haus und Garten tragen wesentlich zur Belastung unserer Gewässer mit Pestiziden bei. Mit dem AP PSM sind deshalb verschiedene Massnahmen zur Verringerung der Risiken durch die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln im nicht-beruflichen Bereich beschlossen worden.

Liste von PSM für die nichtberufliche Verwendung

Pflanzenschutzmittel werden auf Gesuch daraufhin geprüft, ob sie für die nichtberufliche Verwendung bewilligt werden können (private Verwendung, «Hobby»-Verwendung). Dabei werden in erster Linie die einfache Dosierbarkeit sowie die Gesundheitsrisiken für die Anwender beurteilt. Wenn die Produkte die Anforderungen erfüllen, wird der Satz «Bewilligt für die nichtberufliche Verwendung» in der Bewilligung aufgeführt. Im Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis (psm.admin.ch/de/produkte) des Bundesamts für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen sind diese Pflanzenschutzmittel in einer zusätzlichen Spalte gekennzeichnet («nichtberufliche Verwendung»). Die Pflanzenschutzmittelverordnung verbietet seit Januar 2021 die Abgabe von Produkten, die nur für die berufliche Verwendung bewilligt sind, an nichtberufliche Verwenderinnen und Verwender.

Zusätzliche Anforderungen für Pflanzenschutzmittel für die nichtberufliche Verwendung

Ein neuer Absatz der Pflanzenschutzmittelverordnung, der mit dem 11. Verordnungspaket Umwelt 2022 zur Konsultation gebracht wurde, soll zusätzliche Anforderungen für die Produkte festlegen, die für eine nichtberufliche Verwendung zugelassen werden sollen. Sie tragen dem Umstand Rechnung, dass nichtberufliche Verwenderinnen und Verwender im Gegensatz zu den Beruflichen nicht ausgebildet sind und sich der Gefahren für Mensch und Umwelt, die von Pflanzenschutzmitteln ausgehen, viel weniger bewusst sind. Die folgenden Punkte könnten einen wichtigen Beitrag zum Schutz der Gewässer leisten:

- Produkte, die giftig oder sehr giftig für Wasserorganismen mit einer akuten oder chronischen Wirkung sind, sollen von der nichtberuflichen Verwendung ausgeschlossen werden. Diese Bestimmung hat für den Gewässerschutz höchste Priorität. Zu den betroffenen Produkten gehören vor allem die Insektizide. Sie nehmen innerhalb der Pestizide eine Sonderstellung ein, da sie bereits in sehr tiefen Konzentrationen



Berufliche Verwendung

die im Wasser lebenden Tiere gefährden. Unsere Messungen zeigen, dass in vielen Fließgewässern Konzentrationen von Insektiziden vorliegen, die für die Wasserorganismen eine Gefahr bedeuten. Aus Sicht des Gewässerschutzes ist es unverantwortlich, dass diese hoch toxischen Wirkstoffe für den Hobbybereich heute noch erhältlich sind.

- Herbizide sollen nicht mehr für die nichtberufliche Anwendung zugelassen werden. Dies löst das Problem des «Herbizidverbots» (Anh. 2.5 Ziffer 1.1 ChemRRV), das aus unserer Erfahrung von Privaten nur ungenügend eingehalten wird und schwierig zu kontrollieren respektive durchzusetzen ist.
- Substitutionskandidaten sind Wirkstoffe mit bestimmten unerwünschten Eigenschaften, die zwar zugelassen sind, soweit als möglich aber durch andere Stoffe ersetzt werden sollen. Zum Schutz von Mensch und Umwelt sollen den nichtberuflichen Verwenderinnen und Verwendern keine Produkte mehr zur Verfügung stehen, die Substitutionskandidaten enthalten.

Eine weitere Bestimmung soll sicherstellen, dass der Öffentlichkeit gebrauchsfertige Produkte in angemessenen Verpackungsgrößen zur Verfügung gestellt werden. Damit entfällt die Verdünnung von konzentrierten Produkten, die das Risiko von Verunreinigungen der Umwelt erhöht. Werden Reste von Konzentraten oder Wasser, das zum Spülen von Utensilien wie Messbecher verwendet wurde, im Schüttstein entsorgt, gelangen die Wirkstoffe über die Abwasserreinigungsanlagen in die Gewässer. Wird die Spritzbrühe selbst zubereitet, bleiben nach der Behandlung zudem oft Reste übrig, die entsorgt werden müssen.

Berufliche Verwendung von Pflanzenschutzmitteln

Innenreinigung von Spritzen

Seit dem Jahr 2017 wird für die Aufrüstung von Feld- und Gebläsespritzen oder die Anschaffung von Neugeräten mit einem automatischen Spülsystem mit separatem Spülkreislauf gemäss Direktzahlungsverordnung ein einmaliger Betrag pro Feld- oder Gebläsespritze ausgerichtet. Nach Ablauf der Förderung soll der Einsatz solcher Innenreinigungssysteme für Spritzgeräte innerhalb des Ökologischen Leistungsnachweises ab 2023 obligatorisch werden. Mit dem Verordnungspaket Umwelt Frühling 2022 wurde auch eine Bestimmung in die Vernehmlassung geschickt, welche die Auflagen für Spritzgeräte ausserhalb des ÖLN betraf. Eine weitere Änderung der Pflanzenschutzmittelverordnung betrifft die Vorschriften zur Ausrüstung von Spritzgeräten mit Spülwassertanks, welche die Reinigung des Spritzgeräts auf der behandelten Fläche unmittelbar nach der Anwendung ermöglichen. Dadurch wird verhindert, dass Reste von Pflanzenschutzmitteln später auf andere Flächen und schliesslich durch Abschwemmung oder über die Kanalisation in die Gewässer gelangen. Für ÖLN-Betriebe gilt seit 2011, dass zapfwellenangetriebene oder selbstfahrende Geräte mit einem Behältervolumen von mehr als 400 Litern mit einem Spülwassertank ausgerüstet sein müssen. Diese Anforderung soll nun auch für die entsprechenden Spritzgeräte ausserhalb des ÖLN gelten.

Waschplätze

Zur Verhinderung punktueller Einträge von Pflanzenschutzmitteln werden seit dem Jahr 2018 die Einrichtung von Befüll- und Waschplätzen von Spritz- und Sprühgeräten mit Strukturverbesserungsbeiträgen vom Bund und den Kantonen unterstützt. Das bei der Reinigung der Geräte anfallende pflanzenschutzmittelhaltige Abwasser wird aufgefangen und separat behandelt. Damit können die Einträge von Pflanzenschutzmitteln in die Gewässer deutlich reduziert werden.

Im Jahr 2020 wurde eine Interkantonale Empfehlung zum Thema Befüll- und Waschplätze publiziert [5]. In dieser Empfehlung werden die Anforderungen an die Befüll- und Waschplätze detailliert erläutert. Zudem hat Agridea ein Merkblatt zu diesen Empfehlungen für die Praktiker erstellt.

Die Überprüfung der Befüll- und Waschplätze wurde 2022 in die ÖLN-Kontrollen aufgenommen. Das Waschwasser, das mit Pflanzenschutzmitteln belastet ist, muss fachgerecht entsorgt werden. Die Entrichtung von Direktzahlungen setzt voraus, dass der Beitragsbezüger die Anforderungen des ÖLN auf dem gesamten Betrieb erfüllt.

Verbot der Wirkstoffe mit besonderem Risikopotenzial

Für den Gewässerschutz von grosser Bedeutung ist das «Verordnungspaket für sauberes Trinkwasser und eine nachhaltigere Landwirtschaft», das der Bundesrat am 13. April 2022 beschlossen hat. Ab Januar 2023 soll demzufolge die Verwendung von Wirkstoffen mit besonderem Risikopotenzial für Betriebe im ÖLN nicht mehr zulässig sein. Allerdings werden Sonderbewilligungen für den Einsatz von Wirkstoffen auf Kulturen, wo keine risikoärmere Alternative zur Verfügung steht, möglich bleiben.

Weiterbildungspflicht und weitere Massnahmen

Die Pflicht zur periodischen Weiterbildung bei beruflicher Anwendung ist nur ein Beispiel aus einer Vielzahl weiterer Massnahmen, die im Rahmen des AP PSM bereits umgesetzt werden oder sich noch in Vorbereitung befinden.

Synthese und Handlungsbedarf

Schwermetalle, PCB und PAK

Cadmium und Quecksilber wurden zwischen 2018 und 2022 nie, Chrom, Blei und Nickel nur vereinzelt in unerwünscht hohen Konzentrationen in den Gewässersedimenten gefunden. PCB und PAK überschritten die Zielvorgaben in 14 %, Kupfer und Zink in 39 % beziehungsweise 32 % aller Abschnitte. Dabei steigt die Kupfer- und Zinkbelastung mit zunehmender Siedlungsfläche im Einzugsgebiet an. In den mittleren und grossen Fliessgewässern wurden die Zielvorgaben für Schwermetalle sowie PAK und PCB mit wenigen Ausnahmen eingehalten. In der Glatt, wo der Siedlungsdruck besonders hoch ist, und in vielen kleineren Fliessgewässern kommt es dagegen sehr oft zu Überschreitungen.



Handlungsbedarf Siedlungsentwässerung

Im Abrieb von Bremsen und Reifen sind Kupfer, Zink und Cadmium vorhanden, die mit dem Regenwasser von entwässerten Verkehrswegen in die Gewässer gelangen können. Kupfer und Zink werden zudem mit dem Regen auch aus Baumaterialien ausgewaschen und gelangen über die Mischwasserkanalisation in die ARA. Dort werden – mit Ausnahme von Nickel, dessen Rückhalt tiefer ist – 70 bis 90 % der Schwermetalle im Klärschlamm zurückgehalten. Die restlichen Schwermetalle gelangen in die Fliessgewässer und Seen. In Siedlungsgebieten mit Trennsystem gelangen diese Stoffe über die Regenabwasserkanalisation direkt in die Gewässer. PAK und PCB stammen aus verschiedenen Quellen und gelangen teils über die Luft, teils direkt über die Entwässerung belasteter Flächen in die Gewässer.

Mit verschiedenen Projekten wurden offene Fragen geklärt und Massnahmen zur Verringerung dieser Schadstoffeinträge in die Fliessgewässer und Seen erarbeitet:

- Die Strategie «Gewässerschutz an Strassen» (TBA / AWEL) zeigt, bei welchen bestehenden Strassenabschnitten Handlungsbedarf zur Verringerung des Schadstoffaustrages oder der hydraulischen Belastung besteht.
- Im Rahmen von Leistungsbeurteilungen bestehender Strassenwasserbehandlungsanlagen an Staatsstrassen konnte die Wirksamkeit der Reinigungsleistung verschiedener Anlagentypen ermittelt und verglichen werden. Die Erkenntnisse dieser Untersuchungen wurden in die Strategie «Gewässerschutz an Strassen» überführt.
- Durch die vermehrte Versickerung von Regenabwasser wird die Schwermetallbelastung der Fliessgewässer reduziert.
- Durch eine grosszügigere Dimensionierung der Regenbecken wird stark belastetes Regenabwasser («First Flush») zurückgehalten und später zur Behandlung auf die ARA abgeleitet.
- Mit einem optimierten Management des Gesamtsystems (Kanäle, RB, ARA) wird die Abwasserentlastung in Gewässer und somit die Gewässerbelastung reduziert.

Synthese und Handlungsbedarf

Ökomorphologie

Der ökomorphologische Zustand als Indikator für die Lebensraumqualität ist in 43 % der Fliessgewässerabschnitte ungenügend. Zusätzlich behindern Durchgängigkeitsstörungen wie z. B. Abstürze und Verrohrungen die Wanderung der Fische und des Makrozoobenthos.

In der Vergangenheit wurden viele Fliessgewässer verbaut, korrigiert, überdeckt und eingedolt. Dies führte zu einem Verlust an natürlichen Lebensräumen im und am Gewässer und einem Rückgang empfindlicher Arten. Mit dem 1989 vom Kanton Zürich ins Leben gerufenen Wiederbelebungsprogramm für Fliessgewässer setzte eine Trendwende ein: weg von geometrisch konstruierten hin zu natürlich strukturierten Bächen und Flüssen. Heute ist die Gewässerstruktur noch in 43 % aller untersuchten Fliessgewässerstrecken ungenügend. Seit den ersten Erhebungen Ende der Neunzigerjahre hat sich die Situation leicht verbessert, wobei vor allem der Anteil eingedolter Abschnitte und Bäche in naturfremdem Zustand gesunken ist.

Mit der Revision des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung im Jahr 2011 traten verschiedene Vorgaben in Kraft, welche die Defizite im ökomorphologischen Zustand in Zukunft vermindern sollen:



Planerischer Schutz

Handlungsbedarf Planerischer Schutz

Die Kantone sind verpflichtet, den für die Gewährleistung der natürlichen Funktionen der Gewässer, den Schutz vor Hochwasser und die Gewässernutzung erforderlichen Raumbedarf der oberirdischen Gewässer (Gewässerraum) festzulegen. Im Kanton Zürich werden nach einem durch den Regierungsrat im Jahr 2016 beschlossenen Konzept zuerst die Gewässerräume der Fliessgewässer im Siedlungsgebiet flächendeckend festgelegt. Dabei erarbeitet der Kanton die Gewässerräume an den Gewässern von kantonaler und regionaler Bedeutung und die Gemeinden diejenigen an den Gewässern von lokaler Bedeutung. In einem zweiten Schritt werden die Gewässerräume im Nicht-Siedlungsgebiet und an den Seen durch den Kanton erarbeitet und festgelegt.

Im Rahmen des «Umsetzungsprogramms Gewässerschutzgesetz» wurden von 2012–2015 die strategischen Planungen zur Revitalisierung der Fliessgewässer und zur Sanierung der negativen Auswirkungen durch die Wasserkraftnutzung im

Bereich Geschiebehaushalt, Schwall und Sunk und Fischgängigkeit erarbeitet. Diese Planungen werden nun in Form von Revitalisierungsprojekten und Sanierungsprojekten bei den Wasserkraftwerken umgesetzt.



Gewässerunterhalt, Revitalisierungen

Handlungsbedarf Gewässerunterhalt und Revitalisierungen

Eingriffe im Gewässer, die zu einer Verbesserung der Gewässerstruktur und damit des Lebensraums führen, können auf unterschiedlichen Ebenen ansetzen. Unterhaltmassnahmen und Gewässerrevitalisierungen zielen darauf ab, die natürliche Strukturvielfalt im Gewässer und angrenzenden Umland zu erhöhen sowie die natürliche Durchgängigkeit wieder herzustellen.

Unterhalt: Defekte harte Uferverbauungen sollen, wo möglich, durch Lebendverbau ersetzt werden. Totholz und Wasserpflanzen sollten, wo immer es der Hochwasserschutz zulässt, nicht vollständig entfernt werden.

Revitalisierungen: Durch Revitalisierungen können Bäche aufgeweitet, ausgedolt, Aufstiegshindernisse beseitigt und die Linienführung sowie Sohlen- und Uferstrukturen naturnäher gestaltet werden. Dadurch entstehen wieder vielfältige und vernetzte Lebensräume für Tiere und Pflanzen.

Die Umsetzung der Revitalisierungsplanung – d. h. die Revitalisierung prioritärer Gewässerabschnitte mit finanzieller Unterstützung durch Bund und Kanton – ist eine auf 80 Jahre ausgelegte Mehrgenerationenaufgabe. Revitalisierungen konnten in den vergangenen Jahren vor allem im Zusammenhang mit Hochwasserschutzmassnahmen realisiert werden. Damit sich die Lebensraumqualität an den Fliessgewässern schneller verbessert als bisher, ist sowohl bei den kantonalen Behörden als auch bei den Gemeinden und privaten Trägerschaften in den nächsten Jahren ein noch grösserer Einsatz erforderlich.

Synthese und Handlungsbedarf

Wasserführung

Die Nutzung der Gewässer zur Stromproduktion und Wasserentnahmen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen beeinträchtigen die ökologische Funktionsfähigkeit verschiedener Gewässerabschnitte. Gegenüber der Vorperiode konnten punktuell Verbesserungen erzielt und in einem weiteren Umfang Planungen gestartet werden.



Handlungsbedarf Wasserkraft

Mit der Revision des Gewässerschutzgesetzes im Jahr 2011 und der nachfolgenden Änderungen der Gewässerschutzverordnung traten verschiedene Vorgaben in Kraft, welche die Defizite in der Wasserführung durch die Stromproduktion in Zukunft vermindern werden:

- Das Betreiben von Wasserkraftanlagen ist konzessionspflichtig und an Auflagen gebunden. Früher unbefristet erteilte Konzessionen sowie ehehafte Wasserrechte können und müssen nach einem Bundesgerichtsurteil von 2019 nun befristet werden. Eine Anpassung der Restwassermengen an die geltenden Restwasservorschriften des GSchG ist indessen erst mit einer Neukonzessionierung durchsetzbar. Der Vollzug dieser Massnahmen geht ressourcenbedingt nur langsam voran.
- Mit der Sanierung von Kraftwerken mit Schwall-Sunk-Betrieb und der Wiederherstellung der Fischwanderung bei Wasserkraftwerken werden die negativen Auswirkungen bei der Stromproduktion weiter vermindert. Inhaber der Anlagen werden neu verpflichtet, wesentliche Beeinträchtigungen mittels baulicher oder betrieblicher Massnahmen zu beseitigen. Die Kosten werden durch einen Zuschlag auf den Strompreis finanziert.

Die Dringlichkeit der Sanierung richtet sich nach dem Grad der Beeinträchtigungen und dem ökologischen Potential des betroffenen Gewässers. Die Kantone legten die Planung dem Bund zur Prüfung vor und reichten den definitiven Massnahmenplan Ende 2014 ein. Seither läuft die Umsetzungsfrist von 16 Jahren. Folgende Projekte befinden sich in der Umsetzung:

- Der Schwall-Sunk-Betrieb der historischen Kraftwerkskette an der Aa zwischen dem Pfäffiker- und Greifensee sollte mit Unterstützung von Geldern aus dem Lotteriefonds auf einen kontinuierlichen Betrieb umgestellt werden. Der vorangehend erwähnte Bundesgerichtsentscheid führte aber dazu, dass das BAFU seine Beurteilungsgrundsätze anpasste und die Sanierungsplanung für den Aabach überprüft werden muss. Zurzeit klären die Kraftwerksbetreiber zusammen mit dem Kanton ab, ob bzw. wie die Sanierung des Aabachs

mit gleichzeitigem Erhalt der Kraftwerkskette realisiert werden kann. Innerhalb der nächsten fünf Jahre sollen mögliche Massnahmen umgesetzt und das Abflussregime der Aa wieder natürlicheren Verhältnissen angenähert werden.

- Der Betrieb des Kraftwerks Horgen beeinträchtigt die Ökologie des Horgener Aabachs. Die Gemeinde Horgen ist daran, ein Projekt zu erarbeiten, welches Lösungsvorschläge zur Beseitigung der Schwall-Sunk-Problematik und zur Erhöhung der Restwassermenge beinhaltet.
- Die Konzession für das KW Manegg an der Sihl wurde aufgehoben und die Planung für den Rückbau des Wehrs in die Wege geleitet.



Handlungsbedarf Landwirtschaft

Die Entnahme von Brauchwasser zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen aus kleinen Fliessgewässern ist in warmen, trockenen Sommern problematisch, weil zu wenig Wasser im Bach verbleibt und sich dieses zu stark erwärmt. Um die negativen Auswirkungen der Wasserentnahmen zu reduzieren, braucht es verschiedene, lokal abgestimmte Massnahmen:

- Als generelle Massnahme wird seit 2005 die Entnahme von Wasser aus kleinen Bächen ($Q_{347} < 60$ l/s) faktisch untersagt (§ 24 Ziff. 1 KonzV WWG). Ausgenommen sind Wasserentnahmen z. B. für Weiherspeisungen, bei denen das entnommene Wasser wieder in den Bach zurückgeleitet wird.
- Im Furttal konnte der Bau eines Versorgungssystems für den Bezug von Wasser aus der Limmat abgeschlossen werden. Damit kann auch bei längeren Trockenperioden die Versorgung mit qualitativ einwandfreiem Wasser zur Bewässerung sichergestellt und gleichzeitig der Furtbach entlastet werden.
- Auch für die Bewässerung der landwirtschaftlichen Kulturen in der Gemeinde Steinmaur und Umgebung ist ein Leitungssystem mit Wasserentnahme aus der Glatt im Bau. Die heutige Verwendung von Trinkwasser und die Wasserentnahme aus dem Fischbach sollen damit ersetzt werden.
- Im Rahmen des Massnahmenplans «Anpassung an den Klimawandel» soll das künftige Wasserdargebot für Bewässerung und Brauchwasserbezug aus den grossen Flüssen und Seen aufgezeigt werden.

Synthese und Handlungsbedarf

Biologischer Zustand

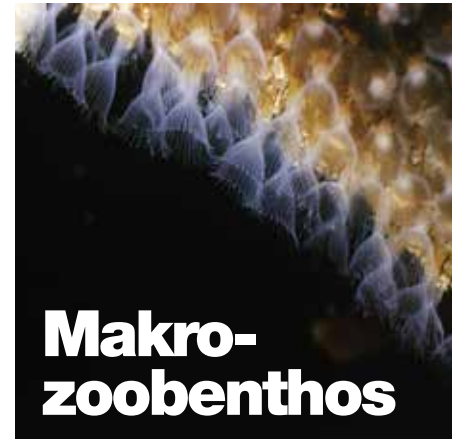
Einen direkten Handlungsbedarf aus den biologischen Indikatoren abzuleiten ist meist nicht möglich, da sie gleichzeitig auf Belastungen aus verschiedenen Bereichen reagieren. Erst in Kombination mit anderen Untersuchungsergebnissen können Ursachen eingegrenzt und Massnahmen festgelegt werden.



**Moose
und Wasser-
pflanzen**



Fische



**Makro-
zoobenthos**

Die biologischen Indikatoren belegen die Verbesserung der Gewässerqualität, die in den letzten Jahren erzielt werden konnte. Die Befunde zeigen aber auch, dass viele Fliessgewässer heute noch keine funktionsfähigen Lebensräume für Tiere und Pflanzen darstellen.

Handlungsbedarf Moose und Wasserpflanzen

Wasserpflanzen sind ein natürlicher Bestandteil von wenig beschatteten Bächen und Flüssen mit gemächlicher Strömung. In rund der Hälfte aller untersuchten Gewässerabschnitte ist die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften nicht standorttypisch oder weist eine eingeschränkte Vielfalt auf. Dafür verantwortlich ist unter anderem die häufig stark veränderte Gewässerstruktur.

Durch Revitalisierungen kann die Vielfalt von Wasserpflanzen in Fliessgewässern erhöht werden. In den letzten Jahren wurden in Zusammenhang mit Revitalisierungen die Wasserpflanzen in mehreren Gewässerabschnitten vor und nach der Revitalisierung untersucht. Revitalisierte Gewässerabschnitte mit einer natürlicheren Struktur des Uferbereichs hatten eine vielfältigere und standortgerechtere Vegetation als vor der Revitalisierung. Dabei stieg insbesondere die Anzahl weit verbreiteter Uferpflanzen an. Seltene Arten dagegen traten nicht vermehrt auf. Eine Vernetzung bestehender isolierter Lebensräume, von wo Arten einwandern können, dürfte den Erfolg von Revitalisierungen deutlich erhöhen.

Neben dem Verbau der Gewässer führen aber auch veränderte Strömungs- oder Nährstoffverhältnisse zu einer Veränderung der natürlichen Pflanzengemeinschaften. Durch die Überdüngung der Gewässer sind Arten, die ihre Hauptverbreitung in nährstoffarmen Gewässern haben, stark zurückgegangen, und sind trotz Abnahme der Nährstoffbelastung nicht zurückgekehrt.

Handlungsbedarf Makrozoobenthos

Verbesserungen in den Bereichen Wasserqualität und Ökonomie führen leider oft nur sehr verzögert und nicht in erhofftem Ausmass zu einer Verbesserung der Fauna. Wenn

die Populationen grossräumig stark dezimiert wurden, lässt der Wiederbesiedlungserfolg oft lange auf sich warten. Eine geschickte Revitalisierungsstrategie muss die existierenden und oftmals isolierten Restbestände empfindlicher Gewässerorganismen durch Korridore und Trittsteine untereinander vernetzen. Dadurch kann die Ausbreitung und Wiederbesiedlung von Wasserorganismen beschleunigt und das Vorkommen kleiner Restpopulationen ausgedehnt und damit gesichert werden.

Auch die Auswirkungen der Klimaveränderung müssen kritisch verfolgt werden. Um negative Veränderungen frühzeitig zu erkennen, sind biologische Methoden, die als Gesamtindikatoren umfassend Auskunft über den Zustand der Gewässer geben, auch für das zukünftige Gewässermonitoring von zentraler Bedeutung.

Handlungsbedarf Fische

Viele Fischarten stehen weit oben in der Nahrungskette und reagieren daher indirekt und verzögert auf verschiedenste Störungen im ökologischen Gefüge. Diese Komplexität erschwert aber auch die Interpretation der Befunde aus den fischereilichen Erhebungen, da in den meisten Gewässern in dicht besiedelten und intensiv genutzten Einzugsgebieten mehrere Störungen gleichzeitig auf die Fischpopulationen einwirken. Im Gesamtüberblick ergibt sich ein wenig differenziertes Bild mit überwiegend guten bis mässigen Bewertungen. Die angewandte Methode zur Beurteilung der Fischbestände in Fliessgewässern sollte mit den bisherigen Erfahrungen seit ihrer Einführung im Jahr 2004 evaluiert und überarbeitet werden, um ihre Aussagekraft zu verbessern.

Sehr bedenklich ist der ungebremste Rückgang der in Fliessgewässern gefangenen Fische. Diese Entwicklung zeigt, dass die bisher getroffenen Massnahmen zum Schutz der Gewässer noch nicht die gewünschte Wirkung erzielt haben und somit in den nächsten Jahren fortzusetzen und allenfalls zu ergänzen sind. Der Bedeutung des Klimawandels und mögliche Anpassungsstrategien müssen ebenfalls verstärkt in die Massnahmenplanung einbezogen werden.

Seen





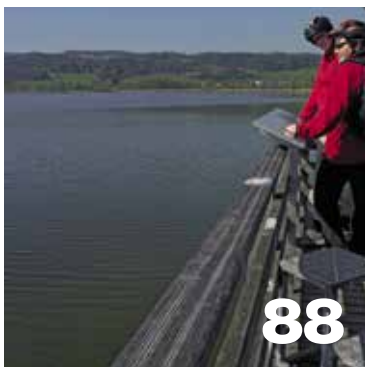
82

**Fokus
Blaualgen**



86

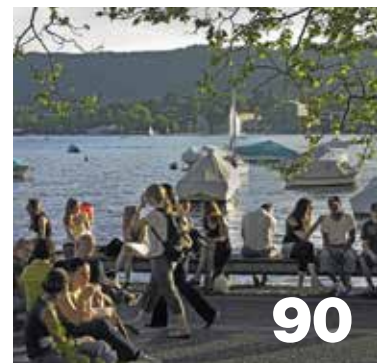
**Fokus
Zürichsee – Klimawandel
wird zunehmend prägend**



88

**Fokus
Kürzere Phasen der
Zirkulation verzögern
die Gesundung des
Greifensees**

**Fokus
Natürliche
Ufer dank
Schutzverordnung**



90

**75 Messprogramm
und Beurteilung**

76 Zustand Qualität

76 Phosphor
78 Sauerstoff
80 Plankton

**92 Synthese und
Handlungsbedarf**

92 Zürichsee
93 Greifensee
94 Pfäffikersee, Türlensee
95 Hüttnersee, Kleinseen



Messprogramm und Beurteilung

Um den Zustand der Seen zu überprüfen und nachteilige Entwicklungen frühzeitig zu erkennen, werden die wichtigsten Seen im Kanton überwacht.



Die Wasserqualität des Zürich-, Greifen-, Pfäffiker-, Türler- und Hüttnersees wird monatlich untersucht. Zusätzlich wird im Zweijahresrhythmus abwechslungsweise die Wasserqualität des unteren Katzen-, Lützel- und Mettmehaslisees oder des grossen Husemer-, Egel- und Seeweidsees gemessen. Somit können Belastungsquellen frühzeitig identifiziert und Massnahmen zur Reduktion der Gewässerbelastung veranlasst werden. Zudem dienen die Untersuchungen dazu, den Betrieb der Belüftungsanlagen im Hüttner- und Greifensee zu steuern und zu überwachen. Im Türlensee wurde eine Anlage zur Zirkulationsunterstützung im Winter 2020 versuchsweise ausser Betrieb genommen.

Basis für die Beurteilung der Wasserqualität sind die ökologischen Ziele und die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998. Die GSchV stellt jedoch für stehende Gewässer mit Ausnahme der minimalen Sauerstoffkonzentration nur qualitative und keine numerischen Anforderungen. Für eine besser nachvollziehbare Beurteilung des Seezustandes wurden deshalb zusätzliche Zielvorgaben formuliert. Als Beurteilungskriterien dienen der Gesamtphosphorgehalt, die Sauerstoffkonzentration und der Chlorophyll-Gehalt respektive das Algenfrischgewicht als Mass für die Planktonmenge. Die Beurteilung erfolgt durch den Vergleich des Ist-Zustandes mit dem Zustand, in dem sich das Gewässer unter unbelasteten, naturnahen Bedingungen befinden würde (Referenzzustand). Die Messdaten werden jährlich ausgewertet und die Ergebnisse zusammen mit Resultaten aus weiterführenden Studien beurteilt.

Parameterliste

Temperatur	Phosphat
Sauerstoff	Gesamtphosphor
Leitfähigkeit	partikul. Phosphor
pH-Wert	gelöster Phosphor
Trübung*	Chlorid *
Secchi-Tiefe	Sulfat*
	Schwefelwasserstoff*
Ammonium	Methan*
Nitrit	Chlorophyll
Nitrat	Zooplankton*
Gesamtstickstoff*	Phytoplankton*
(* in Kleinseen nicht gemessen)	

Jährlich aktualisierte Daten zu den einzelnen Seen und weiterführende Informationen unter: zh.ch/gewaesserqualitaet

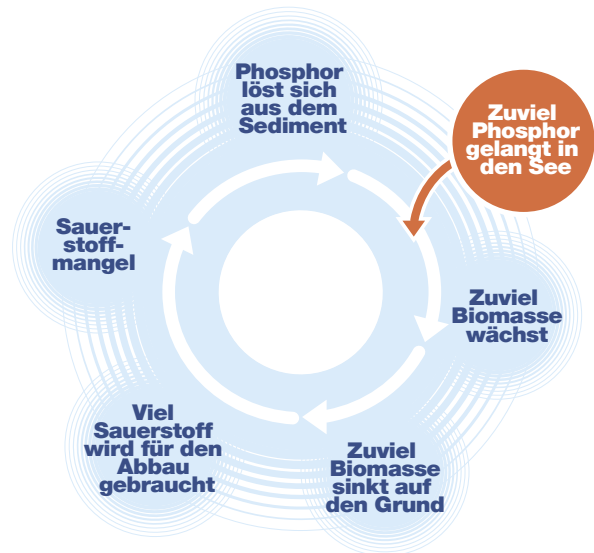
Zustand Phosphor

Nach einer raschen Abnahme der Phosphorbelastung mit Beginn der Siebzigerjahre gingen die Phosphorkonzentrationen in den letzten 20 Jahren nur noch langsam zurück, stagnierten oder nahmen wieder zu.

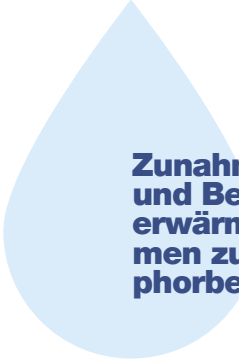
Herkunft und bisherige Massnahmen zur Reduktion

Phosphor gelangt über die Abschwemmung von Bodenpartikeln, die Einleitung von gereinigtem Abwasser sowie über Entlastungen aus der Kanalisation direkt oder via Fliessgewässer in die Seen. Dort bestimmt er als wachstumslimitierender Nährstoff, wie viel Algen wachsen können. Ein starkes Algenwachstum ist unerwünscht, weil dichte Algenteppiche als unschön wahrgenommen werden und bei deren Abbau Geruchsbelastungen entstehen können. Problematisch ist aber vor allem der Sauerstoffverbrauch beim Abbau der abgestorbenen Algen. Dieser kann in den tieferen Wasserschichten zu einem Sauerstoffmangel führen. Fehlt Sauerstoff am Seegrund, kommt es zur Rücklösung von Phosphor aus abgelagertem Sediment. Zusätzlich zum Phosphoreintrag aus externen Quellen düngt sich der See damit selbst.

Um die Phosphorbelastung zu reduzieren und damit den Zustand der Seen zu verbessern, wurden in den vergangenen Jahrzehnten grosse Anstrengungen unternommen. Die Siedlungsentwässerung wurde ausgebaut sowie die Reinigungsleistung der ARA kontinuierlich verbessert. Für Haushalte wurden phosphathaltige Waschmittel verboten und die Landwirtschaft wurde verstärkt auf integrierte oder biologische Produktion ausgerichtet.



Nachhaltige Produktion von Nahrungsmitteln muss die Umweltziele ebenfalls erfüllen.



Zunahme von Nutzungsdruck und Bevölkerung sowie Klimaerwärmung wirken Massnahmen zur Reduktion der Phosphorbelastung entgegen.

Beurteilung

Als Folge dieser Massnahmen sanken die Konzentrationen in den grossen Seen mit Beginn der Siebzigerjahre rasch ab. In den letzten 20 Jahren gingen die Konzentrationen jedoch nur noch langsam zurück oder stagnierten, da der Nutzungsdruck und die Bevölkerung in den Einzugsgebieten vieler Seen stark zunahmen.

Die heutigen Phosphorkonzentrationen im Zürich-, Türl- und Pfäffikersee erfüllen die Zielvorgaben (0.025 mg P_{tot}/l) bezüglich des Gesamtphosphorgehaltes. Die Konzentrationen in diesen natürlicherweise nährstoffarmen Seen liegen aber deutlich über den natürlichen Hintergrundkonzentrationen, die Messwerte unterhalb von 0.01 mg P_{tot}/l aufwiesen. Im Hüttner- und im Greifensee sind die Konzentrationen nach wie vor zu hoch und werden als mässig beurteilt. Für die leichte Zunahme der Phosphorkonzentrationen im Hüttner- und Türlsee 2021 sind die hohen Niederschlagsmengen verantwortlich. Über Abschwemmungen von Landwirtschaftsflächen und Entlastungen aus der Kanalisation gelangte mehr Phosphor in die Seen als in trockenen Jahren.

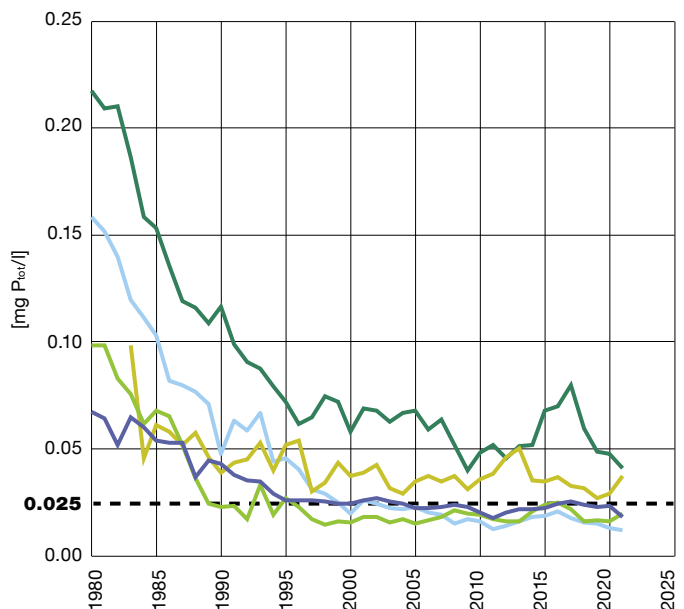
Erfreulich ist, dass im Greifensee nach dem starken Anstieg der Phosphorkonzentration zwischen 2014 und 2017 die Phosphorbelastung wieder zurückging. Witterungsbedingt waren im Greifensee die Zirkulationsphasen in den Wintermonaten 2014 bis 2017 kürzer als in den vorangehenden Jahren. Dadurch wurde mehr Phosphor aus dem Sediment rückgelöst und die Phosphorkonzentration im See stieg an. Mehrere Stürme in Orkanstärke haben im Winter 2017/2018 die Zirkulationsphase markant verlängert, wodurch die Rücklösung von Phosphor vermindert wurde. Dadurch wurde der Trend zu steigenden Phosphorkonzentrationen im Greifensee wieder gebrochen.

Auch in den Kleinseen nahm die Phosphorbelastung seit Beginn der ersten Messungen ab. Der Mettmehasl- und der Seeweidsee erfüllen die Zielvorgaben regelmässig seit vielen Jahren. Im Husemer- und noch viel stärker im Katzensee schwankt der Zustand zwischen mässig und gut, da sich die Phosphorkonzentration noch nicht auf tiefem Niveau stabilisiert hat. Im Lützelsee hat die seit 1982 in Betrieb stehende Tiefenwasserableitung die Gesamtphosphorkonzentration über dem Sediment zwar stark gesenkt, der Gesamtphosphorgehalt ging allerdings nur wenig zurück und wird als unbefriedigend beurteilt. Die Phosphorbelastung im Egelsee ist nach wie vor sehr hoch.

Entwicklung Gesamtphosphor seit 1980

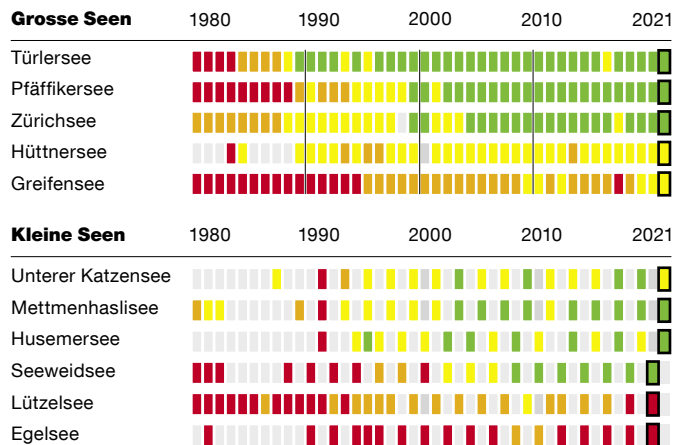
Jahresmittelwerte der Volumen gewichteten Tiefenprofile

— Greifensee — Hüttnersee — Zürichsee
 — Pfäffikersee — Türlsee - - - Zielvorgabe



Zustand Phosphor

■ sehr gut ■ gut ■ mässig ■ unbefriedigend ■ schlecht



Fokus Klimawandel wird zunehmend prägend
Fokus Kürzere Phasen der Zirkulation verzögern die Gesundheit des Sees

Zustand Sauerstoff

Trotz verbesserter Wasserqualität ist das Tiefenwasser der Seen nach wie vor jedes Jahr während mehrerer Monate sauerstofffrei und fällt damit als Lebensraum für Fische, Krebse und andere Wassertiere weg.

Herkunft und biologische Bedeutung

Als Qualitätsziel für stehende Gewässer fordert die GSchV mindestens 4 mg O₂/l überall im See und zu jedem Zeitpunkt. Diese Konzentration reicht für ein Überleben der natürlicherweise vorkommenden Tiere aus. In Seen, die nicht regelmässig zirkulieren oder die von Natur aus nährstoffreich sind, dürfen tiefere Konzentrationen auftreten, da ihre tierischen Bewohner damit umgehen können.

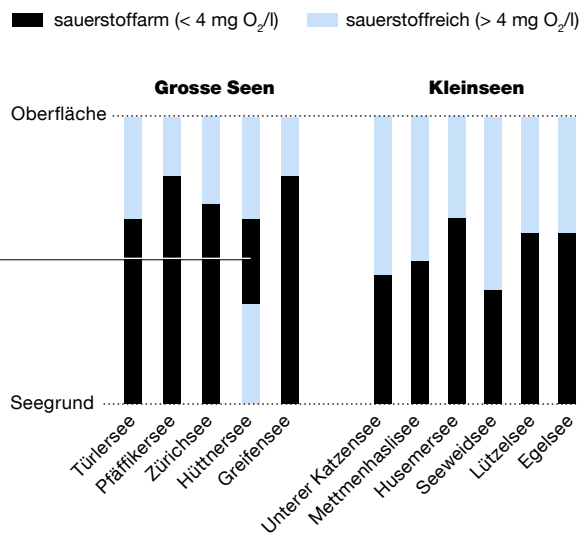
Die Sauerstoffverhältnisse im See werden einerseits beeinflusst durch die Photosynthese der Algen, bei der als Nebenprodukt Sauerstoff freigesetzt wird. Dieser Vorgang findet in den oberflächennahen, vom Sonnenlicht durchfluteten Schichten des Sees statt. Im Sommer liegen diese Schichten aufgrund der geringen Dichte von warmem Wasser wie ein Deckel über dem kalten Tiefenwasser. Andererseits führt der Abbau der jährlich neu gebildeten Algen und der abgelagerten Tiere und Pflanzen aus früheren Jahrzehnten zu einem Sauerstoffmangel im Tiefenwasser. Deshalb breitet sich im Verlauf des Sommers in stabil geschichteten Seen vom Grund her eine sauerstofffreie Zone immer weiter gegen die Seeoberfläche hin aus. Während der herbstlichen Abkühlung werden die Temperatur- und damit die Dichteunterschiede zunehmend geringer, so dass die Wassermassen zu zirkulieren beginnen. Das Wasser aus der Tiefe mischt sich mit jenem der Oberfläche. In dieser Zeitspanne erfolgt eine intensive Belüftung des Seewassers an der Oberfläche mit Sauerstoff aus der Atmosphäre. Dadurch werden die Konzentrationsunterschiede zwischen dem oberflächennahen Wasser und dem Tiefenwasser ausgeglichen.



Anlage zur Unterstützung der Zirkulation im Türlerseer. Seit 2020 versuchsweise nicht mehr in Betrieb.

Sauerstoffverhältnisse im Sommer

Ausdehnung der sauerstoffarmen und sauerstoffreichen Zonen proportional zur Gesamttiefe



Spezielle Sauerstoffverhältnisse im Hüttnersee:

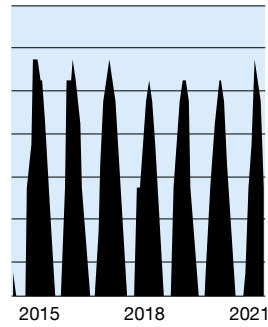
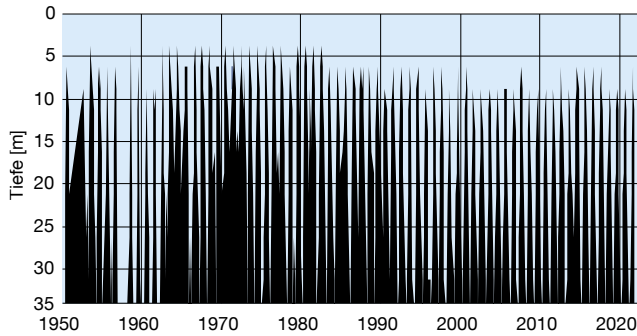
ohne Belüftung wäre unterhalb von 4 m kein Sauerstoff mehr vorhanden. Durch den Betrieb der Anlage wird im Sommer zwischen 7 m und dem Seegrund eine sauerstoffhaltige Zone geschaffen.

Anlagen zur Unterstützung der Belüftung im Hüttner- und Greifensee erleichtern Fischen das Überleben – beseitigen aber nicht die Ursachen des Problems.

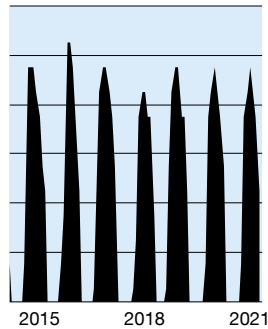
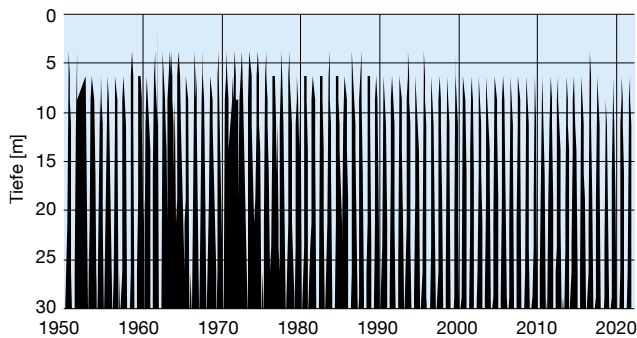
Sauerstoffkonzentration im Pfäffikersee seit 1950

Ausdehnung der sauerstoffarmen und sauerstoffreichen Bereiche im See

- sauerstoffarm (< 4 mg O₂/l)
- sauerstoffreich (> 4 mg O₂/l)



Sauerstoffkonzentration im Greifensee seit 1950



Beurteilung

Trotz Rückgang der Phosphorbelastung können in allen grossen Seen die gesetzlichen Anforderungen für Sauerstoff nicht ganzjährig eingehalten werden. Natürliche Sauerstoffverhältnisse werden sich noch lange nicht einstellen, auch wenn sich die Situation in allen Seen verbessert hat.

Mitte der Fünfziger- bis Ende der Siebzigerjahre dehnte sich im Pfäffikersee die sauerstofffreie Zone vom Grund bis 4 m unter die Seeoberfläche aus. Den Fischen und anderen Lebewesen standen deshalb im Sommer nur die obersten 4 m des Sees als Lebensraum zur Verfügung. Und selbst im Winter blieb das Tiefenwasser während mehrerer Jahre sauerstofffrei. Deshalb wurde 1992 eine Anlage zur Unterstützung der Zirkulation in Betrieb genommen. Sie bewirkte, dass der See jährlich genügend lang zirkulierte, um das Tiefenwasser mit Sauerstoff anzureichern. Diese Massnahme führte – zusammen mit dem Rückgang der Phosphorbelastung – zu einer genügend hohen Sauerstoffkonzentration in den obersten 7.5 m des Sees. Seit die Zirkulationsanlage im Frühling 2011 ausser Betrieb genommen wurde, nahm der Lebensraum für Fische in einzelnen Jahren wieder etwas ab. Nach wie vor steht den Fischen aber auch im Spätsommer eine ausreichend grosse Schicht mit kühlem, sauerstoffhaltigem Wasser zur Verfügung.

Auch im Greifensee hat sich die Sauerstoffsituation verbessert. Im Vergleich zum Pfäffikersee standen den Fischen im Greifensee in den letzten Jahren im Hochsommer aber nur die obersten 6 m des Sees als Lebensraum zur Verfügung.

Die Klimaerwärmung wirkt sich zusätzlich auf die Sauerstoffkonzentrationen in den Seen aus. Hohe Temperaturen im Spätsommer und ein früh einsetzender warmer Frühling verkürzen die Zirkulationsphase. Dadurch kann sich das Wasser im See weniger stark mit Sauerstoff anreichern, was die sauerstofffreie Zeit im Tiefenwasser im Folgesommer verlängert.

In den Kleinseen sinkt die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser regelmässig unter 4 mg O₂/l. Der Seeweid- und der Egelsee sind natürlicherweise nährstoffreich, während der Mettmehasli- und der grosse Husermersee häufig nicht vollständig zirkulieren. Ein Sauerstoffmangel im Tiefenwasser gegen Ende der Stagnationsphase im Sommer ist daher in diesen Seen ein natürliches Phänomen. Im Katzen-, vor allem aber im Lützel- und Egelsee sind die unnatürlich hohen Phosphorkonzentrationen für die tiefen Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser verantwortlich.

Zustand Plankton

Als Folge der reduzierten Phosphorbelastung ist die Algenmenge in allen grossen Seen ausser im Zürichsee bis Mitte der Neunzigerjahre stark zurückgegangen. Seither nimmt die Algenmenge nur noch langsam ab oder stagniert.

Biologische Bedeutung und jahreszeitliche Entwicklung

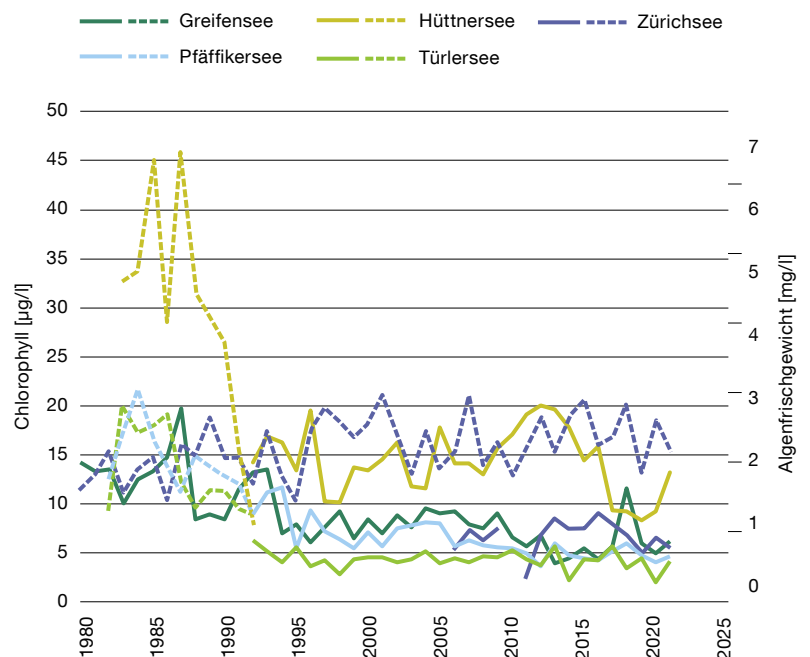
Pflanzliches Plankton (Phytoplankton) lebt im belichteten Teil des Sees. Dort nimmt es Kohlendioxid und Nährstoffe aus dem Wasser auf und baut damit mit Hilfe des Sonnenlichtes und unter Abgabe von Sauerstoff neue Algenbiomasse auf (Photosynthese). Die Menge Phosphor im See, die für Algen verfügbar ist, bestimmt die Stärke ihres Wachstums und damit auch das Wachstum des tierischen Planktons (Zooplankton). Dieses ist ein wichtiger Bestandteil der Nahrungskette im Ökosystem See und hat insbesondere als Nahrungsgrundlage für Jungfische eine grosse Bedeutung. Phyto- und Zooplankton zeigen eine ausgeprägte jahreszeitliche Entwicklung, die umso dynamischer ist, je mehr Nährstoffe zur Verfügung stehen. Erreichen Algen innerhalb kurzer Zeit hohe Dichten, spricht man von Algenblüten. Diese sind bei Badegästen unbeliebt. Zudem können sie für Mensch und Tier ein Problem darstellen, da es Algenarten gibt, die toxische Substanzen ausscheiden können.



Asplanchna sp.

Entwicklung der Algenmengen seit 1980

Jahresmittelwerte des monatlichen mittleren Algenfrischgewichtes (gestrichelte Linie) respektive der monatlichen mittleren Chlorophyllkonzentration (durchgezogene Linie) in den oberflächennahen Wasserschichten



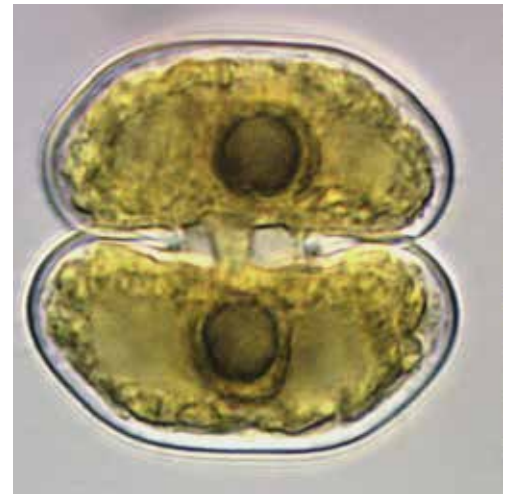
Beurteilung

Aus Untersuchungen von Sedimentkernen weiss man, dass anfangs des 20. Jahrhunderts in allen grossen Seen Kieselalgen dominierten, die wenig bis schwach nährstoffreiche Gewässer bevorzugen. Heute hingegen dominieren in allen Seen noch immer nährstoffliebende Arten. Im Türlerse, in dem die Phosphorkonzentration und die Algenmenge seit Anfang der Neunzigerjahre einen guten Zustand aufweisen, ist der Anteil an nährstoffliebenden Arten allerdings bereits zurückgegangen und bestätigt damit die Gesundheit des Sees. Im Pfäffikersee konnte die Algenmenge seit 2008 regelmässig als gut beurteilt werden.

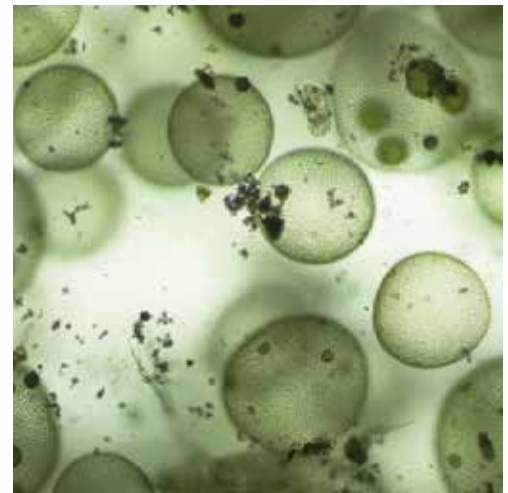
Im Greifensee befand sich die Algenmenge erstmals 2011 und danach während sechs Jahren in einem guten Zustand. 2018 musste die Algenmenge wiederum als unbefriedigend beurteilt werden. Grund dafür war eine Algenblüte im Herbst. Inzwischen ist die Algenmenge wieder etwas gesunken, konnte aber 2021 nur als mässig beurteilt werden. Im Hüttnersee ging die Algenmenge zwischen 1982 und 1992 stark zurück. Seither schwankt sie auf hohem Niveau und musste 2021, erstmals nach einigen Jahren mit mässig bis unbefriedigendem Zustand, wieder als schlecht beurteilt werden. Sowohl im Greifen- wie auch im Hüttnersee können die nach wie vor zu hohen Phosphorkonzentrationen zu einer starken Vermehrung der Algen führen. Sporadisch können deshalb unansehnliche Algenansammlungen an der Seeoberfläche und im Uferbereich beobachtet werden.

Auch in den Kleinseen widerspiegelt das Algenwachstum die Entwicklung der Phosphorbelastung. Im Mettmehaslisee, Husemer- und Seeweidsee, mit seit einigen Jahren stabilen und tiefen Phosphorkonzentrationen, konnte auch die Algenmenge meist als gut beurteilt werden. Im Katzen- und vor allem im Lützel- und Egelsee führen die hohen Phosphorkonzentrationen regelmässig zu einem hohen Algenwachstum, das unbefriedigend bis schlecht beurteilt werden muss.

Anders als in allen anderen Seen hat im Zürichsee die Algenproduktion nicht abgenommen, obwohl die Belastung mit Phosphor kleiner geworden ist. Durch den Rückgang der Phosphorbelastung ging das Algenwachstum in den oberflächennahen Wasserschichten zurück. Licht gelangt wieder in tiefere Wasserschichten, wovon die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) profitierte. Sie hat bescheidene Lichtansprüche und kann dadurch Phosphor über einen grösseren Tiefenbereich nutzen und grosse Mengen an Algenbiomasse bilden.



Cosmarium sp.

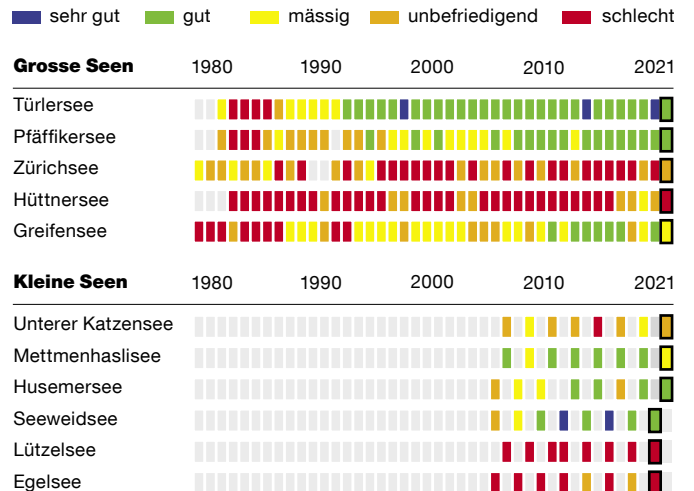


Volvox sp.



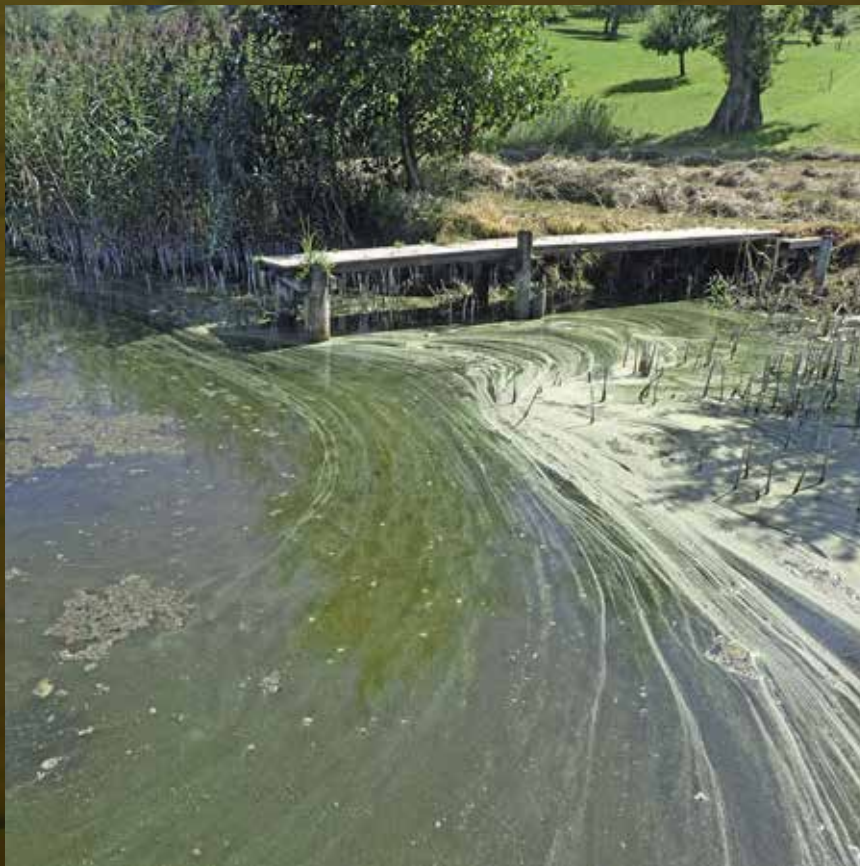
Fokus Blaualgen

Zustand Plankton



Blualgen

Obwohl sich die Wasserqualität der Zürcher Seen stark verbessert hat, sorgen Blualgen regelmässig für Schlagzeilen. Sie können Algenblüten verursachen, die für Mensch und Tier gefährlich sind. Ist in Zukunft vermehrt mit toxischen Blualgenblüten zu rechnen?



Blualgen sind streng genommen keine Algen, sondern Bakterien, da sie keinen echten Zellkern besitzen. In der Fachsprache werden sie auch als Cyanobakterien bezeichnet. Ihre meist blau-grüne Färbung verdanken sie dem blauen Farbstoff Phycocyanin, wobei es unter den zirka 2000 weltweit verbreiteten Arten auch rot oder violett gefärbte gibt. Cyanobakterien besiedeln ganz unterschiedliche Lebensräume auf der Erde. In unseren Seen sind sie sowohl ein natürlicher Bestandteil des Planktons (d.h. der Gemeinschaft von Lebewesen, die im Wasser schweben) als auch des Benthos (d.h. der Organismengemeinschaft, die den Gewässergrund besiedelt).

Auslöser für Algenblüten

Besonders günstige Wachstumsbedingungen finden Cyanobakterien in stehenden und langsam fliessenden, nährstoffreichen Gewässern. Dort können sie sich bei hohen Temperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung rasch vermehren. Treten sie gehäuft an der Wasseroberfläche auf, bilden sie dort Schlieren oder Flocken und färben das Wasser je nach Pigmentierung der dominierenden Arten von gelb-grün über blau-grün bis rot. Man spricht dann auch von einer Algenblüte. Durch Wind können die Algen am Ufer zusammengetrieben werden, wo sie zu faulendem und stinkendem Schaum abgebaut werden können. Nicht alle Algenblüten werden durch Cyanobakterien verursacht, auch andere Algenarten sind in der Lage, sich innerhalb kurzer Zeit stark zu vermehren und dadurch das Seewasser zu verfärben.

Nährstoffreiche Gewässer und hohe Temperaturen begünstigen das Blualgenwachstum.



Gefahr durch giftige Cyanobakterien

Manche Cyanobakterien können Giftstoffe (Cyanotoxine) bilden, welche die Leber, das Nervensystem oder die Haut von Menschen und Tieren angreifen. Bei Massentwicklungen von Cyanobakterien kann deshalb die Aufnahme von grösseren Mengen von Wasser, das Cyanobakterien enthält, zu Vergiftungserscheinungen wie Übelkeit oder Erbrechen führen. Kinder sind besonders gefährdet, da sie beim Schwimmen und Spielen unter Umständen viel Wasser verschlucken. Für die auf Leber-Cyanotoxine sehr empfindlich reagierenden Hunde, die im Wasser baden und sich danach das Fell ablecken oder das Wasser trinken, stellen die Toxine ebenfalls eine Gefahr dar. So starben Ende Juli 2021 fünf Hunde, nachdem sie in Schmerikon (SG) mit Cyanobakterien belastetes Wasser getrunken hatten. Im Mai 2022 starben zwei Hunde, nachdem sie am Ufer des Greifensees angeschwemmte Cyanobakterien verschluckt hatten. Hautkontakt mit Cyanobakterien kann bei Kindern und anderen empfindlichen Menschen, z.B. solchen mit schwachem Immunsystem, Hautirritationen auslösen.

Vorsichtsmassnahmen

Um einem Kontakt mit Cyanobakterien aus dem Weg zu gehen, sollte auf das Schwimmen und Baden in stark gefärbtem oder schlecht riechendem Wasser verzichtet werden. Auch Bereiche mit Algent Teppichen, Flocken oder Schaum auf der Oberfläche, die gehäuft im Uferbereich oder in strömungsberuhigten Zonen des Sees auftreten, sollten gemieden werden, und Hunde sollten von ihnen ferngehalten werden.

Weitere Informationen und Verhaltensempfehlungen:
[zh.ch/blualgen](https://www.zh.ch/blualgen)

Entwicklung der Algen im Greifensee

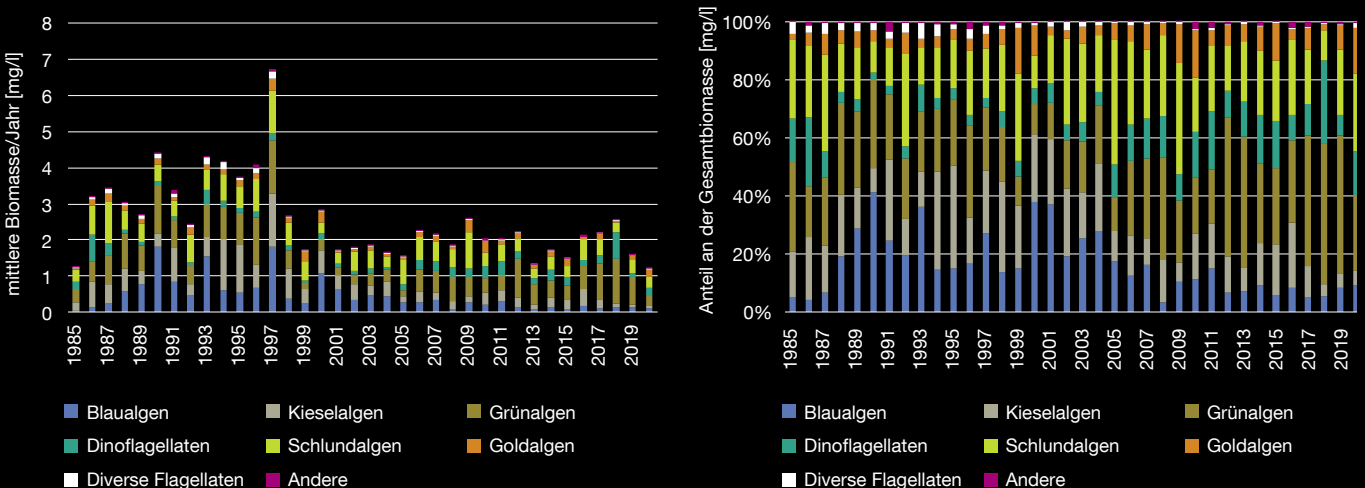
Das Algenwachstum im Plankton des Greifensees wird vom AWEL anhand der Chlorophyllkonzentration abgeschätzt und seit 1980 beobachtet. Die EAWAG ermittelt die Algenbiomasse aufgrund von Planktonzählungen seit 1985. Diese Zählungen ermöglichen es, die Anteile der verschiedenen Algengruppen, u.a. der Cyanobakterien, an der Algenbiomasse zu ermitteln. Dank der sinkenden Nährstoffeinträge ging das Algenwachstum im Greifensee stark zurück, und die Anteile, welche die verschiedenen Algengruppen an der Algenbiomasse besitzen, haben sich verändert. Zwischen 1985 und 1999 betrug die mittlere jährliche Algenmenge 3.4 mg/l, zwischen 2000 und 2020 sank sie auf 1.9 mg/l. Abgenommen haben sowohl die Biomasse von Cyanobakterien und Kieselalgen als auch ihr prozentualer Anteil an der Algenbiomasse. Profitiert von der verbesserten Wasserqualität haben vor allem Grünalgen und Dinoflagellaten, deren Anteile an der Algenbiomasse im selben Zeitraum gestiegen sind.

Rückgang der Cyanobakterien im Greifensee

Cyanobakterien trugen zwischen 1985 und 2011 im Mittel 19 % zur gesamten Algenbiomasse bei. In den an Cyanobakterien reichen Jahren 1990, 1993, 1997 und 2000 lag der jährliche Mittelwert bei über 1 mg/l und machte damit im Jahr 1990 sogar 41 % der gesamten Algenbiomasse aus. Besser als aufgrund der jährlichen Mittelwerte werden Algenblüten jedoch anhand der monatlichen Messwerte erkannt. 1990 wurden im Juni Konzentrationen an Cyanobakterien von über 10 und im Juli von über 6 mg/l festgestellt. Im Vergleich dazu wurden im August 2011, bei der letzten grossen und langanhaltenden Blüte durch Cyanobakterien, «nur» Konzentrationen von 2.5 mg/l gemessen. Verursacht wurde diese Blüte durch Cyanobakterien der Gattung *Microcystis*. Seither traten nie mehr monatliche Konzentrationen von mehr als 1 mg/l auf, und der Anteil an der Algenbiomasse lag im jährlichen Mittel bei 7 %. Bei den aktuellen Phosphorkonzentrationen kann es bei günstigen klimatischen Bedingungen jedoch nach wie vor zu einer starken Entwicklung einzelner Algenarten kommen. Dies geschah letztmals im Herbst 2020, als Cyanobakterien eine starke Trübung des Wassers an der Oberfläche verursacht haben.

Entwicklung der Algenzusammensetzung im Greifensee

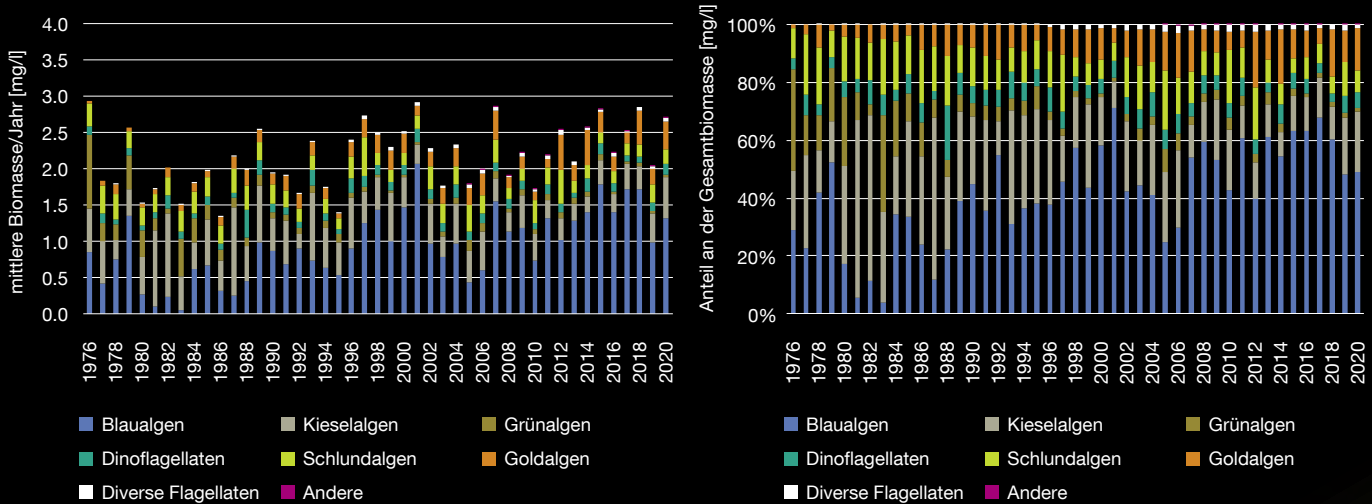
Jahresmittelwerte der Algenbiomasse und Anteile an der Gesamtbio-masse in der Tiefe von 0 bis 20 m (Daten EAWAG)



Fokus Blaualgen

Entwicklung der Algenzusammensetzung im Zürichsee

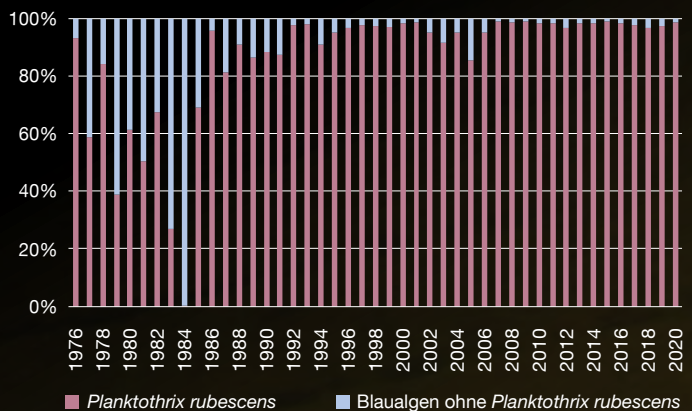
Jahresmittelwerte der Algenbiomasse und Anteile an der Gesamtbio­masse in der Tiefe von 0 bis 20 m (Daten WVZ)



Zunahme der Cyanobakterien im Zürichsee

Die höchste monatliche Menge an Cyanobakterien seit Messbeginn trat mit 6.7 mg/l im August 1984 auf. Verursacht wurde sie durch das starke Wachstum von Arten der Gattung *Aphanothece*, die auch im Folgejahr im August für Cyanobakterienmengen von über 1 mg/l verantwortlich waren. Im September 1979 wurden mit 4.9 mg/l die zweithöchste je gemessene Konzentration gefunden. Sie ging auf Arten der Gattung *Coelosphaerium* zurück. In zwei weiteren monatlichen Proben von insgesamt 204 Proben mit Cyanobakterienmengen zwischen 1–3 mg/l war *Aphanizomenon flos-aquae* für die Algenblüte verantwortlich. In allen anderen Proben waren die erhöhten Cyanobakterienmengen auf die fädige Art *Planktothrix rubescens* (Burgunderblutalge) zurückzuführen. Zwischen 1976 und 1996 betrug ihr Anteil an der gesamten Cyanobakterienmenge im Mittel 74 %, zwischen 1997 und 2020 stieg er auf 97 %. Die zunehmende Dominanz der Burgunderblutalge ist einerseits auf ihre artspezifischen physiologischen Eigenschaften, andererseits auf den Rückgang der Phosphorbelastung im See und die klimabedingte Veränderung der Tiefenmischung zurückzuführen.

Anteil der Burgunderblutalge an der gesamten Cyanobakterienmenge

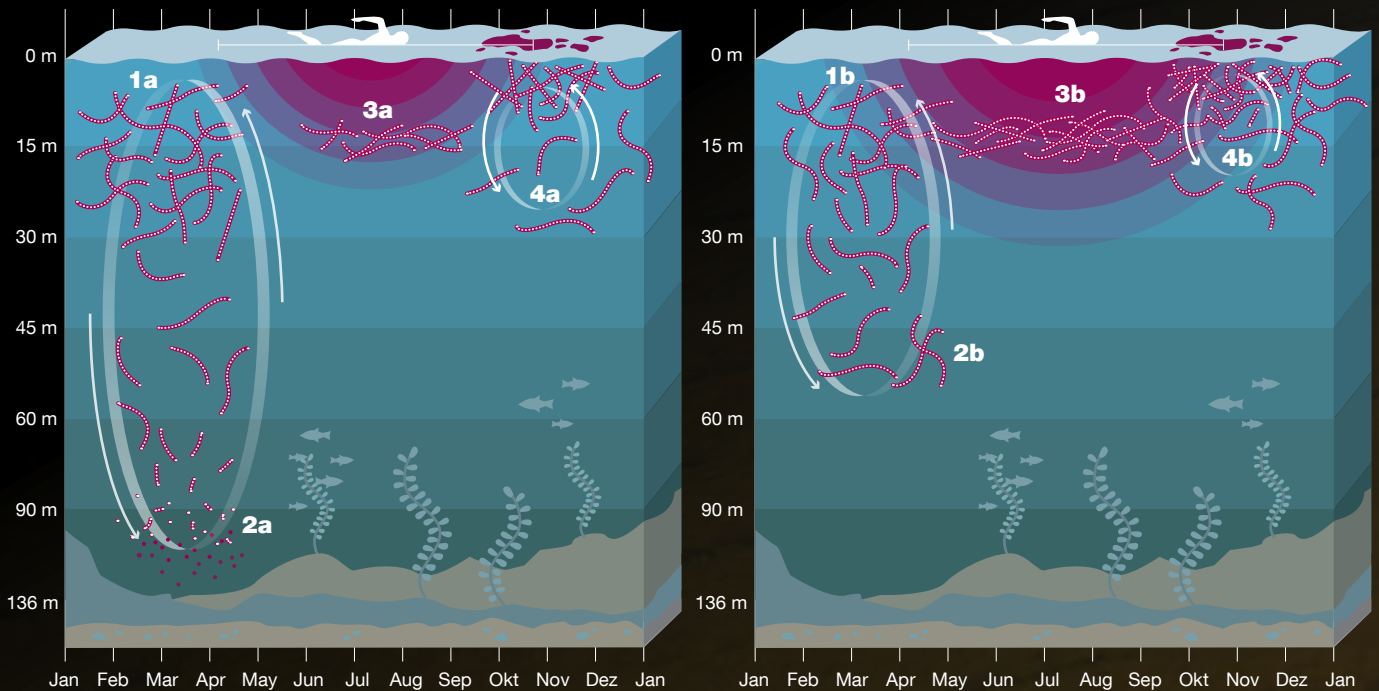


Sonderfall Zürichsee

Im Zürichsee untersucht die Wasserversorgung Zürich (WVZ) im Auftrag der Baudirektion das Algenwachstum und die Zusammensetzung der Algenpopulation seit 1976. Obwohl sich auch im Zürichsee die Wasserqualität seit 1980 stark verbessert hat, ist das Algenwachstum im Oberflächenwasser nicht wesentlich zurückgegangen. Die mittlere jährliche Algenmenge betrug zwischen 1976 und 2020 rund 2.2 mg/l. Stark verändert haben sich jedoch die Anteile, welche die verschiedenen Algenarten an der Algenbiomasse haben. Cyanobakterien trugen zwischen 1976 und 1996 im Mittel 30 %, Kieselalgen 32 % zur gesamten Biomasse bei. Zwischen 1997 und 2020 stieg der Anteil der Cyanobakterien auf 51 %, während der Anteil der Kieselalgen auf 17 % zurückging.

Die Burgunderblutalge scheint besser als andere Algenarten an nährstoffarme Situationen angepasst zu sein.

Einschichtung der Burgunderblutalge in der Wassersäule im Jahresverlauf (Knapp & Posch, 2011) [6]



Dominanz der Burgunderblutalge

Planktothrix rubescens hat kaum natürliche Fressfeinde, einerseits, weil sie Toxine bilden kann und deshalb gemieden wird, andererseits, weil die langen Algenfäden von filtrierenden Organismen kaum aufgenommen werden können. Sie besitzt luftgefüllte Zellstrukturen (Gasvesikel), die ihr erlauben, ihre Position in der Wassersäule zu regulieren. Da sie an geringe Lichtintensitäten angepasst ist und auch kurze Dunkelperioden überstehen kann, hält sie sich in geschichteten Seen vorzugsweise in einer Tiefe von 12–15 m auf (Sprungschicht, 3a).

Gegen den Herbst, wenn sich die thermische Schichtung auflöst und die Lichtintensität abnimmt, steigt die Burgunderblutalge auf (4a), wobei es ihr aufgrund der Turbulenzen schwerfällt, sich stabil einzuschichten. Manchmal gelangt sie bis an die Wasseroberfläche, wo sie einen rötlichen Film bildet. Gelingt es ihr nach einem solchen Ereignis nicht rechtzeitig zu sinken, können hohe Lichtintensitäten zum Absterben der Algen und zum Freisetzen der Toxine an der Wasseroberfläche führen. Dort können Schwimmende mit den Toxinen in Kontakt kommen. Durchmischt der See vollständig, d.h. bis in eine Tiefe von über 100 m, werden die Gasvesikel durch den hydrostatischen Druck zerstört (1a–2a), die Algen können nicht mehr in die lichtdurchfluteten Bereiche aufsteigen und der grösste Teil der Algen stirbt ab. Die freigesetzten Toxine sind aufgrund der grossen Tiefe und der Verdünnung im Wasser ungefährlich. Die Burgunderblutalge erreicht dann erst im Spätsommer wieder hohe Dichten.

Bei einer schwachen Durchmischung überleben viele Burgunderblutalgen den Winter, was im Fröhsommer zu hohen Bestandesdichten führt (1b–4b). Gleichzeitig gelangen aufgrund der verminderten Durchmischung weniger Nährstoffe in die lichtdurchfluteten Oberflächenschichten. Darunter leiden jedoch vor allem Kiesel-, Grün- und Schlundalgen. Die Burgunderblutalge scheint besser an nährstoffarme Situationen angepasst zu sein.

Situation in anderen Seen

Im Pfäffiker-, Türler und Hüttnersee gingen die Algenmenge und der Anteil an Cyanobakterien seit Messbeginn ebenfalls zurück. Da in diesen Seen die Algenzusammensetzung seit 2001 nur qualitativ erfasst wird, sind die Datengrundlagen aber weniger verlässlich als beim Greifen- und Zürichsee. In allen anderen Seen des Kantons Zürich finden keine regelmässigen Untersuchungen der Algenzusammensetzung statt. Dort werden Algenblüten meist von Anwohnern, Spaziergängern oder der lokalen Behörde entdeckt, wie z.B. auch die letzte grösste Algenblüte im Lützelsee im August 2018.

Ausblick

Das Vorkommen von Algenblüten wurde in der Vergangenheit nicht lückenlos dokumentiert. Aufgrund der sinkenden Algenmengen in den meisten Seen ist aber davon auszugehen, dass sie weniger häufig auftreten als früher. Dass dennoch regelmässig darüber berichtet wird, kann daran liegen, dass sie heute vermehrt wahrgenommen werden. Einerseits, weil die Menschen stärker auf Umweltthemen sensibilisiert sind, andererseits, weil Algenblüten häufiger dann auftreten, wenn an den Gewässern noch gebadet wird. In den letzten Jahren traten vermehrt anhaltende Schönwetterperioden im Spätsommer auf, wodurch der Badebetrieb um einige Wochen verlängert werden konnte. Aufgrund der Klimaerwärmung ist deshalb auch in Zukunft damit zu rechnen, dass sich der Badebetrieb vermehrt mit Massenvorkommen von potenziell toxischen Cyanobakterien überschneiden wird.



Zürichsee – Klimawandel wird zunehmend prägend

Die Wassertemperaturen im Zürichsee steigen an. Die deutlichste Erwärmung wird im Herbst in den oberflächennahen Wasserschichten gemessen. Die Burgunderblutalge profitiert von der Erwärmung gleich in mehrfacher Hinsicht.

Ansteigende Luft- und Wassertemperaturen

Mit der Aufzeichnung der Lufttemperaturen wurde bei der Messstation Zürich Fluntern im Jahr 1864 begonnen (MeteoSchweiz). Vergleicht man die Jahresmittelwerte dieser Lufttemperaturen seit 2011 mit der Referenzperiode von 1961 bis 1990, zeigt sich eine Zunahme der Durchschnittswerte um 1.8 °C. Verglichen mit der Periode 1871 bis 1900 beträgt die Zunahme sogar 2.4 °C. Die Wassertemperaturen im Zürichsee werden für die Langzeitbeobachtung seit 1937 nur monatlich erfasst. Die Jahresmittelwerte der Oberflächentemperaturen zeigen eine Entwicklung, die sehr gut mit den Jahresmittelwerten der Lufttemperatur vergleichbar ist.

Die Wärmekapazität des Wassers ist viermal höher als jene der Luft. Dies bewirkt, dass sich das Wasser an der Seeoberfläche im Frühling und Frühsommer langsamer erwärmt als die Luft. Im Herbst und frühen Winter hingegen gibt das Wasser die Wärme mit Verzögerung an die bereits abgekühlte Luft wieder ab. In Kombination mit den in den letzten Jahren gehäuft auftretenden Perioden mit milden Temperaturen im Herbst und Winter ergibt sich für den Jahresverlauf die deutlichste Temperaturerhöhung während der Herbstmonate.

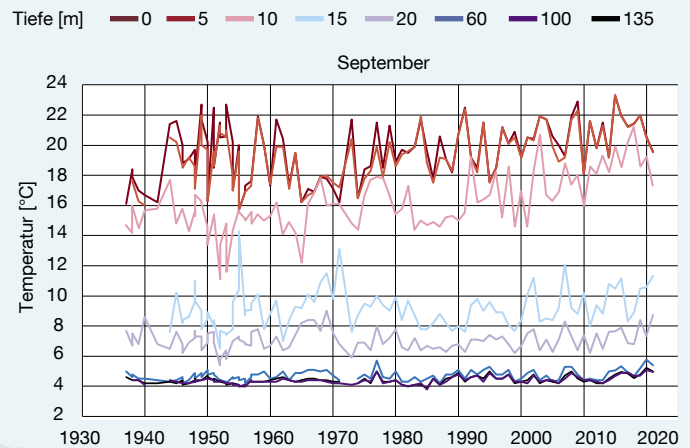
In der Referenzperiode 1961 bis 1990 betrug die durchschnittliche Oberflächentemperatur des Zürichsees 12.0 °C. Für die Lufttemperatur wurde für die gleiche Periode ein Durchschnittswert von 8.5 °C ermittelt. Die höheren Wassertemperaturen sind darauf zurückzuführen, dass im Winter, bei einsetzender Zirkulation, der gesamte Wasserkörper abgekühlt werden muss, was aufgrund der hohen Wärmekapazität des Wassers nur langsam vor sich geht.

Burgunderblutalgen während der Badesaison

Im Vergleich zur Referenzperiode von 1961 bis 1990 haben sich die Wassertemperaturen bis in eine Tiefe von 10 Metern im letzten Jahrzehnt um über 2 °C erhöht. Die stärkste Erwärmung wurde mit 3.4 °C für den Monat September in einer Tiefe von 10 Metern registriert. Dies ist von besonderer Bedeutung, weil in dieser Tiefe die Burgunderblutalge eingeschichtet ist.

Kurze Schlechtwetterperioden im Spätsommer, mit kühlem oder windigem Wetter, führen zu einer Mischung und Abkühlung des Oberflächenwassers und haben in früheren Jahrzehnten meist das Ende der Badesaison eingeläutet. Wegen der gestiegenen Wassertemperaturen fand in den letzten Jahren vermehrt eine Verlängerung der Badesaison bis in den Herbst statt. Weil durch die oberflächliche Mischung des Was-

Monatlich gemessene Wassertemperaturen in verschiedenen Tiefenstufen



1961 bis 1990

Tiefe [m]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	5.0	4.3	4.4	7.7	12.5	17.4	20.3	21.1	19.0	15.4	10.7	7.0
5	5.0	4.3	4.4	6.5	10.8	15.7	18.7	20.3	18.6	15.4	10.6	7.0
10	5.0	4.3	4.3	5.4	8.3	10.9	13.6	15.2	15.7	14.5	10.6	7.1
15	5.1	4.4	4.3	5.1	6.8	7.6	8.5	9.1	9.1	9.8	9.7	7.0
20	5.0	4.3	4.2	4.9	5.9	6.4	6.8	7.3	7.1	7.5	7.5	6.9
60	4.8	4.3	4.2	4.3	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9
100	4.5	4.3	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
135	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3

2011 bis 2021

Tiefe [m]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	6.3	5.2	5.1	8.4	13.1	18.7	22.0	22.9	21.1	17.5	12.8	8.9
5	6.3	5.2	5.1	7.7	12.4	17.3	21.5	22.6	21.1	17.5	12.8	8.9
10	6.4	5.2	5.1	6.2	9.2	12.0	15.4	17.6	19.0	16.9	12.8	8.9
15	6.4	5.2	5.0	5.8	7.3	8.3	9.1	9.6	9.8	10.2	10.9	8.9
20	6.3	5.2	5.0	5.4	6.3	6.7	7.1	7.2	7.4	7.5	7.8	8.4
60	5.1	5.0	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1
100	4.7	4.7	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
135	4.6	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7

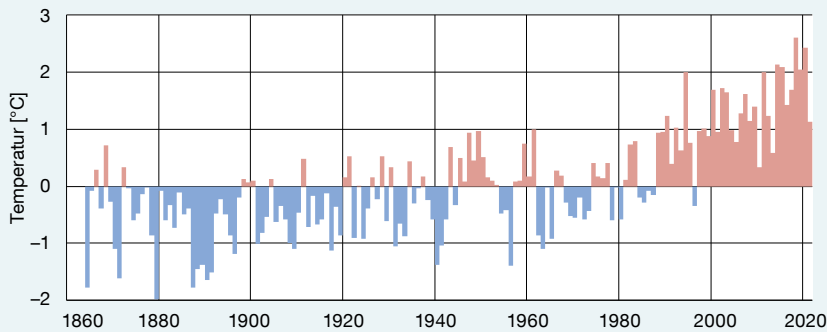
Differenz der Monatsmittelwerte 2011–2021 zur Periode 1961–1990

Tiefe [m]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	1.4	0.9	0.7	0.7	0.7	1.3	1.7	1.8	2.1	2.1	2.1	1.9
5	1.3	0.9	0.7	1.2	1.6	1.6	2.7	2.3	2.4	2.1	2.2	1.9
10	1.3	0.9	0.8	0.8	0.8	1.1	1.8	2.4	3.4	2.4	2.2	1.8
15	1.3	0.9	0.8	0.7	0.4	0.8	0.6	0.6	0.7	0.4	1.3	1.8
20	1.3	0.9	0.8	0.5	0.3	0.4	0.3	0.0	0.3	0.1	0.3	1.5
60	0.3	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
100	0.2	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
135	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4

Lufttemperatur

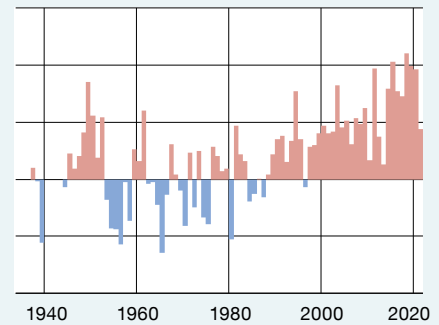
Jahresmittelwerte Zürich Fluntern
Abweichung vom Durchschnitt 1961–1990 ($\varnothing = 8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

■ über Durchschnitt ■ unter Durchschnitt



Wassertemperatur

Jahresmittelwerte Zürichsee (0–2.5 m)
Abweichung vom Durchschnitt 1961 - 1990 ($\varnothing = 12.0\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Quelle: MeteoSchweiz

ders die Burgunderblutalge an die Oberfläche gelangen kann, ist es möglich, dass sich ihr Auftreten künftig vermehrt mit dem Ausklingen der Badesaison überschneidet.

Eine verlängerte Badesaison im Herbst mag für Badebegeisterte als verlockende Zukunftsperspektive erscheinen. Für die Ökologie des Zürichsees wird die verzögerte Abkühlung im Herbst und Winter aber zunehmend zum Problem. Bei ausgeglichener Temperatur von der Oberfläche bis zum Seegrund hat im Zürichsee in früheren Jahrzehnten meist eine gute Zirkulation der Wassermassen im Winter stattgefunden. Diese wichtige Phase der Mischung hat in den letzten Jahren wegen dem Temperaturüberschuss der oberflächennahen Wasserschichten und den gehäuft auftretenden milden Wintern nur noch verkürzt oder in geringere Tiefe reichend stattgefunden.

Schlechte Winterzirkulation beeinflusst die Wasserqualität

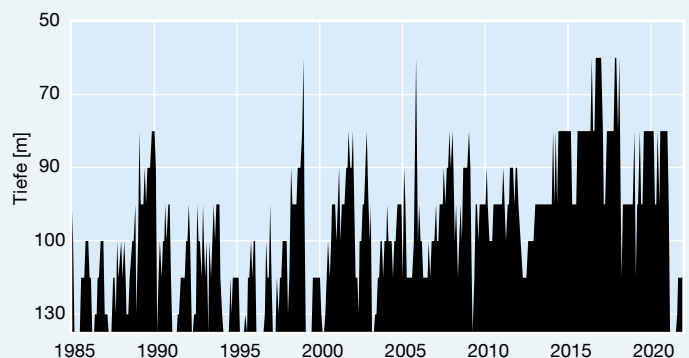
Zwischen 1950 und 1999 hat der Zürichsee im Winter meist bis zum Seegrund gemischt. Nur jedes fünfte Jahr hat die Zirkulation bis in eine Tiefe von weniger als 100 m gewirkt. Seit dem Jahr 2000 erreichte die Zirkulation nur noch jedes zweite Jahr eine Tiefe von mehr als 100 Metern, wobei zwischen 2013 und 2017 gleich fünf Jahre in Folge mit schlechter Mischung des Tiefenwassers auftraten.

Durch die Winterzirkulation wird Sauerstoff ins Tiefenwasser eingetragen, wodurch sich der Lebensraum für Fische wieder erweitert. Gleichzeitig wird auch Phosphat aus der Tiefe in die oberflächennahen Wasserschichten eingemischt, wodurch das Wachstum von typischen Frühjahrsalgen (Kieselalgen, Cryptomonaden) ermöglicht wird. Diese stellen eine gute Futterbasis für Wasserflöhe dar, die ihrerseits als Nahrung für die Fische wichtig sind.

In den letzten Jahrzehnten wird die Algenzusammensetzung immer stärker durch die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) dominiert. Gelangt diese Alge im Winter durch die Zirkulation in über 100 m Tiefe, werden die Zellen zerstört und sterben ab. Einen milden Winter können sie jedoch überleben. Sie dominieren dann schon im Frühjahr das Plankton. Das spärlich vorhandene Phosphat im Oberflächenwasser wird sehr schnell von den in grosser Anzahl vorhandenen Burgunderblutalgen aufgenommen. Für andere Algen stehen nur noch wenig Nährstoffe zur Verfügung, was nur ein schwaches Wachstum ermöglicht. Die Futterbasis für die Wasserflöhe verschlechtert sich dadurch, denn sie meiden die Burgunderblutalge aufgrund ihrer fädigen Wuchsform und der Fähigkeit, Toxine zu bilden. Eine schlechte Winterzirkulation hat somit tiefgreifende Auswirkungen auf das gesamte Seeökosystem.

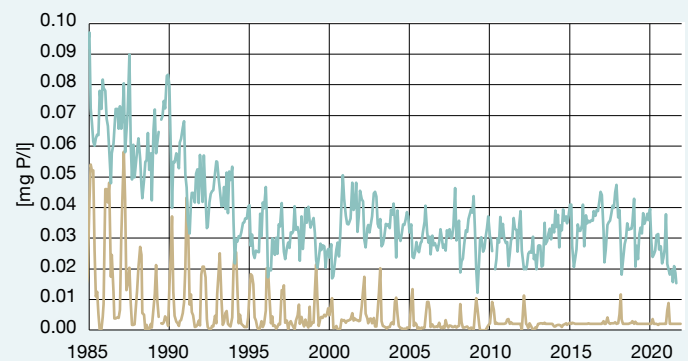
Ausdehnung der sauerstoffarmen Zone im Tiefenwasser

Fische benötigen mehr als 4 mg Sauerstoff (hellblaue Fläche)



Phosphatkonzentrationen im Tiefenwasser und in der oberflächennahen Schicht

Tiefenstufen [m] ■ 0–20 ■ 60–137



In den letzten 30 Jahren haben sich die Wassertemperaturen bis in eine Tiefe von 10 Metern um über 2 °C erhöht.



Kürzere Phasen der Zirkulation verzögern die Gesundung des Greifensees

Die Wassertemperaturen im Greifensee steigen an. Die Zirkulationsphase im Winter wird immer kürzer. Dadurch erhöht sich die Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment, was die Eigendüngung verstärkt.

Steigende Phosphorbelastung von 2014 bis 2017

Zwischen 2014 und 2017 wurde der langjährige Trend hin zu tieferen Phosphorkonzentrationen mehrere Jahre in Folge deutlich unterbrochen. Die mittlere Konzentration von Gesamtphosphor nahm von 52 auf 80 µg P/I zu und war damit ähnlich hoch wie Mitte der 1990er-Jahre. Untersuchungen zeigten, dass es in diesem Zeitraum zu keinem erhöhten Phosphoreintrag aus ARA in den See gekommen ist. Auch aus den Einzugsgebieten der beiden wichtigsten Zuflüsse, der Ustermer Aa und dem Aabach Mönchaltorf, wurde nicht mehr Phosphor eingetragen. Woher also stammt der zusätzliche Phosphor? Eine weitere mögliche Phosphorquelle befindet sich im See selbst. Durch den Abbau von absterbenden Algen wird Phosphat freigesetzt. Solange am Seegrund Sauerstoff vorhanden ist, reagiert das Phosphat mit Eisenverbindungen zu schwerlöslichem Eisenphosphat. Ist der Sauerstoff am Seegrund aufgebraucht, löst sich das Eisenphosphat auf, und Phosphat gelangt vom Sediment zurück ins Wasser. Zusätzlich wird aus der auf den Seegrund absinkenden Biomasse Phosphat freigesetzt. Dies bedeutet, dass trotz Reduktion des Eintrags in den See Phosphor im Überschuss vorhanden ist. Je länger die Phase der Rücklösung ist, desto höher wird deshalb die Phosphatkonzentration im Tiefenwasser, bis sie, nach erfolgter Vollzirkulation, im gesamten See wieder ausgeglichen ist.

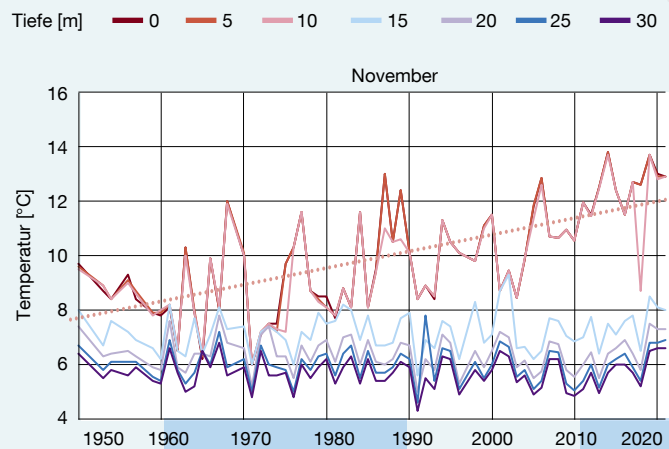
Start der Zirkulation im Winter verzögert sich

Der beobachtete Anstieg zwischen 2014 und 2017 dürfte die Folge kurzer Zirkulations- und langer Stagnationsphasen gewesen sein. Aufgrund der monatlichen Probenahmen kann die jeweilige Dauer nicht genau ermittelt, aber aufgrund der Temperaturprofile ihre relative Länge abgeschätzt werden. Die Dauer der Stagnationsphase ist umso länger, je grösser der Temperaturunterschied zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser ist.

Temperaturen an der Oberfläche steigen markant an

Die Temperatur im Oberflächenwasser ist im Vergleich zur Referenzperiode 1961 bis 1990 deutlich angestiegen, während sie sich im Tiefenwasser kaum veränderte. Die deutlichste Erwärmung wurde dabei im November gemessen. Die erhöhte Temperatur des Oberflächenwassers im Herbst dürfte dazu geführt haben, dass die Zirkulationsphase in den letzten Jahren deutlich später eingesetzt hat als in früheren Jahrzehnten und folglich länger Phosphor aus dem Sediment rückgelöst werden konnte. Die Trendumkehr der Phosphorkonzentrationen im Winter 2017/2018 ist auf mehrere Stürme mit Orkanstärke zurückzuführen, welche die Zirkulation stark begünstigten.

Monatlich gemessene Wassertemperaturen in verschiedenen Tiefenstufen



1961 bis 1990

Tiefe [m]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	3.4	3.4	4.6	8.6	14.4	19.8	22.1	22.0	18.5	14.1	9.1	5.6
5	3.5	3.5	4.2	7.1	11.5	15.4	17.5	19.0	17.3	13.8	9.1	5.6
10	3.6	3.5	4.1	5.9	7.5	8.6	9.2	9.7	10.0	11.0	8.9	5.6
15	3.7	3.6	4.0	5.3	6.2	6.7	7.0	7.2	7.3	7.3	7.2	5.6
20	3.9	3.6	4.0	5.0	5.5	6.0	6.3	6.4	6.6	6.4	6.5	5.5
25	4.0	3.7	3.9	4.8	5.3	5.7	5.9	6.1	6.1	6.1	6.0	5.4
30	4.0	3.8	3.9	4.7	5.0	5.4	5.6	5.8	5.8	5.8	5.8	5.4

2011 bis 2021

Tiefe [m]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	5.3	4.3	4.3	9.4	12.9	19.1	23.0	23.6	20.6	16.8	12.6	7.9
5	5.3	4.3	4.3	7.0	11.6	15.9	20.1	20.7	19.6	16.8	12.6	7.9
10	5.3	4.3	4.3	6.0	7.9	8.7	9.4	9.8	11.8	13.0	12.2	7.9
15	5.3	4.3	4.2	5.5	6.1	6.3	6.7	6.9	7.2	7.3	7.5	7.5
20	5.3	4.4	4.2	5.2	5.6	5.8	6.0	6.1	6.4	6.5	6.6	6.7
25	5.3	4.4	4.3	5.0	5.3	5.5	5.7	5.8	6.0	6.1	6.1	6.2
30	5.3	4.5	4.4	4.9	5.1	5.3	5.5	5.6	5.8	5.8	5.8	5.9

Differenz der Monatsmittelwerte 2011–2021 zur Periode 1961–1990

Tiefe [m]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	1.9	0.9	-0.2	0.9	-1.5	-0.7	0.9	1.6	2.1	2.8	3.5	2.3
5	1.7	0.8	0.1	-0.1	0.1	0.5	2.6	1.8	2.3	3.1	3.5	2.3
10	1.7	0.8	0.2	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	1.9	2.0	3.3	2.3
15	1.6	0.8	0.2	0.2	-0.1	-0.4	-0.3	-0.4	-0.1	0.1	0.3	1.8
20	1.4	0.7	0.2	0.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	0.0	0.1	1.2
25	1.4	0.7	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.8
30	1.3	0.7	0.5	0.2	0.1	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.5

Durch die erhöhte Temperatur des Oberflächenwassers im Herbst setzt die Zirkulationsphase deutlich später ein als in früheren Jahrzehnten.

Die Dauer und Intensität der Zirkulationsphase ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die in komplexer Weise zusammenwirken.

Faktoren, welche die Zirkulation im See begünstigen (+) oder behindern (-)

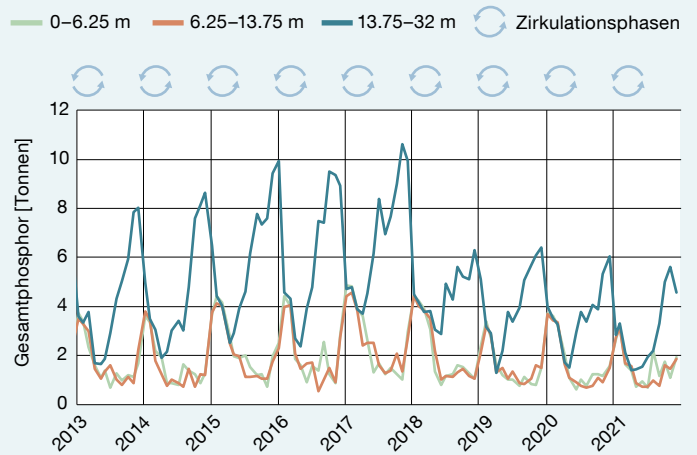
- +** starke Winde zu Beginn und während der Zirkulationsphase
- +** später Frühlingsbeginn mit kühlem, unbeständigem Wetter
- +** früher Herbsteinbruch mit kühlen Temperaturen
- früher Frühlingsbeginn mit hohen, stabilen Temperaturen
- langer Spätsommer mit hohen Temperaturen
- Eisdecke im Winter

Sedimente verzögern die Gesundung des Sees

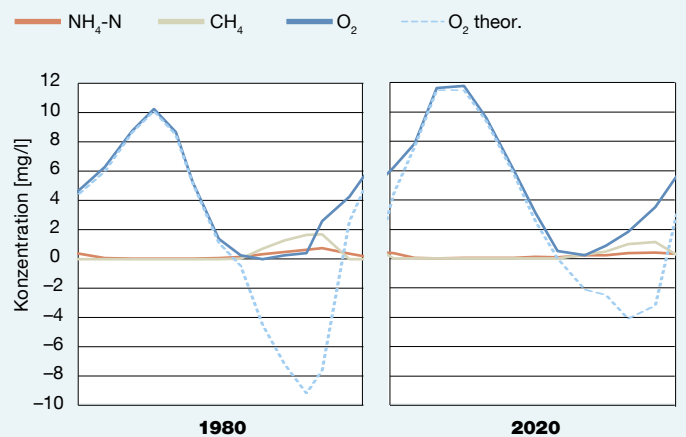
Wie bereits erwähnt, wird während der Stagnationsphase im Tiefenwasser und am Seegrund durch den Abbau von abgestorbener Biomasse im Wasser der Sauerstoff aufgezehrt. Wenn kein Sauerstoff mehr vorhanden ist, verwenden die Mikroorganismen für den Abbau andere Oxidationsmittel wie Nitrat oder Sulfat, und es kommt zur Bildung von Nitrit, Ammonium, Schwefelwasserstoff und Methan. Sobald mit einsetzender Zirkulation Sauerstoff zugeführt wird, werden diese reduzierten Stoffe wiederum oxidiert. Aus den gemessenen Sauerstoffwerten und den Konzentrationen der reduzierten Verbindungen lässt sich die theoretische Sauerstoffkonzentration berechnen, die auch negative Werte annehmen kann. Zwischen April und Oktober zeigt diese Grösse meist eine lineare Abnahme. Berücksichtigt man noch das Volumen des Tiefenwassers, kann man aus der Abnahme pro Zeiteinheit die Sauerstoffzehrung pro Flächeneinheit berechnen.

Die Chlorophyllwerte haben gezeigt, dass die jährliche Algenbiomasse in den letzten 40 Jahren knapp halbiert wurde. Die Sauerstoffzehrung zeigt für den gleichen Zeitraum zwar auch eine abnehmende Tendenz, jedoch in wesentlich geringerem Ausmass. Grund dafür sind die Ablagerungen von Biomasse im Sediment, die durch fortschreitende Abbauprozesse weiterhin Sauerstoff zehren respektive reduzierte Verbindungen freisetzen. Eine neue Studie der EAWAG hat gezeigt, dass eine deutliche Abnahme der Sedimentzehrung erst bei Gesamtphosphorwerten unter 18 µg P/l zu erwarten ist [7].

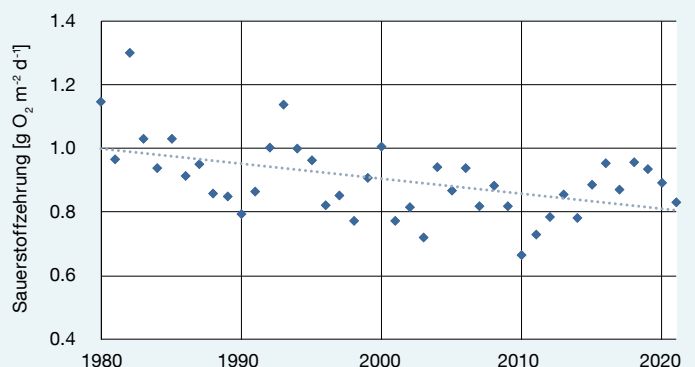
Gesamtphosphormenge in verschiedenen Tiefenbereichen



Mittlere Konzentrationen von Ammonium, Methan, Sauerstoff und berechnete theoretische Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser für die Jahre 1980 und 2020



Entwicklung der Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser



Natürliche Ufer dank Schutzverordnung

Als Folge von Seeschüttungen, Hafenanlagen und Ufermauern sind am Zürichsee natürliche Uferabschnitte zur Rarität geworden. Am Pfäffiker- und Greifensee sieht die Situation wesentlich besser aus. Mit Schutzverordnungen wurden in den Vierzigerjahren des letzten Jahrhunderts noch rechtzeitig die Grundlagen für den umfassenden Schutz der Ufer gelegt.

Schrägluftaufnahme Mündung Chämptnerbach am Pfäffikersee

Seeufer – Hotspots für die Biodiversität

Natürliche Seeufer mit Röhricht und angrenzenden Riedgebieten sowie seeseitigen Flachwasserzonen sind ausgesprochen wertvolle Lebensräume. Die Ufervegetation untersteht heute dem Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG) des Bundes und ist daher streng geschützt. Damit werden nicht nur die Pflanzen, sondern gleichzeitig auch die Lebensräume unzähliger Insekten, Krebstiere, Schnecken und Amphibien erhalten. Die Flachwasserzonen sind auch als Lebensräume für Fische von sehr grosser Bedeutung. Siedlungen, Verkehrswege, Hafenanlagen, Badeanstalten, Seezugänge und landwirtschaftliche Nutzflächen haben allerdings natürliche Uferabschnitte vielerorts zum Verschwinden gebracht.

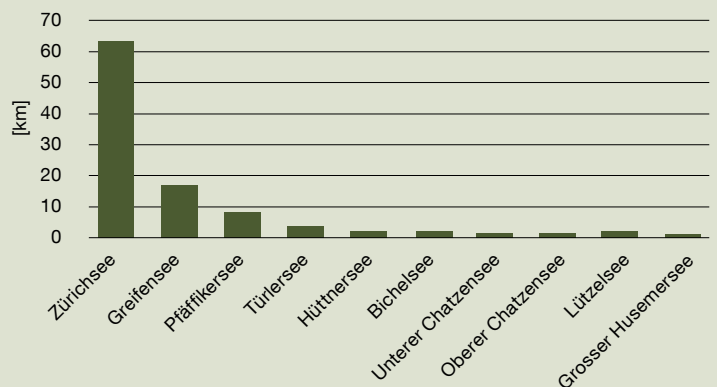
Ökomorphologische Erhebungen als Grundlage für Revitalisierungen

Mit der Anpassung des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) im Jahr 2011 wurden die Kantone zur strategischen Planung und Durchführung von Gewässerrevitalisierungen verpflichtet. Wie bei den Fliessgewässern dienen ökomorphologische Erhebungen als Grundlage für die Revitalisierungsplanung, die der Bund für die Seen bis Ende 2022 eingefordert hat. Anders als bei der Erhebung der Ökomorphologie an Fliessgewässern findet die Beurteilung der Seeufer nicht im Feld statt, sondern wird basierend auf Orthofotos und Schrägluftaufnahmen am Bildschirm durchgeführt (MSK-Methode Ökomorphologie Seeufer) [8].

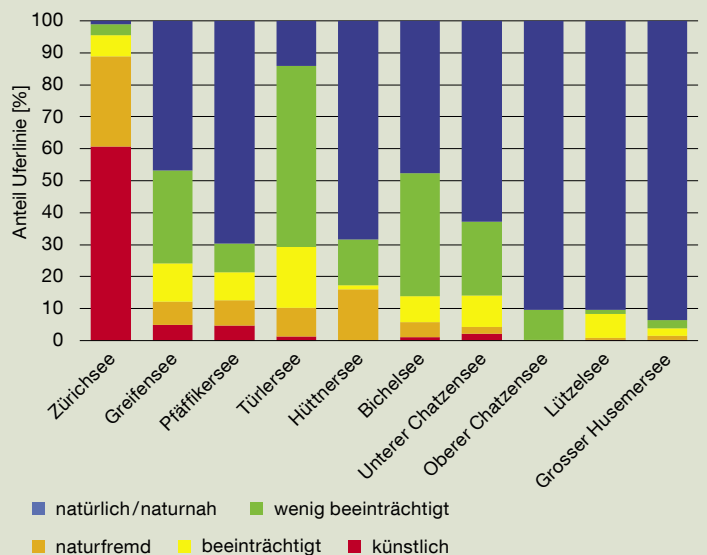
Zustandsbewertung aufgrund von Luftbildern

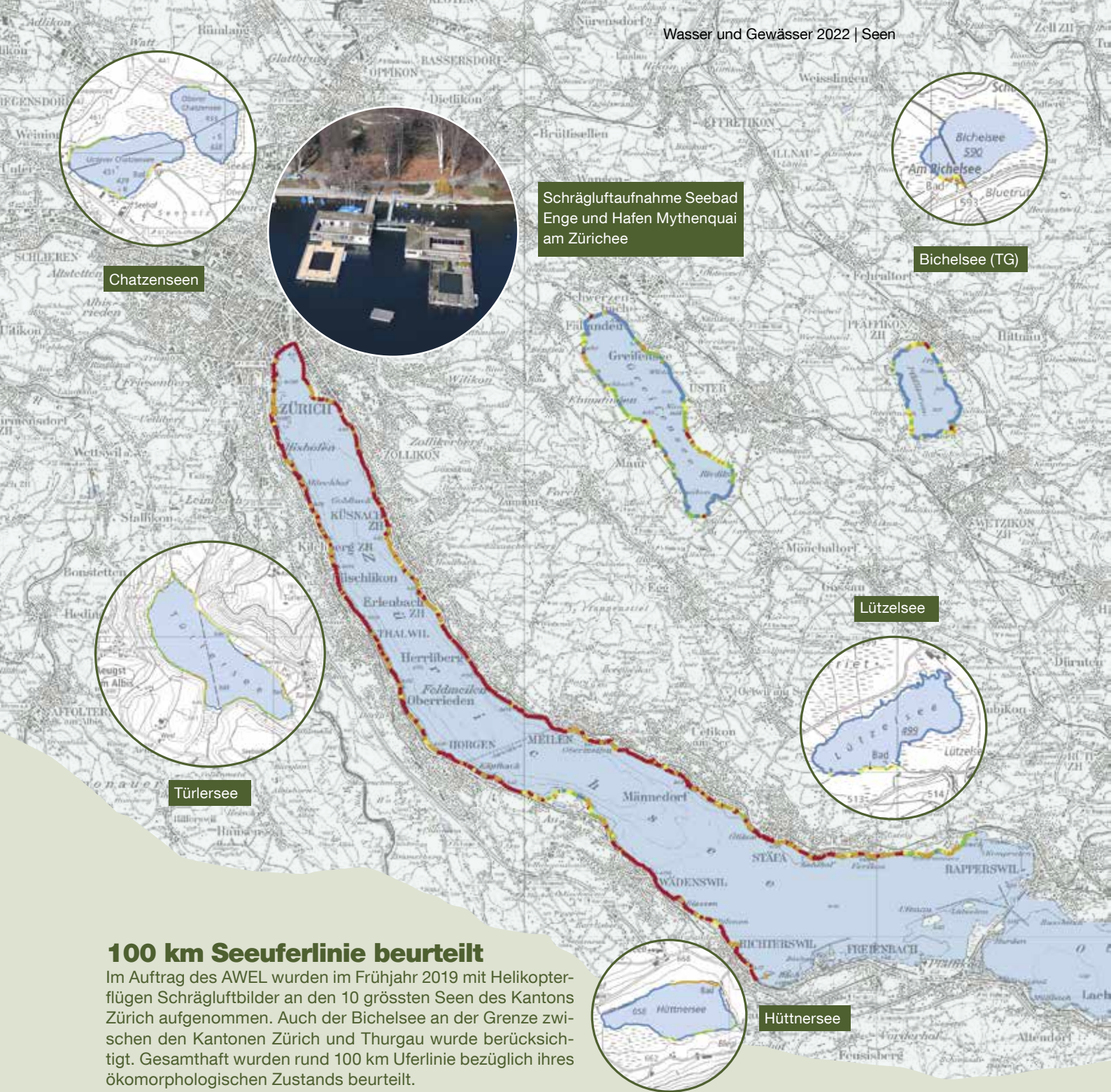
Mit Hilfe der Schrägluftbilder wird die Seeufermorphologie anhand von ausgewählten Merkmalen erhoben. Bewertet werden unterschiedliche Attribute, die den Kompartimenten «Flachwasserzone», «Uferlinie» und «Uferzone» – letztere unterteilt in «Uferstreifen» und «Hinterlandstreifen» – zugeteilt sind. Die Erfassung des ökomorphologischen Zustands erfolgt direkt in einem geografischen Informationssystem (GIS). Aufgrund der Resultate erfolgt die Zuordnung der Uferabschnitte zu einer der fünf Zustandsklassen.

Länge Uferlinie



Ökomorphologischer Zustand Seeufer





100 km Seeuferlinie beurteilt


Im Auftrag des AWEL wurden im Frühjahr 2019 mit Helikopterflügen Schrägluftbilder an den 10 grössten Seen des Kantons Zürich aufgenommen. Auch der Bichelsee an der Grenze zwischen den Kantonen Zürich und Thurgau wurde berücksichtigt. Gesamthaft wurden rund 100 km Uferlinie bezüglich ihres ökomorphologischen Zustands beurteilt.

Je grösser der See, desto schlechter der Zustand des Ufers

Der Grosse Husermersee, der Lützelsee und der Obere Chatzensee weisen bezüglich ihrer Ufer einen sehr guten ökomorphologischen Zustand auf. Auch der Untere Chatzensee, der Bichelsee und der Hüttnersee verfügen mit einem Anteil von mehr als 80 % über viele natürliche oder wenig beeinträchtigte Uferabschnitte. Am Türlerse bewirken Seezugänge, Uferwege und der Zeltplatz eine etwas höhere Beeinträchtigung der Ufer. Die gleichen Gründe sowie angrenzende Siedlungen, Bootsplätze und Hafenanlagen führen auch beim Pfäffiker- und Greifensee bei gut 20 % der Uferabschnitte zu erheblichen Beeinträchtigungen. Viel schlechter sieht die Situation am Zürichsee aus. Der Nutzungs- und Siedlungsdruck ist dort so stark, dass nur noch 0.7 Kilometer als natürliche/naturnahe sowie 2.2 Kilometer als wenig beeinträchtigte Uferabschnitte gelten. Bei einer gesamten Länge von 63 Kilometern entspricht dies einem Anteil von nur 4.6 %.

Stand der Revitalisierungsplanung

Mit Massnahmen zur Revitalisierung von Uferabschnitten sollen wieder vermehrt hochwertige Lebensräume für Tiere und Pflanzen geschaffen werden. Zudem entstehen attraktive Naherholungsgebiete für die Bevölkerung. Ein erster Entwurf der Revitalisierungsplanung Seeufer wurde Ende 2021 dem BAFU zur Stellungnahme eingereicht. Der Planungsentwurf wurde auf der Grundlage der Vollzugshilfe des Bundes erarbeitet und mit der Revitalisierungsplanung für Fliessgewässer abgestimmt. Im Frühling 2022 wurden die Gemeinden mit Seeanstoss, die zugehörigen Planungsverbände und weitere Interessensgruppen zur Vernehmlassung eingeladen. Nach Berücksichtigung der Rückmeldungen und Bereinigung der Planung wird diese dem BAFU eingereicht.

 GIS Browser Kanton Zürich
<https://maps.zh.ch/s/pt8x0qy8>

Synthese und Handlungsbedarf

Zürichsee

Die Phosphorkonzentrationen im See werden zunehmend von den klimatischen Bedingungen geprägt und sind nicht mehr allein vom Phosphoreintrag aus externen Quellen und den Langzeitfolgen der Gewässerverschmutzung abhängig.

Unter natürlichen Verhältnissen wäre der Zürichsee ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum und Sauerstoff bis zum Seegrund. Davon ist er heute weit entfernt. Zwischen 1970 und 2003 zirkulierte der See im Winter in der Regel nur bis in eine Tiefe von etwa 100 Metern und nur alle paar Jahre bis zum Grund. Dies führte zusammen mit der hohen Algenmenge und dem am Seegrund abgelagerten organischen Material dazu, dass die untersten 35 m des Sees regelmässig sauerstoffarm waren. Aufgrund der grossen Seetiefe ist diese sauerstoffarme Tiefenzone weniger negativ zu bewerten als in flacheren Seen, entspricht aber nicht dem natürlichen Zustand. In der Periode zwischen 2009 und dem Winter 2020/21 hat der See nie wieder vollständig zirkuliert. Das Wasser in grosser Tiefe blieb durchgehend sauerstofffrei und hat zu einer starken Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment und einem Anstieg der Phosphorkonzentrationen im Seewasser geführt. Durch die vollständige Zirkulation im Winter 2020/21 gelangte der Phosphor aus dem Tiefenwasser an die Oberfläche. Dies ermöglichte im Frühjahr und Sommer ein gutes Wachstum von Kieselalgen, Cryptomonaden und Grünalgen, während die Burgunderblutalge lange Zeit nur geringe Dichten aufwies. Insgesamt war die Algenbiomasse im Jahr 2021 weniger hoch als in den vorangehenden Jahren. Der Sauerstoff, der durch die Zirkulation ins Tiefenwasser eingetragen wurde, reduzierte die Rücklösung von Phosphat aus dem Sediment. Zur Erreichung von durchgehend sauerstoffhaltigem Tiefenwasser ist im Zürichsee eine weitere Reduktion der Phosphorkonzentration nötig, zeigt eine neue Studie der EAWAG [9].



Die ARA im Einzugsgebiet des Zürichsees erfüllen die verschärften Anforderungen für Gesamtphosphor, die im Einzugsgebiet von Seen gelten. Allerdings gelangen bei Regenwetter Entlastungen von ungeklärtem Abwasser aus der Kanalisation in den See. Mit einer Reduktion der Häufigkeit von Entlastungen könnte der Phosphoreintrag in den See weiter vermindert werden. Um den aktuellen Zustand zu halten, müssen die Anlagen in ihrem Wert erhalten sowie dem technischen Fortschritt und der Bevölkerungsentwicklung angepasst werden.

Aktueller Zustand Zürichsee

Phosphor **Algen**



- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht

Sauerstoff

Grund Oberfläche



Für Sauerstoff ist die Ausdehnung der sauerstoffarmen (schwarz) und sauerstoffreichen (hellblau) Zone im Sommer proportional zur Gesamttiefe aufgezeichnet.



Fokus Blaualgen

Eine tiefreichende Zirkulation verbessert die Sauerstoffverhältnisse und führt zu einer Nährstoffanreicherung des Oberflächenwassers.

Synthese und Handlungsbedarf

Greifensee

Dank mehrerer Winter mit guter Durchmischung hat sich der Trend zu steigenden Phosphorkonzentrationen nicht weiter fortgesetzt. Die Richtung der Entwicklung stimmt, aber Fortschritte werden nur noch langsam erzielt.

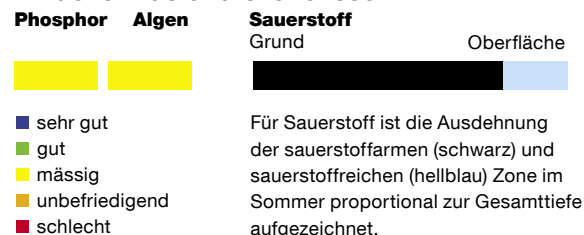
Unter natürlichen Verhältnissen wäre der Greifensee ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum. In drei von vier Wintern zirkuliert er vollständig und hat danach im Frühling sauerstoffgesättigtes Wasser bis zum Grund. Aktuell ist im Sommer unterhalb von 6 m Tiefe nicht mehr genügend Sauerstoff für Fische vorhanden. Deshalb wurde im Frühling 2009 eine Belüftungsanlage in Betrieb genommen, die in den kritischen Sommermonaten ein örtlich begrenztes Fischrefugium mit erhöhter Sauerstoffkonzentration schafft. Die Sauerstoffverhältnisse im gesamten See können dadurch aber nicht wesentlich beeinflusst werden. Eine Studie der Eawag zeigt, dass zur Erreichung von sauerstoffhaltigem Wasser in allen Seetiefen die Phosphorkonzentration auf weniger als $0.018 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$ gesenkt werden muss [9].

Durch den Ausbau der Siedlungsentwässerung, die verbesserte Reinigungsleistung der ARA und Massnahmen in der Landwirtschaft nahm die Phosphorbelastung zwischen 1970 und 2010 stark ab. Zwischen 2010 und 2017 wurde der Trend zu sinkenden Phosphorkonzentrationen unterbrochen. Die Gesamtphosphorkonzentration stieg auf das Niveau der 1990er Jahre. Da es in diesem Zeitraum zu keinem erhöhten Phosphoreintrag aus ARA in den See gekommen ist, und da auch aus den Einzugsgebieten der beiden wichtigsten Zuflüsse, dem Aabach in Uster und dem Aabach Mönchaldort, nicht mehr Phosphor eingetragen wurde, dürfte der Anstieg die Folge von mehreren Wintern mit schlechter Durchmischung gewesen sein. Aufgrund der Klimaerwärmung verkürzte sich die Zirkulationsphase im Winter, was dazu führte, dass das Wasser im See weniger stark mit Sauerstoff angereichert wurde. Fehlt der Sauerstoff über dem Seegrund, kommt es zur Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment und damit zu hohen Phosphorkonzentrationen im Tiefenwasser. Gelangt dieses Tiefenwasser durch die Zirkulation in oberflächennahe Schichten, kann der gelöste Phosphor das Algenwachstum im Frühling stark begünstigen. Mehrere Stürme in Orkanstärke im Winter 2017/18 haben die Zirkulation angeregt und die Trendumkehr herbeigeführt. Seither haben die Phosphorkonzentration und die Algenmenge im See wieder abgenommen.

Damit die Phosphorkonzentration dauerhaft sinkt, müssen die Anstrengungen zur Reduktion der Phosphoreinträge in allen Bereichen weiter fortgesetzt werden. Da der Nutzungsdruck im Einzugsgebiet stetig steigt, kann aber bereits ein Halten des aktuellen Zustands als Erfolg gewertet werden.



Aktueller Zustand Greifensee

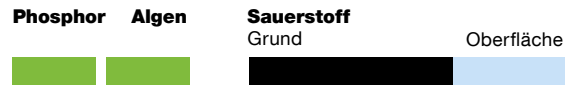


Die Ablagerungen am Seegrund verzögern die Gesundung des Sees.

Synthese und Handlungsbedarf



Türlensee



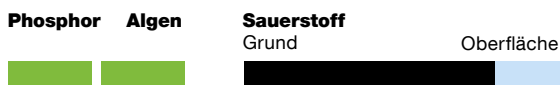
Die Phosphorkonzentration und Algenmenge im See werden heute als gut beurteilt. Die Zusammensetzung der Kieselalgengemeinschaft bestätigt, dass sich der Seezustand stark verbessert hat. Dennoch ist im Sommer in der Tiefe nicht mehr genügend Sauerstoff vorhanden.

Der Türlensee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum, der aufgrund seiner windgeschützten Lage höchstens alle paar Jahre vollständig zirkuliert. Das Tiefenwasser des Sees dürfte ursprünglich immer knapp sauerstoffhaltig gewesen sein, da der See bis 1900 sehr geringe Phosphorkonzentrationen aufwies.

Seit 1987 wurde im See eine Anlage zur Unterstützung der Zirkulation betrieben. Eine Studie der Eawag aus dem Jahr 2008 zeigt, dass auch bei vollständiger Zirkulation im Winter der vorhandene Sauerstoff im See nicht ausreicht, das absinkende organische Material abzubauen [10]. Allerdings ist die Algenmenge im See inzwischen soweit zurückgegangen, dass die obersten 6 m des Sees heute als Lebensraum für Fische wieder ganzjährig zur Verfügung stehen. Auch bei unvollständiger Zirkulation werden diese oberflächennahen Schichten jeden Winter vollständig gemischt und mit Sauerstoff angereichert. Die Zirkulationsanlage ist deshalb 2020 versuchsweise ausser Betrieb genommen worden. Um Sauerstoffkonzentrationen von 4 mg pro Liter in allen Seetiefen zu erreichen, müsste die Phosphorkonzentration auf unter 0.01 mg P_{tot}/l gesenkt werden [9]. Dazu müsste der Phosphoreintrag in den See nochmals deutlich reduziert werden. Da der Phosphoreintrag aus der Siedlungsentwässerung seit der abwassertechnischen Sanierung des Einzugsgebiets Mitte der Achtzigerjahre gering ist, können nur Massnahmen im Bereich Landwirtschaft zu einer weiteren Reduktion der Phosphorbelastung führen.



Pfäffikersee



Aktuell weist der See einen guten Zustand bezüglich Phosphor und Algenmenge auf, dennoch wird der Sauerstoff im Sommer in der Tiefe knapp.

Der Pfäffikersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum, der jährlich durchmischt wird. Bis 1900 dürfte das Tiefenwasser aufgrund der tiefen Phosphorkonzentration nahezu durchgehend sauerstoffhaltig gewesen sein. Seit der Betrieb der Zirkulationsanlage eingestellt wurde, ist die Zirkulationsphase im Winter kürzer geworden. Dadurch konnte sich das Seewasser weniger stark mit Sauerstoff anreichern. Die sauerstoffarme Zone im See im Spätsommer nahm dadurch zu und verringerte den Lebensraum für die Fische. Trotzdem stand ihnen immer eine ausreichend grosse Schicht mit günstigen Sauerstoff- und Temperaturverhältnissen zur Verfügung.

Zur Erreichung von 4 mg Sauerstoff pro Liter in allen Seetiefen müsste die Phosphorkonzentration nochmals um rund 40 % gesenkt werden, zeigt eine neue Studie der Eawag [9]. In Anbetracht der zunehmenden Bevölkerung im Einzugsgebiet, der kürzeren Zirkulationsphase im Winter u. a. auch aufgrund der Klimaerwärmung und den seit 20 Jahren stagnierenden Phosphorkonzentrationen dürfte bereits das Halten des erreichten Zustands als Erfolg gewertet werden.

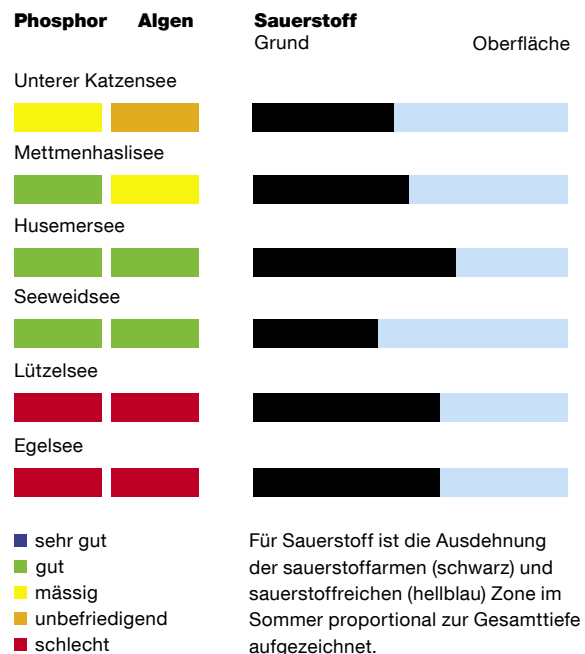
Synthese und Handlungsbedarf



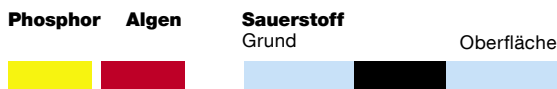
Kleinseen

Die Phosphorkonzentrationen und Algenmengen im Katzen-, Lützel- und Egelsee sind zu hoch, stagnieren oder gehen nur langsam zurück. Ohne weitergehende Massnahmen ist keine Besserung in Sicht. Im Mettmenhasli-, Seeweid- und Husemersee dagegen geht die Entwicklung in die richtige Richtung und die Zielvorgaben können immer häufiger erfüllt werden.

Aktueller Zustand der Kleinseen im Vergleich



Hüttnersee



Heute weist der See einen mässigen Zustand bezüglich Phosphor und einen schlechten bezüglich der Algenmenge auf. Ohne weitergehende Massnahmen im Einzugsgebiet ist eine weitere Verbesserung des Seezustands nicht möglich.

Der Hüttnersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein mässig nährstoffreicher See mit mittlerem Algenwachstum, der jeden Winter vollständig zirkulieren würde. Einzelmessungen aus den Sechzigerjahren zeigen, dass der See damals stark mit Phosphor belastet war. Zu Beginn der Achtzigerjahre gingen die Phosphorkonzentration und die Algenmenge im See erstmals stark zurück. Grund dafür dürfte u. a. die 1983 installierte Zirkulations- und Belüftungsanlage gewesen sein. Diese führt ganzjährig zu einer Erhöhung der Sauerstoffkonzentration im See. Damit sinkt die Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment, und das Algenwachstum insbesondere im Frühling geht zurück. In den letzten 20 Jahren ist die Phosphorbelastung und Algenmenge jedoch nicht mehr weiter gesunken. Trotz Belüftungsanlage führen die absinkenden Algen jeden Sommer zu einer sauerstoffarmen Zone in einer Tiefe von 4–7 m. Mit einer Verbesserung des Seezustands kann aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung von teilweise steilen Hängen im Einzugsgebiet mittelfristig nicht gerechnet werden. Zur Vermeidung von tieferen Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser wird die Anlage deshalb vorerst weiter betrieben, auch wenn die damit einhergehende Erhöhung der Wassertemperatur unerwünscht ist.

Bei den Kleinseen muss zwischen natürlicherweise mässig nährstoffreichen und nährstoffreichen Seen unterschieden werden. Sie werden in Bezug auf die Phosphorkonzentration und Algenmenge unterschiedlich bewertet. Die nährstoffreichen Seen Seeweid- und Egelsee weisen im Sommer natürlicherweise sauerstoffarmes Wasser über Grund auf. Der Mettmenhasli- und grosse Husemersee zirkulieren nicht jeden Winter vollständig und können aus diesem Grund verminderte Sauerstoffkonzentrationen aufweisen.

Die meisten Kleinseen liegen teilweise oder vollständig in Naturschutzgebieten und sind frei von häuslichem Abwasser. In einige der Seen wird jedoch Strassenabwasser und in alle Drainagewasser eingeleitet. Deshalb wird der Zustand der Kleinseen stark durch die Nutzung im Einzugsgebiet geprägt. Die beiden Seen mit dem höchsten Anteil Landwirtschaft im Einzugsgebiet weisen die höchsten Phosphorbelastungen auf. Es sind dies der Lützelsee und Egelsee. Damit die Phosphorbelastungen und damit auch die Algenmengen zurückgehen, bräuchte es weitergehende Massnahmen als bisher, z. B. eine weitere Extensivierung der Landwirtschaft oder verstärkte Massnahmen zum Schutz vor Erosion.



Grund- wasser

98 Bedeutung und Schutz

100 Quantitative Überwachung

104 Qualitative Überwachung

106 Temperatur

107 Chlorid

110 Nitrat

112 Pflanzenschutzmittel
und Biozidprodukte

116 Arzneimittel und weitere
Stoffe aus kommunalen ARA

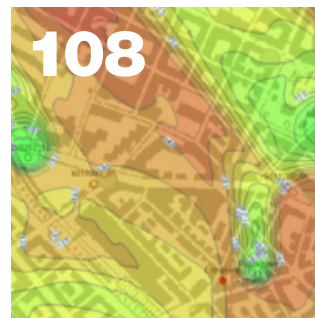
117 Schwermetalle und flüchtige
organische Verbindungen (VOC)

118 Synthese und Handlungsbedarf



Fokus

**Grundwasser –
wertvolles Gut,
aber gefährdet**



Fokus

**Nachhaltige
Wärmegewinnung**



Fokus

**Chlorothalonil –
nur die Spitze
des Eisbergs?**

Bedeutung und Schutz

Rund 60 % unseres Trinkwassers stammen aus Grund- oder Quellwasser. Dieses weist trotz vielfältiger Gefährdung durch anthropogene Einflüsse eine gute bis sehr gute Qualität auf. Damit dies auch in Zukunft so bleibt, müssen wir unser Grundwasser in quantitativer und qualitativer Hinsicht weiterhin sorgfältig schützen.

Grundwasservorkommen

Die ergiebigen und für die Trinkwassernutzung wichtigen Grundwasservorkommen des Kantons Zürich sind in den eiszeitlichen Schotterfüllungen der grossen Flusstäler von Rhein, Limmat, Thur, Sihl, Töss, Glatt und Eulach anzutreffen. Diese Schottervorkommen sind stark durchlässige Grundwasserleiter und weisen in der Regel eine grosse nutzbare Mächtigkeit auf. Sehr häufig steht das im kiesigen Untergrund fließende Grundwasser in einer engen wechselseitigen Beziehung zu den Oberflächengewässern. Die Infiltration von Flusswasser trägt neben der Versickerung von Niederschlägen in vielen Gebieten massgebend zur Neubildung von Grundwasser bei. Diese hydrogeologisch günstigen Voraussetzungen erlauben den Bau von Filterbrunnen mit hoher Entnahmeleistung, weshalb diese Grundwasservorkommen für die Trinkwassernutzung von vorrangiger Bedeutung sind.

Entlang der Hänge ehemaliger Moränenlandschaften sind auch in höheren Lagen Relikte älterer Schotter vorhanden. Diese stellen meist wichtige Quellsammler auf Plateaus dar. An der Grenze zwischen diesen hochliegenden Schottervorkommen und dem darunterliegenden Grundwasserstauer tritt das Wasser an die Oberfläche und bildet eigentliche Quellhorizonte. Wegen ihrer beschränkten Mächtigkeit sind diese Grundwasservorkommen für grössere Nutzungen nur selten geeignet. Für die Trinkwasserversorgung in Mangellagen sind sie jedoch sehr wertvoll, da für ihre Nutzung keine stromabhängigen Pumpen benötigt werden.

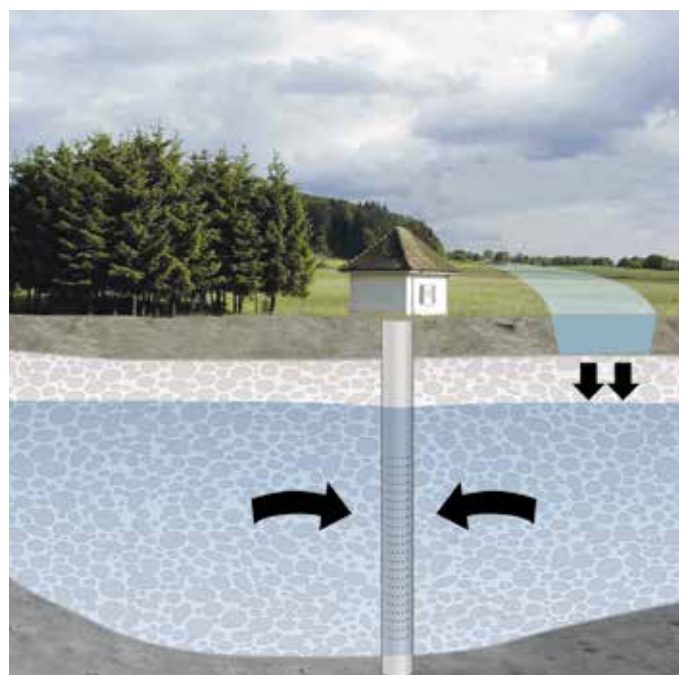
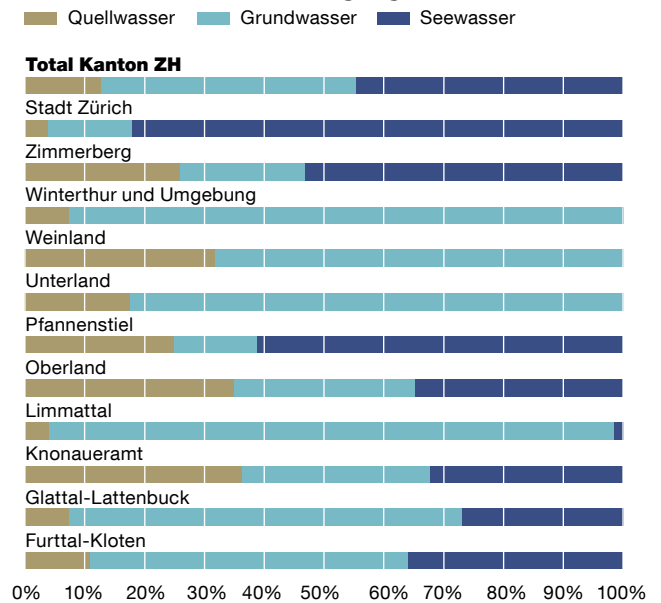
Wichtiger Trinkwasserlieferant und Teil des Ökosystems

Mit einem Anteil von etwa 60 % tragen Grund- und Quellwasser massgeblich zu einer einwandfreien Trinkwasserversorgung der gut 1.5 Millionen Einwohner im Kanton Zürich bei. Täglich werden knapp 250 Millionen Liter Grundwasser gefördert und weitgehend ohne Aufbereitung in das Leitungsnetz eingespeist.

Im Vergleich zu oberirdischen Gewässern ist das im Untergrund fließende Grundwasser vor Verunreinigungen, die durch menschliche Aktivitäten und Nutzungen verursacht werden, besser geschützt. In den vergangenen Jahrzehnten haben aber die Gefährdungen durch Siedlungen, Verkehr und Industrie – insbesondere in dicht besiedelten Gebieten – sowie Landwirtschaft stark zugenommen. Zumeist sind es diffuse Einträge von Schadstoffen, die das Grundwasser belasten und die sich oftmals nur langsam bemerkbar machen.

Aktuelle Beispiele sind organische Spurenstoffe wie z.B. Rückstände von Medikamenten oder Pflanzenschutzmitteln, die dank moderner Analysetechnik seit einigen Jahren im Grundwasser nachweisbar sind. Diese Stoffe treten zwar nur

Anteile von Quell-, Grund- und Seewasser an der Trinkwasserversorgung (Stand Ende 2020)



Grundwasserfassung in einem Schotter-Grundwasserleiter mit Infiltration von Flusswasser



in geringsten Konzentrationen auf, ihre Entwicklung und allfällige von ihnen ausgehende Gefährdungen der Ökosysteme müssen aber sorgfältig beobachtet werden.

Grundwasser ist nicht nur eine wichtige Ressource für die Trinkwasserversorgung. Als Teil des natürlichen Wasserkreislaufs erfüllt es auch bedeutende ökologische Funktionen, indem es z. B. zur Erhaltung von Feuchtgebieten beiträgt oder bei Trockenheit eine minimale Wasserführung in Bächen ermöglicht.

Planerischer Grundwasserschutz

Undichte Heizöltanks, Versickerungen von belastetem Abwasser, Bauten im Grundwasserleiter, Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen, Altlasten, Pflanzenschutzmittel und andere Risiken aus menschlichen Aktivitäten gefährden die Qualität unseres Grundwassers in mannigfacher Weise. Wegen der grossen Bedeutung der unterirdischen Gewässer für die Trinkwasserversorgung hat der vorsorgliche Schutz des Grundwassers oberste Priorität.

Der Schutz des Grundwassers ist aber auch in mengenmässiger Hinsicht in Übereinstimmung mit der Bundesgesetzgebung erforderlich, indem bei baulichen Eingriffen in den Untergrund Massnahmen zum Erhalt des Grundwasserdurchflusses und der Speicherkapazität getroffen werden. Dank der laufend aktualisierten Informationen über das Grundwasserdargebot können Übernutzungen von Grundwasservorkommen frühzeitig erkannt und durch entsprechende Massnahmen verhindert werden. So kann gewährleistet werden, dass Grundwasser mit einwandfreier Qualität auch künftigen Generationen in ausreichender Quantität zur Verfügung steht und damit jederzeit eine sichere Trinkwasserversorgung gewährleistet ist.

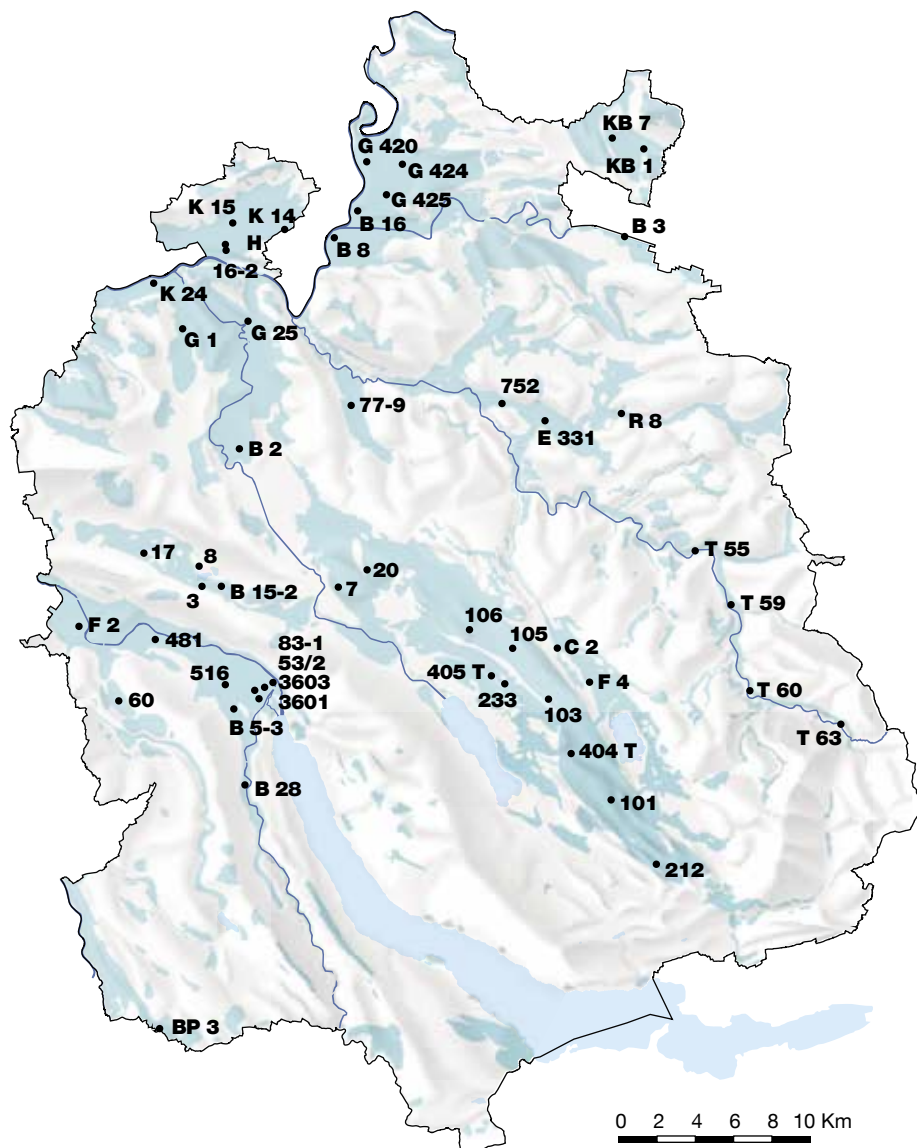
Das entscheidende Instrument für den planerischen Schutz der unterirdischen Gewässer ist die Gewässerschutzkarte. Sie bildet zusammen mit der Grundwasserkarte und den einschlägigen Gesetzen die Grundlage für den nachhaltigen Schutz der Wasserressourcen. Bei sämtlichen Massnahmen des qualitativen und quantitativen Grundwasserschutzes steht der Präventionsgedanke im Vordergrund. Eine intensive Überwachung sowohl der Grundwasserquantität als auch der -qualität ist die Voraussetzung dafür, dass allfällige negative Beeinflussungen infolge menschlicher Tätigkeiten frühzeitig erkannt und rechtzeitig die notwendigen Gegenmassnahmen ergriffen werden können. Aus diesem Grund werden die genutzten Grundwasservorkommen seit vielen Jahren sowohl bezüglich Menge als auch Güte systematisch überwacht.



Diffuse Einträge von Schadstoffen, die das Grundwasser belasten, machen sich oftmals nur langsam bemerkbar.

Quantitative Überwachung

Die Grundwasserstände werden kantonsweit an insgesamt 50 Pegelstationen erfasst. Dank Online-Messungen ist eine Beurteilung der aktuellen Grundwassersituation jederzeit möglich. Die langjährigen Messreihen erlauben zudem, Tendenzen frühzeitig zu erkennen.



Übersichtskarte mit Grundwasserpegeln

- Grundwasserpegel
- Grundwassergebiete



Digitaler Grundwasser-Messpegel mit Datenfernübertragung

Messtellennetz

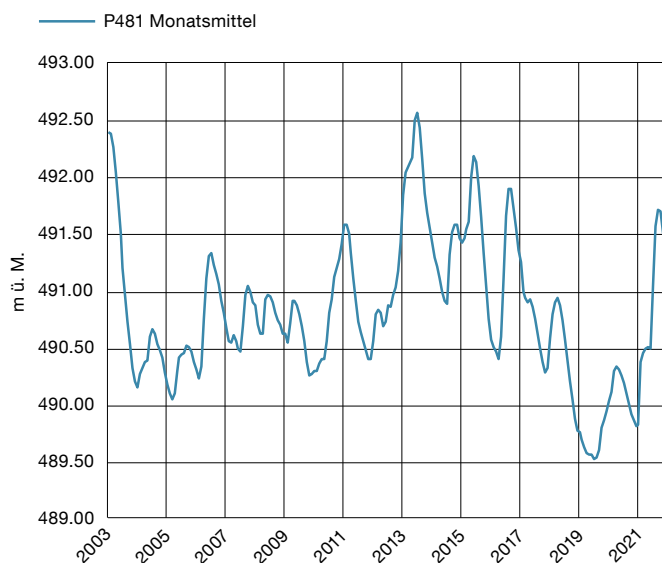
Für die Erfassung der Grundwasserstände sind bei sämtlichen wichtigen Grundwasservorkommen kantonale Pegelstationen eingerichtet. Die Grundwasserspiegel werden mit Hilfe präziser Drucksonden kontinuierlich gemessen, gleichzeitig wird auch die Temperatur des Grundwassers erfasst. Seit Frühjahr 2016 werden die Messdaten mehrmals pro Woche via Fernübertragung auf einen Datenserver übermittelt. Die Qualität der eingehenden Messdaten wird laufend geprüft und bei Bedarf werden Kontrollmessungen durchgeführt. Jährlich erfolgt eine statistische Auswertung der Messdaten. Die Jahresblätter der einzelnen Messstationen mit numerischen Angaben und grafischen Auswertungen der Grundwasserstandsdaten werden auf dem Internet unter www.gewaesser.zh.ch in der Rubrik Messdaten publiziert.

Die kontinuierlichen Messungen der Grundwasserspiegel der kantonalen Pegelstationen werden durch Messungen in rund 330 Grundwasserpumpwerken ergänzt. Dort werden die Pegelstände in den Grundwasserbrunnen (Ruhezustand) wöchentlich durch die jeweiligen Konzessionsinhaber gemessen und die Messwerte zusammen mit Angaben zur Fördermenge dem AWEL zugesandt.

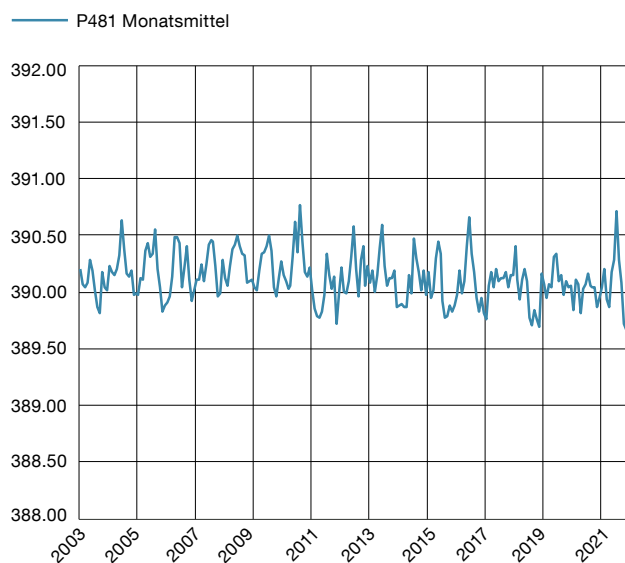
Die quantitativen Messdaten bilden eine wichtige Grundlage für eine koordinierte, nachhaltige Nutzung der unterirdischen Gewässer. Dank diesen Messungen sind die langjährigen Schwankungen des Grundwasserspiegels der bedeutenden Grundwasservorkommen gut bekannt. Auf nationaler Ebene existiert – in Ergänzung des kantonalen Überwachungsprogramms – noch das Monitoringprogramm NAQUA des Bundesamtes für Umwelt, das mit dem Modul QUANT eine schweizweite quantitative Grundwasserbeobachtung betreibt.

Die Folgen des Trockensommers 2018 und die Auswirkungen der intensiven Niederschläge im Sommer 2021 sind in der Pegelkurve der Messstelle 103 Oberes Glattal augenfällig.

Pegel 103 oberes Glattal, Uster



Pegel 481 Limmattal, Schlieren



Beurteilung

Die natürliche Grundwasserneubildung durch versickernde Niederschläge folgt einem jahreszeitlichen Rhythmus. Grundwasservorkommen, die überwiegend durch Niederschläge gespeist werden, zeichnen sich vielfach durch grosse Schwankungen des Grundwasserspiegels aus (Beispiel Pegel 103 im oberen Glattal, Uster). Langanhaltende Trockenperioden oder mehrere niederschlagsarme Jahre in Folge mit nur geringer Grundwasserneubildung können in diesen Gebieten zu einem sukzessiven Absinken des Grundwasserspiegels führen. Sowohl die Folgen des Trockensommers 2018 als auch die Auswirkungen der intensiven Niederschläge im Sommer 2021 sind in der Pegelkurve dieser Messstelle ersichtlich.

Dort, wo die Speisung des Grundwassers überwiegend durch Infiltration aus Fliessgewässern erfolgt, werden die Schwankungen des Grundwasserspiegels im Wesentlichen durch das Abflussregime der Oberflächengewässer bestimmt. In Flusstälern mit höher gelegenen Einzugsgebieten werden die höchsten Grundwasserstände in der Regel im Frühling und Frühsommer nach der Schneeschmelze beobachtet. Generell zeichnen sich die Grundwasservorkommen mit einer engen wechselseitigen Beziehung zum Oberflächengewässer durch geringe Schwankungen des Grundwasserspiegels aus (Beispiel Pegel 481 im Limmattal, Schlieren).

Falls die Wasserentnahmen die verfügbare Ergiebigkeit eines Grundwasservorkommens übersteigen, führt dies zu einem Absinken des Grundwasserspiegels. Dank der vorausschauenden Vergabe der Konzessionen werden Übernutzungen infolge von Entnahmen zur Trinkwasser- oder Brauchwassergewinnung vermieden.

Der Kanton Zürich hat die Grundwasserpegel 2020 statistisch auswerten lassen. Dabei wurde der Frage nachgegangen, ob die Grundwasserspiegel seit Messbeginn zu- oder abgenommen haben. Für 1970 bis 2011 ergaben die Auswertungen, dass die Grundwasserspiegel an knapp der Hälfte der Messstellen abgesunken und an etwas mehr als der Hälfte gestiegen sind. Innerhalb der letzten 10 Jahre machte sich jedoch die zunehmende Trockenheit deutlich bemerkbar: Die Grundwasserspiegel gingen an 93 % der Messstellen zurück.

Zusätzlich wurde untersucht, ob saisonale Verschiebungen bei den Grundwasserspiegelschwankungen zu beobachten sind. Dabei zeigte sich, dass bei den meisten Grundwassermessstellen ein abnehmender Trend zwischen Frühjahr und Herbst und ein leicht zunehmender Trend in den Wintermonaten vorliegt. Diese Entwicklungen stimmen mit den beobachteten Niederschlagstrends in der Schweiz überein: Seit Messbeginn haben die Winterniederschläge im Mittelland pro Dekade um 2 bis 3 % zugenommen, während die Sommerniederschläge stagniert oder leicht abgenommen haben.

Grundwasser – wertvolles Gut, aber gefährdet

Mit dem Wachstum der Bevölkerung wird nicht nur oberirdisch mehr und dichter gebaut, auch der Platzbedarf im Untergrund nimmt entsprechend zu. Um die bestehenden Grundwasserressourcen zu schützen und eine einheitliche Bewilligungspraxis zu gewährleisten, wurde die Vollzugshilfe «Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutzzonen» erarbeitet.



Unsere Grundwasserreserven stehen zunehmend unter Druck. Neben dem Klimawandel und den zahlreichen Verunreinigungen durch Schadstoffe aus Haushalten, Baustellen, Industrie oder Landwirtschaft, nimmt auch der Bedarf an Raum im Untergrund stetig zu. Aufgrund der modernen, verdichteten Bauweise werden Untergeschosse und Fundationen von Gebäuden tendenziell grösser und tiefer. Zum Teil reichen die Bauwerke so tief, dass sie nach ihrer Lebensdauer aus dem Untergrund kaum mehr entfernt werden können. Auch Infrastrukturbauten wie Tunnel für Strassen und Bahn oder Leitungen werden bevorzugt in den Untergrund verlegt, damit oberirdische Verkehrswege entlastet und neue Freiräume geschaffen werden können. Die Raumplanung findet nur an der Oberfläche statt und berücksichtigt bisher zu wenig, dass die Nutzungsansprüche im Untergrund eines der wertvollsten und gleichzeitig verletzlichsten Güter unserer Gesellschaft betreffen. Das Grundwasser ist Lebensgrundlage im Heute und für viele kommende Generationen.

Zunehmend tiefe Bauwerke beeinträchtigen Volumen und Durchfluss des Grundwassers.

Grundwasser als Basis der Trink- und Brauchwasserversorgung

Sauberes und in ausreichender Menge vorhandenes Grundwasser bildet die Basis der Trinkwasserversorgung und ist für das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung von grosser Bedeutung. Da Grundwasser lebenserhaltend ist, besitzt es einen nicht verhandelbaren Wert. Auch der ökonomische Wert des Grundwassers ist bedeutend, da viele Industrie- und Wirtschaftszweige für ihre Produktionen täglich auf ausreichende Wasserressourcen angewiesen sind.

Negative Effekte von Bauten im Untergrund

Die Grundwasserträger werden im Kanton Zürich vor allem aus gut durchlässigen Lockergesteinen gebildet. Kommen Bauteile in den grundwasserführenden Schotter zu liegen, geht natürliches Speichervolumen verloren. Gleichzeitig behindert das Bauwerk den Grundwasserdurchfluss. Die ursprüngliche Nutzbarkeit des Grundwassers wird damit beeinträchtigt. Werden diese Aspekte bei der Abwägung der raumplanerischen Nutzungsinteressen nicht berücksichtigt, geht Grundwasservolumen für immer verloren. Nachhaltige Interessensabwägungen müssen daher auch das langfristige Schadensausmass im Grundwasserträger der Nutzungsdauer eines Bauwerks entgegenstellen.

Vollzugshilfe zur Bewilligungspraxis

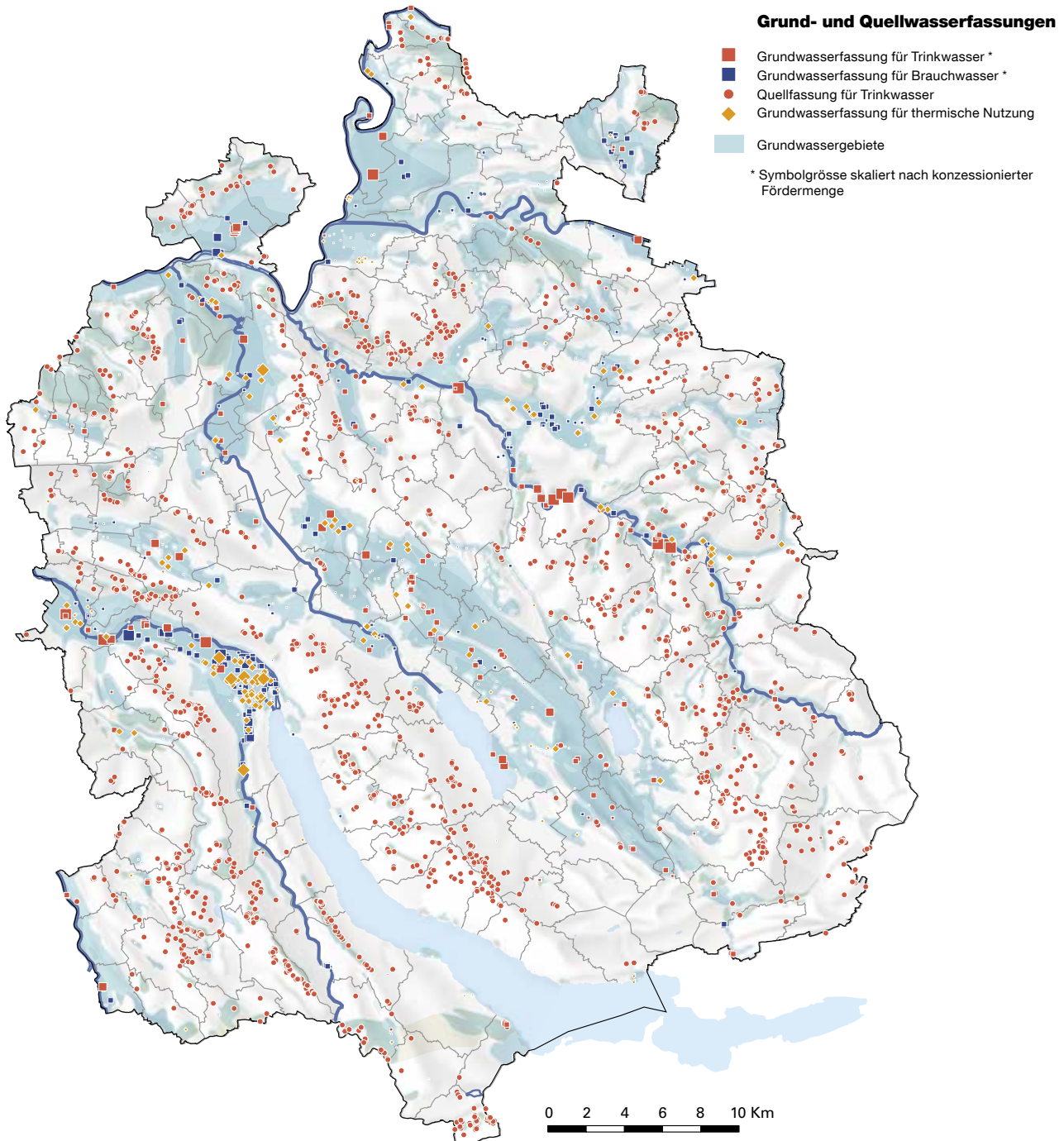
Der quantitative Schutz der Grundwasserressourcen ist in der Bundesgesetzgebung verankert. Die konkrete Umsetzung ist die Aufgabe der Kantone. Um einen möglichst einheitlichen, transparenten und praxistauglichen Vollzug zu gewährleisten, hat das AWEL mit der Vollzugshilfe «Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutz-zonen» vom Februar 2019 eine detaillierte Bewilligungspraxis formuliert. Darin wird festgelegt, unter welchen Baugrund- und Grundwasserhältnissen welche Einbautiefen zulässig sind. Für übergeordnete Infrastrukturbauten der Bahn und Strasse wurden die Grundsätze im Regierungsratsbeschluss Nr. 1164/2005 festgehalten.

Mit dieser Praxis soll der langfristige Erhalt der natürlichen Grundwasserleiter und damit der Trinkwasserressourcen in quantitativer Hinsicht sichergestellt werden.



Qualitative Überwachung

Im Rahmen des qualitativen Grundwassermonitorings wird das Wasser von rund 100 repräsentativen Grund- und Quellwasserfassungen regelmässig auf seine Qualität hin überprüft. Dank der flächendeckenden und systematischen Grundwasserüberwachung können Schadstoffe im Grundwasser frühzeitig erkannt und geeignete Massnahmen ergriffen werden.





Parameterliste

Routineuntersuchungen

Physikalische Parameter

Temperatur
Leitfähigkeit (20 °C)

Bakteriologie

Aerobe mesophile Keime pro 1ml
Escherichia coli
Enterokokken

Chemische Haupt- und Nebenparameter

Gesamthärte	Resthärte
Oxidierbarkeit	Ammonium
Nitrit	Nitrat
Chlorid	Phosphat (als P)
Sulfat	Eisen
Mangan	Freie Kohlensäure
Sauerstoff (gelöst)	Sauerstoffsättigung

Messkampagnen

Schwermetalle
Pestizide
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)
Weitere Mikroverunreinigungen

Gesetzliche Anforderungen

Die Anforderungen an Grund- und Quellwasser, das als Trinkwasser genutzt wird resp. dafür vorgesehen ist, sind in der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 festgelegt. Werden die vorgegebenen Werte überschritten, müssen die zuständigen Behörden Art, Ausmass und Ursache der Verunreinigung abklären und geeignete Massnahmen zum Schutz des Grundwassers ergreifen (Art. 47 GSchV). Ergänzend zu den gesetzlich festgelegten Werten sind in der «Wegleitung Grundwasserschutz» [11] sogenannte Indikatorwerte aufgeführt. Eine Überschreitung eines Indikatorwerts weist in der Regel auf eine anthropogen bedingte Belastung des Grundwassers hin und gibt Anlass zu Abklärungen über deren mögliche Ursache.

Hinsichtlich der Verwendung des Grundwassers als Trinkwasser ist die «Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV)» massgebend. Darin sind u. a. die mikrobiologischen und chemischen Anforderungen an die Qualität des zu Trinkzwecken an die Konsumentinnen und Konsumenten abgegebenen Wassers festgelegt. Die vorgegebenen Höchstwerte legen die Mindestanforderungen an Trinkwasser fest, die nicht überschritten werden dürfen. Für die Kontrolle und Einhaltung der Vorschriften ist das Kantonale Labor Zürich zuständig.

Kantonales und nationales Beobachtungsnetz

Die Grundwasserqualität wird an mehr als 100 ausgewählten, repräsentativ über die Grundwassergebiete verteilten Messstellen und unter Berücksichtigung der Hauptnutzung im Einzugsgebiet (Siedlungsgebiet, Landwirtschaft und Wald) überwacht. Als Beobachtungsstellen für die qualitative Grundwasserüberwachung dienen meist Grund- und Quellwasserfassungen, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden. Das Überwachungsnetz soll ein aussagekräftiges Bild über die Grundwasserbeschaffenheit ermöglichen. Die Probenahme erfolgt jährlich jeweils alternierend im Frühling und im Herbst. Die Laboranalysen umfassen die wichtigsten chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Parameter. Die Analysenprogramme für spezielle Messkampagnen werden jährlich neu festgelegt.

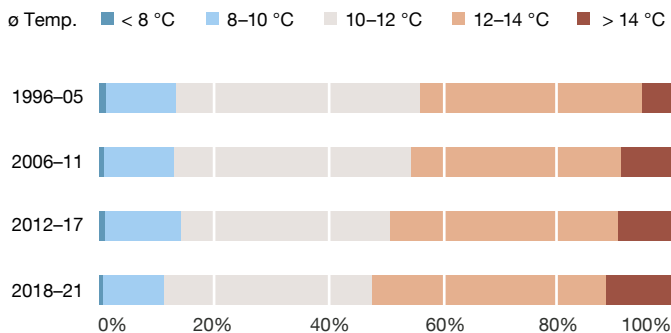
Auf Bundesebene liefert die nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA ein Bild über den Zustand und die Entwicklung der Grundwasserressourcen in der Schweiz. Das BAFU erfasst dabei die Grundwasservorkommen schweizweit an über 500 mehr oder weniger gleichmässig über die ganze Schweiz verteilten Messstellen sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht. Knapp 60 der auf dem Gebiet des Kantons Zürich liegenden NAQUA-Messstellen sind gleichzeitig auch Teil des kantonalen Beobachtungsnetzes. Um Synergien zu nutzen, wurden die Überwachungsprogramme des Bundes und des Kantons Zürich harmonisiert.

Temperatur

Konstante, niedrige Temperaturen zählen zu den Qualitätsmerkmalen eines einwandfreien Trinkwassers. Durch thermische Nutzungen, aber auch durch Wärmeabgaben in besiedelten Gebieten unterliegen die Grundwassertemperaturen zunehmend anthropogenen Einflüssen. Durch eine sorgfältige Nutzungsplanung und eine laufende Überwachung soll gewährleistet werden, dass die Temperaturen nicht unzulässig stark ansteigen.

Grundwassertemperatur 2018–2021 im Vergleich zu früheren Beobachtungsperioden

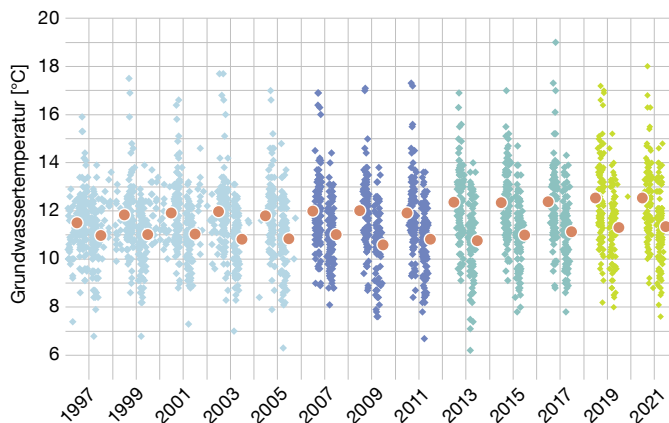
(%-Anteil gewichtet nach Fördermenge)



Grundwassertemperaturen im Zeitraum 1996–2021

Probenahme alternierend im Frühjahr und im Herbst

- ◆ Messwerte 1996–2005 (n=1146)
- ◆ Messwerte 2006–2011 (n=591)
- ◆ Messwerte 2012–2017 (n=578)
- ◆ Messwerte 2018–2021 (n=395)
- Jahres-Mittelwert



Beurteilung der Grundwassertemperatur 2018–2021

Ab etwa 10 m Tiefe betragen die natürlichen, unbeeinflussten Grundwassertemperaturen im Mittelland relativ konstant ca. 10 bis 12 °C. Unter dicht überbauten Gebieten ist die Wassertemperatur in der Regel anthropogen um 1 bis 3 °C erhöht (z. B. wegen Untergeschossen und Tiefgaragen, Kanalisationen etc.). Stärkere jahreszeitliche Temperaturschwankungen treten im Nahbereich infiltrierender Oberflächengewässer auf.

Aufgrund seiner relativ konstanten Temperatur eignet sich Grundwasser ideal für die Nutzung mittels Wärmepumpen. Dabei dürfen die natürlichen Temperaturen um höchstens 3 °C verändert werden. Um das Havarierisiko und die Eingriffe in die schützenden Deckschichten zu minimieren, werden in Gebieten mit Grundwasservorkommen, die für die Gewinnung von Trinkwasser genutzt werden können, grundsätzlich nur Grossanlagen bewilligt.

Grundwassernutzungen zu Kühlzwecken werden sehr zurückhaltend bewilligt (wo vorhanden unter Anwendung eines numerischen Modells), da sie mit Rückgabe von erwärmtem Wasser verbunden sind. Höhere Temperaturen im Grundwasser begünstigen das Wachstum von Bakterien und können generell die Zusammensetzung der natürlich vorkommenden Wasserorganismen verändern.

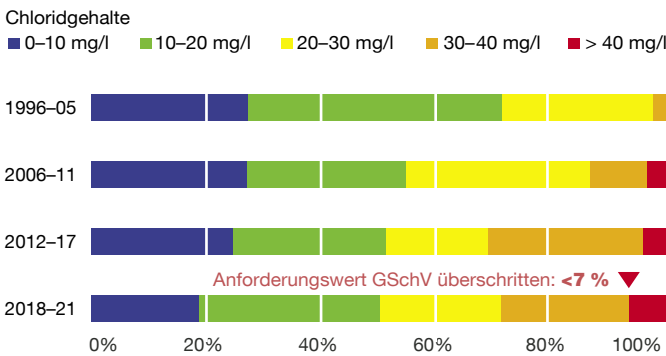
In den Grundwasserfassungen liegen die Temperaturen überwiegend zwischen 10 und 14 °C. Die letzten 15 Jahre zeigen, dass sich das Grundwasser tendenziell erwärmt. Etwas mehr als 10 % des geförderten Grundwassers wies in der Messperiode 2018–21 Temperaturen >14 °C auf, davor lag dieser Wert noch unter 10 %. Grössere, durch den Menschen verursachte Temperaturveränderungen waren lokal begrenzt in Städten feststellbar (z. B. beim Urania-Parkhaus in Zürich-City bis 26 °C). Die steigende Zahl an Grundwassernutzungen zu Heiz- und Kühlzwecken in Siedlungsgebieten stellt eine Herausforderung für den Erhalt der natürlichen Grundwassertemperaturen dar.

Chlorid

Chlorid im Grundwasser ist überwiegend auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Undichte Abwasserleitungen, Sickerwässer aus Deponien, landwirtschaftliche Düngung oder insbesondere der Streusalzeinsatz führen zu erhöhten Chloridkonzentrationen im Grundwasser. Über die letzten 20 Jahre haben diese stetig zugenommen.

Chlorid 2018–2021 im Vergleich zu früheren Beobachtungsperioden

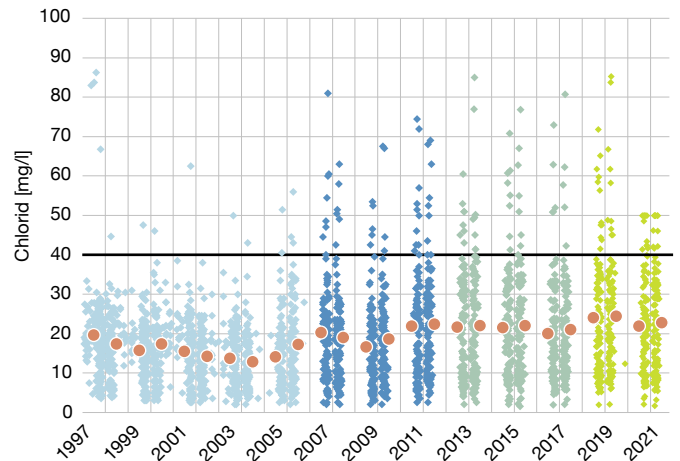
(%-Anteil gewichtet nach Fördermenge)



Chloridgehalte im Zeitraum 1996–2021

Probenahme alternierend im Frühjahr und im Herbst

- ◆ Messwerte 1996–2005 (n=1146)
- ◆ Messwerte 2006–2011 (n=591)
- ◆ Messwerte 2012–2017 (n=578)
- ◆ Messwerte 2018–2021 (n=396)
- Anforderung GSchV < 40 mg/l
- Jahres-Mittelwert



Beurteilung der Chloridgehalte 2018–2021

Die natürliche, geologisch bedingte Chloridkonzentration des Grundwassers beträgt nur wenige Milligramm pro Liter (mg/l). Die meisten erhöhten Chloridgehalte sind deshalb auf diffuse anthropogene Einträge zurückzuführen. Für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, gilt gemäss GSchV ein Anforderungswert für Chlorid von 40 mg/l. Diese Anforderung erfüllen mehr als 93 % des geförderten Grundwassers im Kanton Zürich. Die TBDV gibt mit 250 mg/l einen weniger strengen Höchstwert vor. Derart hohe Chloridkonzentrationen wurden in den letzten Jahren nirgends festgestellt. Die vereinzelt über dem Anforderungswert der GSchV liegenden Chloridwerte haben in den letzten Jahren stetig zugenommen, sind jedoch gesundheitlich nicht relevant.

Einerseits können erhöhte Chloridkonzentrationen auf den Einsatz von Streusalz im Winter zurückgeführt werden. Andererseits kann Chlorid auch über Leckagen in Kanalisationsleitungen, Sickerwässer aus Deponien oder Uferfiltrat ins Grundwasser gelangen. Zudem haben Anwendungen im Siedlungsbereich wie die Wasserenthärtung mit Ionentauschern in Hausinstallationen tendenziell zugenommen. Dies könnte mit ein Grund für die Zunahme des Salzeintrags über Abwasserreinigungsanlagen in Fließgewässer sein.

Auffällig sind die langfristigen Schwankungen des Chloridgehalts im Grundwasser: Während die durchschnittlichen Konzentrationen der untersuchten Wasserproben von Trinkwasserfassungen von 1996–2003 sukzessive von rund 20 mg/l auf 12 mg/l sanken, nahmen die Konzentrationen in den Jahren 2005/2006 wieder auf 20 mg/l zu. Nach einem leichten Rückgang in den Folgejahren liegen die Chloridgehalte seit 2011 erneut leicht über diesem Wert. Diese Schwankungen lassen sich nicht direkt mit einem unterschiedlichem Streusalzverbrauch im Winter korrelieren. Sie sind vorerst nicht erklärbar.



Nachhaltige Wärmegewinnung

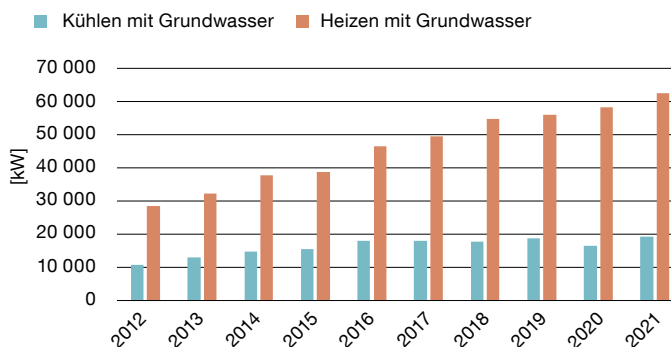
Die Nutzung unterirdischer Gewässer zum Heizen und Kühlen ist zunehmend populär und aus Gründen des Klimaschutzes erwünscht. Das AWEL unterstützt Planer durch Grundwasser-Modellierungen, um das begrenzte thermische Potential bestmöglich erschliessen zu können.

Thermische Grundwassernutzungen gewinnen stetig an Bedeutung

Sie führen in der Regel zu einem Ersatz von fossilen Energieträgern. Ende 2021 bestanden 265 Konzessionen zur thermischen Grundwassernutzung, die dem Grundwasser insgesamt bis zu 62 412 kW Wärme entziehen bzw. 19 200 kW Wärme zuführen können. Mit dieser Wärmenutzung können jährlich gut 10 000 Tonnen Heizöl resp. 30 000 Tonnen CO₂ eingespart werden.



Thermische Grundwassernutzung



Trinkwasserressourcen erhalten

Von herausragender Bedeutung für alle Nutzungen von Grundwasser sind die sogenannten Schotter-Grundwasservorkommen, bei denen Wasser in natürlichen kiesig-sandigen Ablagerungen fliesst. Das im Kanton benötigte Trinkwasser stammt grösstenteils aus solchen Ablagerungen. Diese Grundwasservorkommen bilden aber auch die wichtigste Basis für die thermische Grundwassernutzung. Damit unterirdische Wasserressourcen nicht beeinträchtigt werden und auch künftig eine Gewinnung von einwandfreiem Trinkwasser möglich ist, regeln verschiedene bundesrechtliche Bestimmungen die thermische Wassernutzung. Dabei ist die Festlegung, dass die natürliche Temperatur des Grundwassers um nicht mehr als 3 °C verändert werden darf, von besonderer Bedeutung.

Die natürliche Temperatur des Grundwassers darf um max. 3 °C verändert werden.

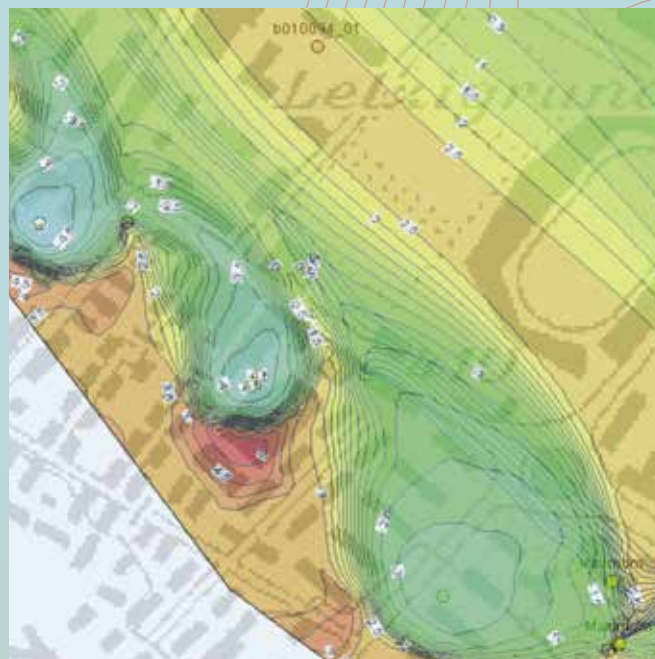


Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Zürich

Potential optimal nutzen

Urbane Gebiete und der Klimawandel führen vielerorts bereits zu einem um 1 bis 3 °C erwärmten Grundwasser. Dieser Wärmeeintrag ins Grundwasser erhöht einerseits das Potential für den Wärmeeintrag zum Heizen, andererseits sind Wärmeeinträge ins Grundwasser zum Kühlen nicht oder nur sehr beschränkt möglich.

Klimawandel und Urbanisierung erhöhen die Grundwassertemperatur.



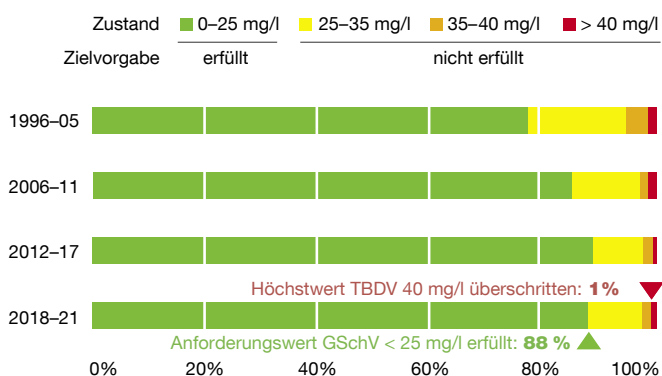
Thermische Grundwasser-Modellierung zur Wassernutzung

Nitrat

Dank Ausrichtung auf eine umweltschonendere Landwirtschaft mit der Einführung von Direktzahlungen hat die Belastung des Grundwassers durch Nitrat seit Mitte der Neunzigerjahre sukzessive abgenommen. Heute erfüllen knapp 90 % des zu Trinkzwecken genutzten Grundwassers das Qualitätsziel für Grundwasser. Aber nicht bei allen Trinkwasserfassungen wird der Höchstwert für Trinkwasser eingehalten.

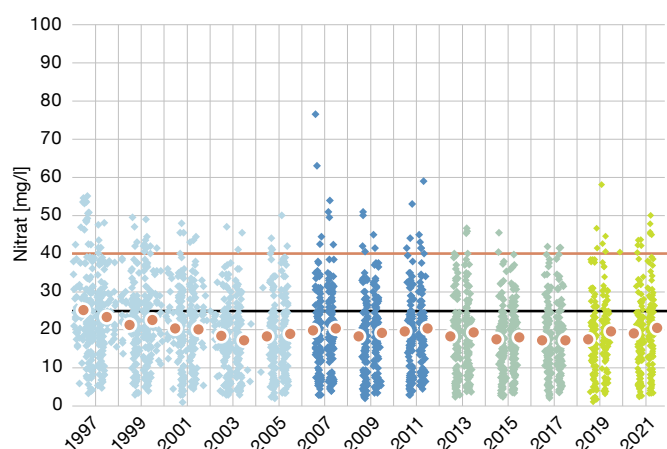
Nitrat 2018–2021 im Vergleich zu früheren Beobachtungsperioden

(%-Anteil gewichtet nach Fördermenge)



Nitratgehalte im Zeitraum 1996–2021

- ◆ Messwerte 1996–2005 (n=1146)
- ◆ Messwerte 2006–2011 (n=591)
- ◆ Messwerte 2012–2017 (n=578)
- ◆ Messwerte 2018–2021 (n=396)
- Anforderung GSchV < 25 mg/l
- Höchstwert TBDV 40 mg/l
- Jahres-Mittelwert



Erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind in erster Linie auf die Auswaschung von Nitrat aus intensiv genutzten Ackerböden zurückzuführen. Nitrat stammt aus Mineraldüngern oder stickstoffhaltigen organischen Düngern, die als Gülle, Mist, Kompost oder Gärgut ausgebracht werden, sowie aus dem Abbau der natürlichen organischen Bodensubstanz humusreicher Böden. Der Nitratreintrag ins Grundwasser ist von der Menge an ausgebrachtem Dünger, den angebauten Kulturen und den jahreszeitlich variablen Niederschlagsmengen abhängig.

In überdurchschnittlich trockenen Perioden, wie z. B. dem Hitzesommer 2018 mit geringer Grundwasserneubildung und entsprechend tiefer Nitratauswaschungsrate, nimmt die Nitratkonzentration im Grundwasser jeweils deutlich ab. In nasserer Folgejahre steigt der Nitratgehalt jedoch durch vermehrt versickernden Niederschlag und dadurch erhöhter Auswaschung wieder – zum Teil markant – an. Dies zeigt sich insbesondere bei Grundwasserfassungen, bei denen keine Verdünnung durch Flusswasserinfiltration stattfindet.

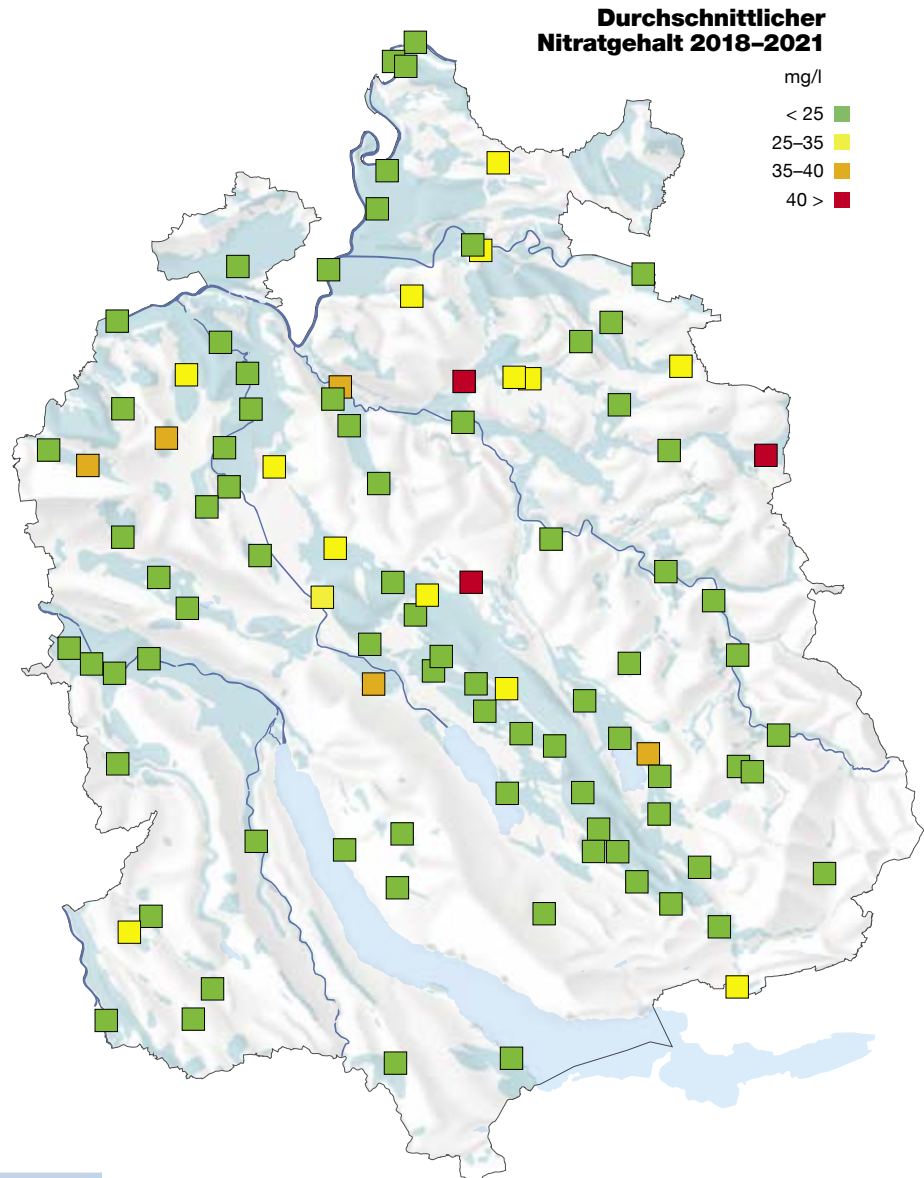
Beurteilung der Nitratgehalte 2018–2021

Von den 100 Messstellen der kantonalen Grundwasserbeobachtung erfüllten 2021 nur 71 % den in der GSchV festgeschriebenen Anforderungswert von 25 mg/l für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, 2014 waren es noch 85 %. Gründe für die zum Teil erheblichen Schwankungen der Nitratwerte in einzelnen Messstellen sind mannigfaltig: Zum Beispiel spielen die Witterungsverhältnisse, die Art der Anbaukulturen und die ausgebrachten Düngermengen eine Rolle. Die Pro-

benahme erfolgte 2021 im Frühling. Dieser war eher kalt und regnerisch, was die Auswaschung von Nitrat deutlich begünstigte. Zudem ist bei einigen Grundwassermessstellen der Nitratwert nur unwesentlich knapp über den Anforderungswert gestiegen. Bei dieser Auswertung werden die Messstellen unabhängig von der geförderten Grundwassermenge bzw. von der jeweiligen Bedeutung für die Trinkwasserversorgung berücksichtigt.

Statt die Nitratbelastung bezüglich der Anzahl Trinkwasserfassungen auszuwerten, kann dafür auch die mögliche geförderte Grundwassermenge herangezogen werden. Im Beobachtungszeitraum 2018–2021 erfüllten knapp 90 % des geförderten Grundwassers die Qualitätsanforderungen gemäss GSchV. Der lebensmittelrechtlich relevante Höchstwert gemäss TBDV von 40 mg/l wurde in 1 % des geförderten Grundwassers überschritten. Einige Trinkwasserfassungen mit grossen Fördermengen liegen im Bereich infiltrierender Oberflächengewässer und fördern daher ein nitratärmeres Grundwasser.

In früheren Jahren konnte eine Verbesserung der Nitratbelastung im Grundwasser beobachtet werden. Im Wesentlichen war dies auf die Verbreitung der Integrierten Produktion und des Biolandbaus als Folge der Förderung durch Direktzahlungsprogramme zurückzuführen. Nun scheint sich eine Stabilisierung einzustellen. Eine weitere Reduktion der Nitratbelastung ist in vielen Gebieten nur noch durch tiefgreifende Veränderung in der landwirtschaftlichen Produktion zu erreichen.



Gute landwirtschaftliche Praxis wie IP oder Biolandbau verringern den Nitratreintrag ins Grundwasser.

Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte

Pestizide aus der Landwirtschaft sowie aus Anwendungen im Siedlungsbereich und dem Materialschutz können unsere Wasserressourcen verunreinigen. Im Fokus stehen auch die Abbauprodukte der Pestizide, deren Konzentrationen teilweise die gesetzlichen Vorgaben überschreiten.



Pestizide sind biologisch hochwirksame chemische Substanzen, die im Pflanzenschutz und bei der Schädlingsbekämpfung sowie im Materialschutz weitverbreitet angewendet werden.

Pflanzenschutzmittel kommen in der Landwirtschaft zum Schutz der Pflanzen vor Schädlingen, Unkräutern und durch Pilze verursachte Krankheiten in praktisch allen Kulturen zum Einsatz. Sie werden aber auch ausserhalb der Landwirtschaft wie beispielsweise auf Grünflächen, Sportplätzen, in Hausgärten und bei Unterhaltsarbeiten eingesetzt.

Zum Schutz von Materialien vor unerwünschten Einwirkungen werden zum Teil dieselben Wirkstoffe verwendet. Der Einsatz von Biozidprodukten zum Beispiel zum Schutz von Fassaden und Dächern vor Algen und Pilzen ist weit verbreitet. Der jährliche Verbrauch von Biozidprodukten liegt in der gleichen Grössenordnung wie jener von Pflanzenschutzmitteln.

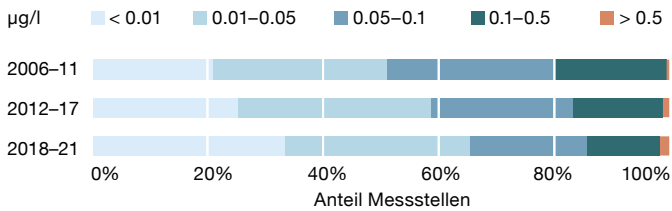
Pestizide können über die Versickerung von belastetem Niederschlagsabwasser, Bewässerungen oder über die Infiltration von belasteten Oberflächengewässern ins Grundwasser gelangen. Die GSchV legt die Anforderungen für Pestizide und deren Abbauprodukte (Metaboliten) im Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, fest. Im Weiteren wird in der GSchV auf die Verordnung über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV) verwiesen. Die Grundwasserqualität muss so beschaffen sein, dass das Wasser nach Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren die Anforderungen der Lebensmittelgesetzgebung einhält.

Seit 2002 analysiert das AWEL systematisch das Grundwasser auf Pestizide und deren Abbauprodukte. In jährlichen Messkampagnen wurden von 2006 bis 2021 in rund 100 Grund- und Quelfassungen rund sechzig Pestizide und ausgewählte Abbauprodukte untersucht und im Hinblick auf die Anforderungen der GSchV sowie der TBDV beurteilt.

Gesetzliche Anforderungen an Grundwasser aus GSchV und TBDV

Organische Pestizide (Biozidprodukte und Pflanzenschutzmittel)	0.1 µg/l je Einzelstoff
Für das Trinkwasser relevante Metaboliten	0.1 µg/l je Einzelstoff
Summe der Wirkstoffe sowie der für das Trinkwasser relevanten Metaboliten	0.5 µg/l
Übrige organische chemische Verbindungen mit unbekannter Toxizität	10 µg/l je Einzelstoff

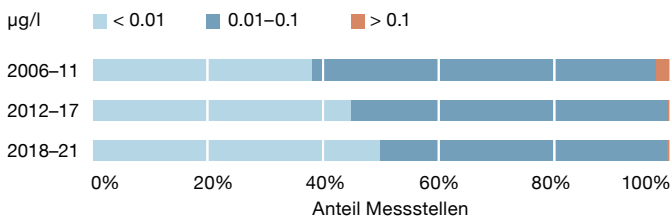
Summe Pestizide und relevante Metaboliten



In den jährlich untersuchten Quell- und Grundwasserfassungen sind nur vereinzelt erhöhte Konzentrationen an Pestiziden und relevanten Abbauprodukten nachweisbar. Seit 2006 hat sich die Situation leicht verbessert. Die Summe von 0.5 µg/l war aber in der Messperiode 2018–2021 in 2 % der untersuchten Grundwasserfassungen überschritten.

Stabile Abbauprodukte von Herbiziden und Fungiziden sind im Grundwasser ländlicher Einzugsgebiete feststellbar.

Atrazin



In den letzten Jahren haben die Konzentrationen von Atrazin und dessen Metaboliten im Grundwasser weiter abgenommen. Diese erfreuliche Entwicklung ist insbesondere auf das Anwendungsverbot des Herbizids Atrazin im Jahr 2011 zurückzuführen. Aufgrund der schlechten Abbaubarkeit und des hohen Verbrauchs von Atrazin vor 2011 sowie der Trägheit von Grundwassersystemen ist Atrazin weiterhin der am häufigsten detektierte Wirkstoff. Atrazin überschritt in der letzten Messperiode noch in 0.5 % der untersuchten Stellen die Anforderung von 0.1 µg/l.

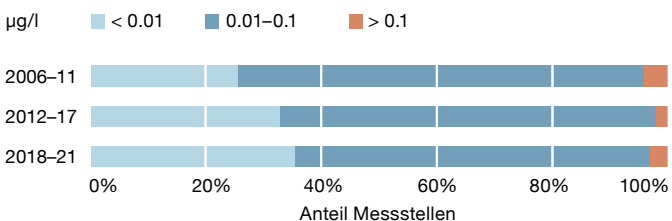
Neben Atrazin wurden vereinzelt auch Überschreitungen des Anforderungswerts von 0.1 µg/l durch die Pestizide Metolachlor und Bentazon gemessen.

Glyphosat und Biozide aus Baumaterialien nicht nachweisbar

Glyphosat, das in grossen Mengen als Herbizid eingesetzt und teilweise als Ersatz für Atrazin verwendet wird, wird auf dem Weg ins Grundwasser grösstenteils abgebaut. Im Grundwasser war Glyphosat nicht nachweisbar.

Im Rahmen der Grundwasserüberwachung werden auch Wirkstoffe untersucht, die in Biozidprodukten für Baumaterialien wie Fassaden und Dächer eingesetzt werden. Im Rahmen der jährlichen Messkampagnen wurden weder auffällige Befunde noch erhöhte Konzentrationen dieser Pestizide im Grundwasser festgestellt.

Desethylatrazin



Der relevante Metabolit mit den höchsten Konzentrationen im Grundwasser ist nach wie vor Desethylatrazin, ein Abbauprodukt von Atrazin. Im Vergleich zu diesem war der Rückgang der Konzentrationen deutlich geringer. Zwischen 2018 und 2021 wurden bei rund 3 % der untersuchten Fassungen die Anforderung der Gewässerschutzverordnung von 0.1 µg/l je Einzelstoff nicht eingehalten.

Zusätzlich zu den Wirkstoffen und den wenigen als relevant eingestuften Metaboliten findet man im Grundwasser weitere, als nicht-relevant eingestufte Abbauprodukte in teilweise deutlich erhöhten Konzentrationen. So wurden 2021 in rund der Hälfte aller untersuchten Grundwasserfassungen Pestizidabbauprodukte in Konzentrationen über 0.1 µg/l nachgewiesen. Insbesondere stabile Abbauprodukte von Chloridazon (Herbizid) und Chlorothalonil (Fungizid) waren im Grundwasser ländlicher Einzugsgebiete feststellbar. Die Abbauprodukte von Chlorothalonil werden im Fokusthema «Chlorothalonil – nur die Spitze des Eisbergs?» genauer beleuchtet.

Chlorothalonil – nur die Spitze des Eisbergs?



Die Geschichte der Chlorothalonil-Metaboliten zeigt, dass neu entdeckte Stoffe im Grundwasser eine grosse Herausforderung darstellen. Gibt es noch weitere solche Stoffe?

Chlorothalonil plötzlich im Fokus

Die Metaboliten des Fungizids Chlorothalonil waren 2019 und 2020 ein grosses Thema in den Medien. Einige Grundwasserproben wiesen aufgrund zu hoher Konzentrationen der Metaboliten keine Trinkwasserqualität mehr auf. Daher mussten die betroffenen Wasserversorgungen Massnahmen ergreifen, um die Konzentration der Chlorothalonil-Metaboliten im Trinkwasser zu reduzieren. Die entsprechenden Grundwasserfassungen mussten vom Trinkwassernetz genommen oder deren Wasser mit unbelastetem Wasser verdünnt werden.

Chlorothalonil wird seit mehr als 40 Jahren in der Landwirtschaft eingesetzt. Auf die Metaboliten wurde man jedoch erst im Jahr 2019 aufmerksam. Im Auftrag des BAFU führte die Eawag die NAQUA-Pilotstudie «Screening von organischen Spurenstoffen in Schweizer Grundwässern» durch. Insbesondere aufgrund der Weiterentwicklung der analytischen Methoden wurden neue Metaboliten von Chlorothalonil entdeckt, die im Grundwasser verbreitet in hohen Konzentrationen vorkommen.

Sind Chlorothalonil-Metaboliten relevant?

Im gleichen Jahr hat das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) in einer Neubewertung Chlorothalonil als «wahrscheinlich krebserregend» eingestuft. Damit wurden die Metaboliten von Chlorothalonil für das Trinkwasser als relevant beurteilt und der Höchstwert für relevante Metaboliten von 0.1 µg/l kam zum Tragen.

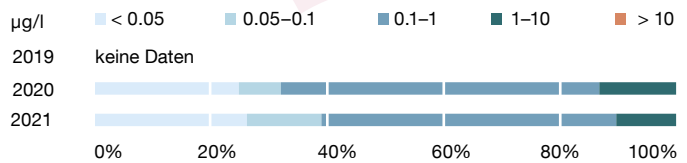
Weil der Höchstwert von 0.1 µg/l im Schweizer Mittelland grossflächig überschritten wurde, hat der Bund die Verwendung von Chlorothalonil ab dem 1. Januar 2020 verboten. Gegen dieses Verbot sowie gegen die Einstufung als «wahrscheinlich krebserregend» hat der Hersteller von Chlorothalonil Beschwerde eingelegt. Bis der Entscheid des Bundesverwaltungsgerichts (BVG) vorliegt, ist die Beurteilung der Chlorothalonil-Metaboliten provisorisch. Für vier Metaboliten, die aufgrund eines Zwischenentscheids des BVG aktuell nicht mehr als relevant eingestuft werden, gilt deshalb 10 statt 0.1 µg/l als Höchstwert im Trinkwasser. Unabhängig davon, welcher Höchstwert in Zukunft gelten wird, bleibt das oberste Ziel, die Konzentrationen aller unerwünschten Stoffe im Grundwasser möglichst tief zu halten.

Leichte Abnahme der Konzentrationen der Chlorothalonil-Metaboliten

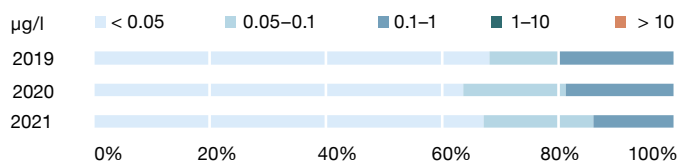
Der Chlorothalonil-Metabolit mit den höchsten Konzentrationen im Grundwasser ist Chlorothalonil R471811. Er wird seit Anfang 2020 analysiert und an vielen Messstellen detektiert. Im Jahr 2020 lagen 68 % der Befunde über 0.1 µg/l, im Jahr 2021 waren es noch 61 % der Befunde.

Entwicklung der Chlorothalonil-Metaboliten in Grund- und Quellwasser

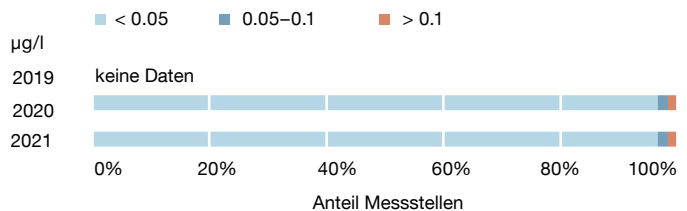
Chlorothalonil R471811



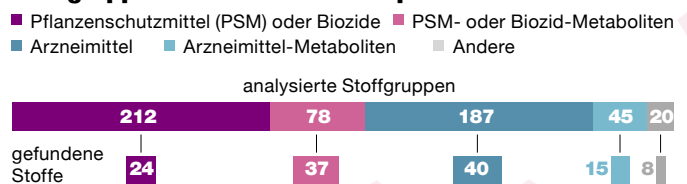
Chlorothalonil R417888



Chlorothalonil SYN507900



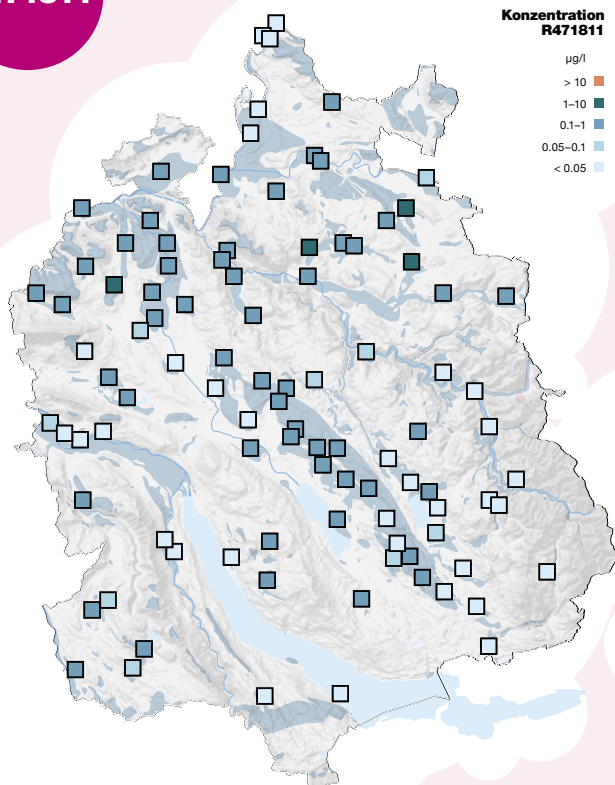
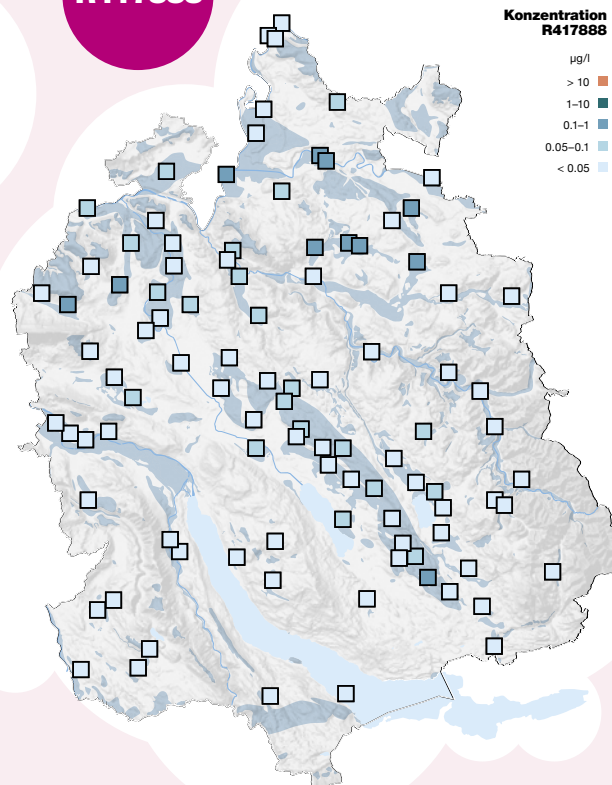
Anzahl analysierter und gefundener Stoffe nach Stoffgruppen in 27 Grundwasserproben



Ein anderer Metabolit (R417888) wird seit 2019 beobachtet und überschritt damals in 19 % der Proben den Wert von 0.1 µg/l. Die Konzentrationen haben seither leicht abgenommen, im Jahr 2021 lagen noch 14 % der Befunde über 0.1 µg/l. Für die beiden Metaboliten R471811 und R417888 gilt zurzeit der Höchstwert von 10 µg/l im Trinkwasser. Diese Konzentration wurde bisher nicht überschritten.

Für den Chlorothalonil-Metaboliten SYN507900 hingegen gilt auch nach dem BVG Zwischenentscheid weiterhin der Höchstwert von 0.1 µg/l. Er wurde 2021 in 2 % der Fälle überschritten. Weil die Chlorothalonil-Metaboliten in der Umwelt schlecht abbaubar sind, werden die erhöhten Konzentrationen voraussichtlich noch Jahrzehnte im Grundwasser nachweisbar sein.

Konzentrationen der Chlorothalonil-Metaboliten

R471811

R417888


Umfassende Untersuchungen

Das Beispiel der Chlorothalonil-Metaboliten zeigt, dass sowohl aufgrund aktueller Erkenntnisse bezüglich der Toxizität von Stoffen als auch aufgrund neuer Möglichkeiten in der Analytik plötzlich «neue» Stoffe ins Blickfeld geraten können. Aus diesem Grund erweiterte das Gewässerschutzlabor das Messprogramm der wiederkehrenden Umweltbeobachtungskampagnen mit siebzehn neuen Stoffen und führte zusätzlich eine umfassende Untersuchung auf 542 Stoffe durch.

124 von 542 gesuchten Stoffen nachgewiesen

Im Jahr 2020 wurden 27 Grundwasserproben auf 542 organische Spurenstoffe untersucht. Dafür wurde in Zusammenarbeit mit der Eawag eine Messmethode erarbeitet, mit der Bestimmungsgrenzen unter 0.01 µg/l für die meisten Stoffe erreicht werden. Diese Konzentration entspricht ungefähr einer Packung Zucker (1 kg) aufgelöst im Greifensee. Insgesamt wurden 124 Stoffe gefunden, darunter 40 Arzneimittel und 15 Metaboliten davon, 24 Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln oder Biozidprodukten, 27 Pestizid-Metaboliten sowie 8 weitere Stoffe wie beispielsweise künstliche Süßstoffe.

Pestizid-Metaboliten an vielen Standorten nachgewiesen

Von den untersuchten Stoffkategorien wurden Pestizid-Metaboliten am häufigsten gefunden und wiesen die höchsten Konzentrationen auf. Sie werden durch den Abbau von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten gebildet und können sowohl durch Versickerung als auch durch Infiltration von Oberflächengewässern ins Grundwasser gelangen. 18 Pestizid-Metaboliten wurden in mehr als 10 Grundwasserfassungen gefunden.

Arzneimittel-Rückstände von untergeordneter Bedeutung

Die meisten Arzneimittel wurden nur an ein bis zwei Standorten in geringen Konzentrationen nachgewiesen. Diese Stoffe weisen darauf hin, dass gereinigtes oder ungereinigtes Abwasser ins Grundwasser infiltriert.

Stoffe mit erhöhten Konzentrationen neu ins Messprogramm aufgenommen

Vierzehn Stoffe wurden in Konzentrationen über 0.1 µg/l gefunden: die Metaboliten des Fungizids Chlorothalonil und der Herbizide Chloridazon, Metolachlor, Dimethachlor, Atrazin und Nicosulfuron, sowie die Pflanzenschutzmittel Metolachlor und Propiconazol und der künstliche Süßstoff Sucralose. Alle Stoffe, die in der Untersuchung von 2020 erhöhte Werte aufwiesen, wurden 2021 ins Messprogramm aufgenommen und werden somit auch in Zukunft überwacht.

Die Suche geht weiter

Trotz der sehr umfangreichen Untersuchungen ist nicht auszuschließen, dass auch in Zukunft neue Stoffe im Grundwasser entdeckt werden. Einerseits weil neue, bisher nicht verwendete Stoffe in den Wasserkreislauf eingetragen werden, andererseits weil Stoffe durch die Weiterentwicklung analytischer Methoden neu entdeckt werden, oder aufgrund neuer Kenntnisse bezüglich Toxizität in den Fokus geraten. Ein Beispiel dafür sind die per- und polyfluorierten Stoffe: eine Stoffklasse, die uns voraussichtlich in den kommenden Jahren beschäftigen wird.



Fokus Per- und polyfluorierte Stoffe – langlebig und giftig

Arzneimittel und weitere Stoffe aus kommunalen ARA

Mikroverunreinigungen aus dem Siedlungsabwasser werden teilweise im Grundwasser gefunden. Die Konzentrationen sind aber generell tiefer als die von Pestiziden und deren Abbauprodukten. Am häufigsten wird der künstliche Süßstoff Acesulfam nachgewiesen.

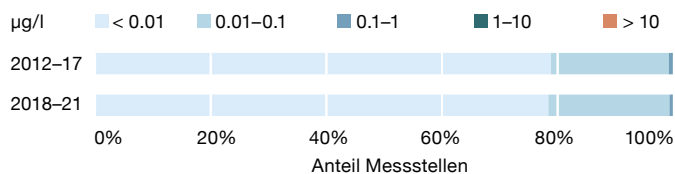


Mikroverunreinigungen wie Rückstände von Arzneimitteln, hormonaktiven Stoffen und Reinigungsmitteln sowie weiteren chemischen Stoffen können über das Abwasser und die ARA, wo sie nicht oder nur ungenügend entfernt werden, in die Fließgewässer und Seen gelangen. Einige dieser Mikroverunreinigungen werden durch Infiltration aus den Fließgewässern ins Grundwasser und damit ins Trinkwasser eingetragen. Für Arzneimittelrückstände, künstliche Süßstoffe und weitere Verbrauchskemikalien gilt für Trinkwasser ein Höchstwert von 10 µg/l je Einzelstoff.

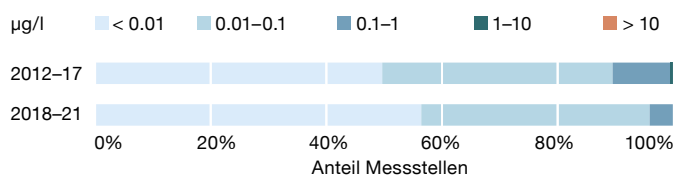
Von den rund 15 analysierten Stoffen wurde der künstliche Süßstoff Acesulfam am häufigsten detektiert. Dieser kommt in verschiedenen Süssgetränken, wie beispielsweise in den meisten «Zero»-Produkten, aber auch in Lebensmitteln wie Kaugummi zum Einsatz. Im Vergleich zur letzten Messperiode nahmen die Konzentrationen im Grundwasser in der Messperiode 2018–2021 leicht ab. Dieser Rückgang dürfte nicht auf einen geringeren Konsum von künstlich gesüßten Produkten, sondern vielmehr auf eine Verbesserung des biologischen Abbaus dieses Stoffs in ARA zurückzuführen sein. Im Rahmen verschiedener Projekte zeigte sich, dass auf ARA mit einer spezialisierten biologischen Reinigungsstufe Acesulfam bis zu 90 % abgebaut werden kann.

Das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol und das Antiepileptikum Carbamazepin wurden nur in geringen Konzentrationen gefunden. In weniger als 2 % der untersuchten Proben war auch das Antibiotikum Sulfamethoxazol nachweisbar. Die übrigen Stoffe lagen immer unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0.01 µg/l. Generell scheint die Belastung des Grundwassers mit Stoffen aus Siedlungen geringer zu sein als die Belastung mit Pestiziden und deren Abbauprodukten.

Benzotriazol



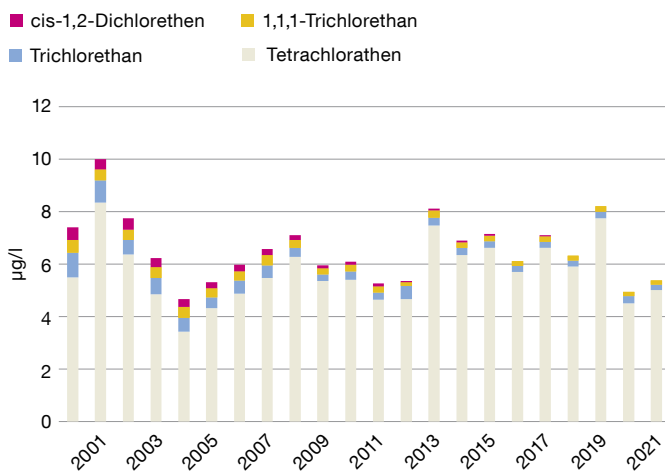
Acesulfam



Schwermetalle und flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Die gesetzlichen Anforderungen an Schwermetalle wurden in allen gemessenen Proben eingehalten. VOC waren in einem Drittel der überwachten Fassungen nachweisbar - in Einzelfällen treten Überschreitungen der gesetzlichen Anforderungen auf.

VOC im Grundwasserträger Limmattal bei Dietikon 2000–2021



Schwermetalle können beispielsweise aus Regenwasserabläufen von Kupferdächern, aus belastetem Abwasser oder aus Altlasten ins Grundwasser gelangen. Nur in seltenen Einzelfällen aber werden Schwermetalle im Grundwasser nachgewiesen. Seit 2002 wird das Grundwasser vorsorglich alle fünf Jahre auf insgesamt 24 Metalle und andere Elemente untersucht. Die letzten zwei Messkampagnen fanden 2015 und 2020 statt. Die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen von 2020 können wie folgt zusammengefasst werden: Antimon und Silber wurden in keiner der untersuchten Grundwasserproben nachgewiesen. Quecksilber und Cadmium überschritten die Bestimmungsgrenze in wenigen Proben nur knapp. Die übrigen Metalle wie Aluminium, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Uran wurden in allen untersuchten Proben detektiert. Die gemessenen Konzentrationen lagen aber alle im unteren Spurenbereich und erfüllten die gesetzlichen Anforderungen an die Grund- und Trinkwasserqualität.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) können durch Anwendungen in Industrie und Gewerbe ins Grundwasser gelangen. Mögliche Quellen sind auch Altlasten aus früheren industriellen Tätigkeiten. 2021 waren in knapp 40 % der untersuchten Messstellen der kantonalen Grundwasserbeobachtung kleinste Spuren von flüchtigen halogenierten Verbindungen nachweisbar. In drei Fassungen wurden die Anforderungen der GSchV von 1 µg/l je Einzelstoff überschritten. An einzelnen Messstellen im Limmattal sind seit Beginn der Untersuchungen erhöhte Konzentrationen von Tetrachlorethylen (Perchlorethylen) nachweisbar. Diese aus früheren Jahren stammende Verunreinigung zeigt eindrücklich, wie lange die Kontamination eines mit chlorierten Lösungsmitteln verunreinigten Grundwassers andauern kann. Durch Mischen mit unbelastetem Grundwasser kann der Höchstwert im Trinkwasser jederzeit eingehalten werden.

Die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylol werden nur in seltenen Einzelfällen gefunden. Auch im Untersuchungsjahr 2021 wurden nur gerade in einem Pumpwerk kleinste Spuren von Toluol gemessen.

Spuren der Antiklopffmittel ETBE und MTBE waren in 5 % der Proben nachweisbar. Nur in wenigen Fällen wurden Konzentrationen grösser als 0.1 µg/l festgestellt. Eine Fassung wies eine leichte Überschreitung der Anforderung von 1 µg/l auf.

VOC waren in 40 % der überwachten Fassungen nachweisbar.

Synthese und Handlungsbedarf

Trotz hoher Siedlungsdichte und zunehmenden von Menschen verursachten Gefährdungen ist das Grundwasser nach wie vor meist von guter Qualität. Allerdings bestehen auch Defizite. Die teils zu hohen Nitratwerte, die in Spuren nachweisbaren Mikroverunreinigungen und neu entdeckte Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln trüben das Bild und erfordern zusätzliche Massnahmen.



Dank den langjährigen Beobachtungen sind die quantitativen Grundwasserverhältnisse gut bekannt. Die Messungen lassen bis anhin nirgends Hinweise auf eine klimatisch bedingte Abnahme der Grundwasservorräte oder eine Übernutzung der Grundwasservorkommen erkennen, die zu Engpässen in der Wasserversorgung führen könnten.

Neben dem quantitativen Grundwassermonitoring wird auch die künftige Wassernutzung geplant. Mit einer regionalen sowie überregionalen Vernetzung der Wasserversorgungen soll eine nachhaltige Nutzung der vorhandenen Wasserressourcen zu Gunsten der gesamten Bevölkerung sichergestellt werden. Zusätzlich werden mit der Festsetzung der Grundwasserschutzareale die wichtigsten Grundwasserressourcen für eine künftige Trinkwassernutzung gesichert. Damit bleibt die hohe Versorgungssicherheit auch in Zukunft gewährleistet.

Die Bedeutung eines umfassenden quantitativen Grundwasserschutzes nimmt infolge anhaltenden Bevölkerungswachstums immer mehr zu. Entsprechend ist bei Tiefbauten unter den Grundwasserspiegel weiterhin darauf zu achten, dass die Durchfluss- und Speicherkapazität der Grundwasserkörper nicht wesentlich vermindert werden. Nur so kann deren Nutzbarkeit auch für künftige Generationen gewährleistet bleiben.

Die Überwachung des Grundwasserdargebots und der Grundwassernutzung wird künftig in vermehrtem Masse erforderlich sein. Dies nicht zuletzt aufgrund der Klimaerwärmung, als Folge derer der Wasserbedarf im Sommer zunehmen wird. Bei gleichzeitiger regionaler Verknappung des Grundwasserdargebotes ohne entsprechende Anpassungsstrategien (z. B. in der Wasserversorgung und Landwirtschaft) könnte dies zukünftig zu Versorgungsengpässen führen.

Der Kanton Zürich erfasst seit Langem systematisch und flächendeckend die Grundwasserqualität. Damit können das Auftreten und die zeitliche Entwicklung von Schadstoffen im Grundwasser frühzeitig erkannt und bewertet werden. Die Resultate dieser langjährigen Messungen zeigen, dass das zu Trinkzwecken genutzte Grundwasser meist von guter Qualität ist. Allerdings bereiten einige unerwünschte Stoffe im Grundwasser Probleme. Von diesen Belastungen sind gemäss dem aktuellen Wissensstand bzw. Rechtslage keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten. Eine erhöhte Nitratmenge kann jedoch ein Indikator für andere Belastungen im Grundwasser wie Mikroverunreinigungen sein. Diese sind im Sinne des Vorsorgeprinzips im Grundwasser generell unerwünscht.

Die Bedeutung des quantitativen und qualitativen Grundwasserschutzes nimmt als Folge des anhaltenden Bevölkerungswachstums und des Klimawandels zu.



Erhöhte Nitratgehalte im Grundwasser sind in erster Linie auf die Auswaschung landwirtschaftlich intensiv genutzter Ackerböden zurückzuführen. In den vergangenen Jahren hat sich die Nitratsituation dank verstärktem Trend in Richtung ökologischer Landwirtschaft vielerorts verbessert. Knapp 90 % des geförderten Grundwassers erfüllt den bezüglich Nitrat geltenden Anforderungswert von 25 mg/l. Nach wie vor werden aber in Trinkwasserfassungen vereinzelt Nitratgehalte gemessen, die über dem lebensmittelrechtlich relevanten Höchstwert von 40 mg/l liegen. Die Nitratsituation in überwiegend landwirtschaftlich genutzten Grundwassergebieten wird daher weiterhin sorgfältig überwacht, und bei Bedarf müssen gezielte Massnahmen zur Reduktion der Nitratbelastung ergriffen werden.



Die Qualität des Grundwassers kann hinsichtlich der Belastung mit Pflanzenschutzmitteln überwiegend als gut bezeichnet werden. Auch in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft überschreiten Rückstände von Pflanzenschutzmitteln den Anforderungswert von 0.1 µg/l nur selten. Abbauprodukte ohne nachgewiesene toxische Wirkung, wie beispielsweise Chlordazon-Metaboliten, werden hingegen im Grundwasser in Konzentrationen bis zu 1 µg/l gefunden.

Obwohl diese Abbauprodukte in diesen Konzentrationen nach heutigem Wissen keine gesundheitliche Gefährdung darstellen, handelt es sich um unerwünschte Verunreinigungen unseres Grund- und damit Trinkwassers. Sie müssen im Sinne des Vorsorgeprinzips reduziert werden. Die Wichtigkeit der Vorsorge wurde in den letzten Jahren insbesondere durch die Entdeckung der Metaboliten des Fungizids Chlorothalonil im Grundwasser unterstrichen, die weit verbreitet in Konzentrationen über 0.1 µg/l vorkommen. Aktuell läuft ein Verfahren vor dem Bundesverwaltungsgericht, das die gesundheitliche Gefährdung (Relevanz) dieser Stoffe beurteilen soll. Dieser Fall

zeigt auf, dass Massnahmen zum Schutz der Trinkwasserressourcen vor diesen Metaboliten nötig sind. So wurden dem Herbizid Chlordazon und dem Fungizid Chlorothalonil keine Zulassungen mehr erteilt. Die Anstrengungen bezüglich der Überprüfung von Zulassungen von Pflanzenschutzmitteln, deren Metaboliten im Grundwasser gefunden werden, müssen weiter verstärkt werden.



Die Belastungen mit flüchtigen organischen Verbindungen wie z.B. Lösungsmitteln, halogenierten Kohlenwasserstoffen oder Benzinzusatzstoffen sind in den vergangenen Jahren auf einem niedrigen Niveau konstant geblieben. Einzelne untersuchte Fassungen zeigen sogar eine langsame Abnahme der Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen. Es sind also keine generellen Massnahmen nötig. Bei Einzelereignissen werden die notwendigen Massnahmen direkt an der Verschmutzungsquelle verfügt.



Um die Belastungen des Grundwassers mit Mikroverunreinigungen noch genauer zu erfassen, baut das Gewässerschutzlabor des AWEL die Analytik mit hochempfindlichen Messgeräten weiter aus und verstärkt so die Umweltbeobachtung. Ziel ist es, Problemstoffe frühzeitig zu erkennen und deren zeitliche Entwicklung zu beobachten. Durch den vom Bund im 2016 festgelegten Ausbau der kommunalen ARA mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe für Mikroverunreinigungen soll der steigende Stoffeintrag durch die wachsende Bevölkerung und der entsprechend zunehmende Druck auf die Gewässer und Wasserressourcen verringert werden. Die Belastung von Grundwasser, das durch Oberflächengewässer gespeist wird, sollte dadurch in den nächsten Jahren abnehmen.

Anhang



122	Weitere Grundlagen zum Thema Mikroverunreinigungen in Fließgewässern
128	Glossar
131	Literaturverzeichnis

Abbildung A1: Verkaufsmengen der Herbizide Metazachlor, Propyzamid und Propachlor in den Jahren 2010 bis 2020

Quelle: BLW

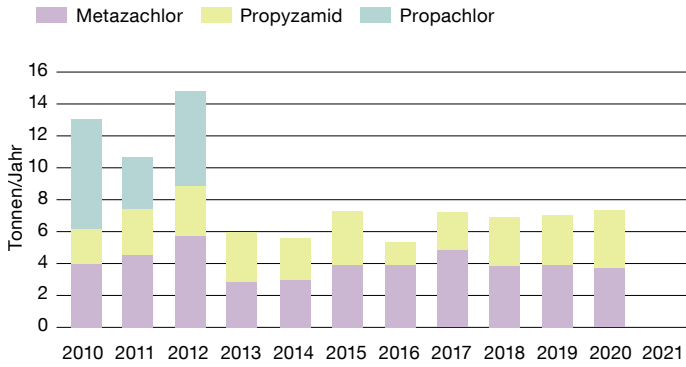


Abbildung A2: Mittlere Summe der Risikoquotienten (März bis Oktober) in der Glatt bei Rheinsfelden

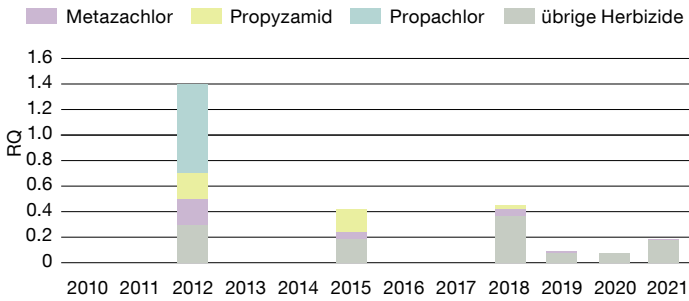
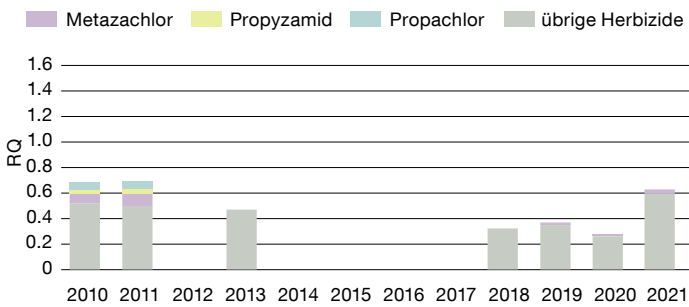


Abbildung A3: Mittlere Summe der Risikoquotienten (März bis Oktober) im Aabach bei Mönchaltorf



Mikroverunreinigungen durch Pestizide der Landwirtschaft gelangen stossweise in die Gewässer, bei Industrie und Haushalten kontinuierlich.

Tabelle A6: Kampagne kleine Fließgewässer in den Einzugsgebieten von Glatt und Greifensee 2018 sowie am Hofibach bei Hedigen 2019

Auswertung der Zweiwochenmischproben. Summe der Risikoquotienten für die Gruppen der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie (Med., Bioz.), der Herbizide, Fungizide und Insektizide. Es wurden alle Verbindungen berücksichtigt, für die ein CQK vorlag. Die Jahresbeurteilung wird bestimmt durch die höchste Summe der CRQ der jeweiligen Gruppe (Aggregation).

2018	2. Quartal					3. Quartal					Aggregation		
	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34		35-36	37-38
Woche												RQ Jahreshöchstwert	
Aabach vor Gossauerbach													
Med./Bioz.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
Herbizide	0.0	0.1	0.0	2.4	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	2.4
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Insektizide	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1	0.6	0.9	1.1
Riedikerbach													
Med./Bioz.	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Herbizide	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Insektizide	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.9
Chimlibach													
Med./Bioz.	0.0	0.2	0.4	0.1	0.6	0.0	0.6	0.0	2.6	0.5	0.4	0.4	2.6
Herbizide	0.0	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.5	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.5
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Insektizide	1.2	1.8	0.7	1.7	1.0	25	3.1	5.1	2.1	1.5	3.3	9.6	25
Katzenbach													
Med./Bioz.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
Herbizide	1.6	0.8	0.5	2.9	2.4	1.0	1.5	0.9	0.7	0.2	0.5	0.1	2.9
Fungizide	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2
Insektizide	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
Leutschenbach													
Med./Bioz.	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	2.0	0.4	0.5	2.0
Herbizide	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Insektizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2019	2. Quartal					3. Quartal					4. Q.	Aggregation			
	14-15	16-17	18-19	20-21	22-23	24-25	26-27	28-29	30-31	32-33			34-35	36-37	38-39
Woche															RQ Jahreshöchstwert
Hofibach															
Med./Bioz.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
Herbizide	0.0	0.0	0.2	1.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	1.0
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Insektizide	4.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2

Tabelle A7: Kampagne kleine Fließgewässer Furtbach und Seitenbächen 2019

Auswertung der Zweiwochenmischproben. Summe der Risikoquotienten für die Gruppen der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie (Med., Bioz.), der Herbizide, Fungizide und Insektizide. Es wurden alle Verbindungen berücksichtigt, für die ein CQK vorlag. Die Jahresbeurteilung wird bestimmt durch die höchste Summe der CRQ der jeweiligen Gruppe (Aggregation).

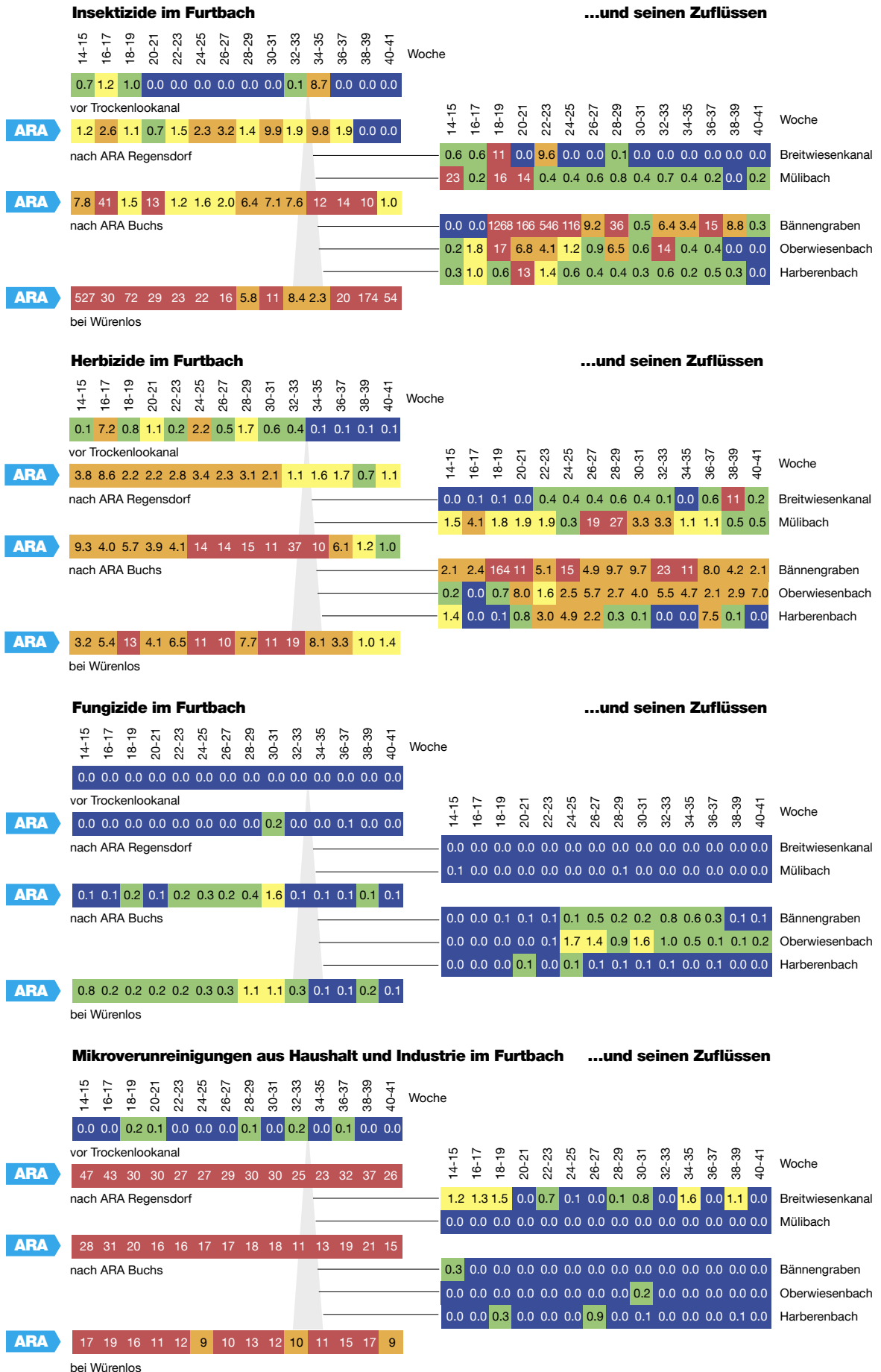


Tabelle A8: Kampagne kleine Fließgewässer im Zürcher Weinland 2021

Auswertung der Zweiwochenmischproben. Summe der Risikoquotienten für die Gruppen der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie (Med., Bioz.), der Herbizide, Fungizide und Insektizide. Es wurden alle Verbindungen berücksichtigt, für die ein CQK vorlag. Die Jahresbeurteilung wird bestimmt durch die höchste Summe der CRQ der jeweiligen Gruppe (Aggregation).

2021	2. Quartal											3. Quartal					Aggregation
	Woche	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-36	37-38	RQ Jahreshöchstwert		
Mülibach vor ARA Stammheim																	
Med./Bioz.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Herbizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.4	1.8	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Insektizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Mülibach nach ARA Stammheim																	
Med./Bioz.	3.5	3.4	3.4	2.2	2.2	2.3	1.9	1.0	1.0	1.0	1.5	1.7	1.7			3.5	
Herbizide	0.0	4.8	0.4	0.4	0.1	2.3	2.5	2.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	
Fungizide	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Insektizide	8.4	4.2	13	0.9	0.4	0.6	8.4	0.2	0.1	0.3	0.1	0.6	0.1			13	
Mülibach Furtmüli																	
Med./Bioz.	2.9	2.6	2.8	2.0	1.8	1.8	1.8	0.9	0.9	0.9	1.5	1.7	1.8			2.9	
Herbizide	0.0	4.5	0.5	0.5	0.1	2.2	2.5	2.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	
Fungizide	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Insektizide	0.5	4.5	14	0.6	0.3	0.4	5.9	0.2	0.1	0.2	0.1	0.5	0.1			14	
Niederwiesenbach vor ARA Marthalen																	
Med./Bioz.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Herbizide	0.4	0.5	0.7	1.4	1.0	3.5	3.1	1.3	1.3	2.0	0.9	0.7	0.6			3.5	
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Insektizide	0.3	0.1	0.7	0.5	0.1	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	
Niederwiesenbach nach ARA Marthalen																	
Med./Bioz.	6.0	6.4	6.2	3.4	3.3	3.0	2.1	1.2	1.2	1.2	2.2	2.9	4.3			6.4	
Herbizide	0.3	0.4	0.5	1.1	0.8	2.8	3.3	1.9	1.4	1.3	0.9	0.6	0.6			3.3	
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	
Insektizide	0.5	0.8	0.8	0.5	0.3	0.3	1.0	0.2	0.2	0.1	1.7	0.2	0.2			1.7	
Ellikerbach																	
Med./Bioz.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Herbizide	0.0	0.6	0.5	0.7	0.9	9.4	12	2.9	2.3	1.0	1.0	0.1	0.1			12	
Fungizide	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Insektizide	0.0	1.5	2.3	1.8	0.5	22	0.8	0.2	0.2	9.7	0.0	0.2	0.1			22	

Die Kampagnen geben einen guten Überblick darüber, welche Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln die problematischsten sind.

Glossar



Abwasser Das durch häuslichen, industriellen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch veränderte Wasser, ferner das in der Kanalisation stetig damit abfließende Wasser sowie das von bebauten oder befestigten Flächen abfließende Niederschlagsabwasser (Art. 4 Bst. e GSchG)

Adsorption Anlagerung gelöster Stoffe an der Oberfläche fester Körper

aerob In Gegenwart von → *Sauerstoff*

Agridea Landwirtschaftliche Beratungszentrale der kantonalen Fachstellen

Ammoniak NH_3 ; farbloses, stechend riechendes Gas, starkes Fischgift; im Wasser in Abhängigkeit von → *pH-Wert* und Temperatur in chemischem Gleichgewicht mit → *Ammonium*

Ammonium NH_4^+ ; Stickstoffdünger; im Wasser in Abhängigkeit von → *pH-Wert* und Temperatur in chemischem Gleichgewicht mit → *Ammoniak*

anaerob In Abwesenheit von → *Sauerstoff*

Anomalie Abweichung vom Normalzustand

anorganisch Zum unbelebten Bereich der Natur gehörend

anthropogen Durch den Menschen beeinflusst oder verursacht

AQK Akutes Qualitätskriterium; das AQK einer Verbindung ist ein Anhaltspunkt dafür, ab welcher Konzentration Organismen geschädigt werden, wenn sie einem Stoss dieser Verbindung ausgesetzt sind. Ist das AQK einer Verbindung in der → *GSchV* als Anforderungswert festgelegt, darf es zu keiner Zeit überschritten werden.

ARA Abwasserreinigungsanlage oder -anlagen

ARE Bundesamt für Raumentwicklung

artesisch Als artesisch gespannt bezeichnet man ein → *Grundwasser*, dessen Druckfläche über der Geländeoberfläche liegt.

Aufbereitung Behandlung eines Rohwassers, so dass es z. B. die gesetzlichen Bedingungen für → *Trinkwasser* erfüllt

BAFU Bundesamt für Umwelt

Bakterien Einzellige Kleinstlebewesen ohne Zellkern

Benthos Gesamtheit aller Lebewesen in der Bodenzone eines Gewässers

BSB₅ Biochemischer Sauerstoffbedarf; Sauerstoffverbrauch während einer Zeitdauer von fünf Tagen für den mikrobiellen Abbau → *organischer Substanzen*

Biofilm Auf einer Oberfläche festsitzende → *Biomasse*

Biomasse Gesamtheit in einem bestimmten Raum lebender und toter Organismen

Biozide Wirkstoffe, die nicht → *Pflanzenschutzmittel* sind und die dazu bestimmt sind, Schadorganismen abzuschrecken, unschädlich zu machen, zu zerstören oder in anderer Weise zu bekämpfen oder Schädigungen durch Schadorganismen zu verhindern. Biozide gehören zu den → *Pestiziden*.

BLW Bundesamt für Landwirtschaft

Boden Oberste, unversiegelte Erdschicht, in der Pflanzen wachsen können. Ein Boden besteht aus Verwitterungsprodukten des unterliegenden Gesteins und organischen Stoffen (Humus).

BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; heute → *BAFU*

BWG Bundesamt für Wasser und Geologie; heute → *BAFU*

Chlorid Cl⁻; Chlorverbindung (Salz), z. B. Kochsalz

Chlorophyll Grüner Farbstoff der → *Produzenten* für die → *Photosynthese*

CQK Chronisches Qualitätskriterium; Das CQK einer Verbindung gibt Auskunft darüber, ab welcher Konzentration Organismen gefährdet sind, wenn die Verbindung über längere Zeit auf sie einwirkt. Ist das CQK einer Verbindung in der *GSchV* als Anforderungswert festgelegt, darf es gemittelt über einen Zeitraum von zwei Wochen oder länger nicht überschritten werden.

Deckschicht Nicht wassergesättigter Untergrund über dem Grundwasserspiegel mit Ausnahme des → *Bodens*. Der Schutz des → *Grundwassers* ist abhängig von der Mächtigkeit und → *Durchlässigkeit* der Deckschicht.

Deformation Veränderung von Gestalt oder Volumen durch äussere Kräfte

Denitrifikation Umwandlung von → *Nitrat* (NO_3^-) über → *Nitrit* (NO_2^-) zu elementarem Stickstoff (N_2) durch spezialisierte → *Bakterien* (Denitrifikanten); Prozess zur Elimination von Stickstoff in der Abwasserreinigung

Diatomeen → *Kieselalgen*

Drainage Röhre zur Entwässerung einer landwirtschaftlichen Nutzfläche

DOC Gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon); Messgrösse zur Bestimmung der gelösten → *organischen Substanzen*

Durchlässigkeit Kapazität eines Gesteins, Wasser weiterzuleiten; auch Permeabilität oder hydraulische Leitfähigkeit genannt.

Eawag Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz; Wasserforschungsinstitut der ETH

Eisensulfid FeS ; Weist in Gewässern auf ungenügende Sauerstoffversorgung hin

Epilimnion Die obere, den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzte und im Sommer erwärmte Wasserschicht eines Sees

Erosion Abtragung durch Wasser, Eis oder Wind

eutroph Hohe Biomasseproduktion in einem System aufgrund von hohem Nährstoffangebot (→ *Biomasse*)

Extensivierung Umstellung von landwirtschaftlichen Betrieben auf eine umweltfreundlichere Betriebsform

Fauna Tierwelt (eines Gebiets)

Filterbrunnen Eine mit Filterrohren ausgestattete Anlage zur Förderung von → *Grundwasser*. Man unterscheidet Vertikal- und Horizontalfilterbrunnen.

Flockungsfiltration Filtration von gereinigtem Abwasser unter Zugabe von Flockungsmitteln

Flora Pflanzenwelt (eines Gebiets)

Fracht Gesamtmenge eines Stoffs, die eine Messstelle passiert

Geschiebetrieb Transport von Kies und Geröll (Geschiebe) durch die Schleppekraft in Fließgewässern

Grundwasser Wasser, das die natürlichen Hohlräume (Poren, Spalten, Klüfte) im Untergrund zusammenhängend ausfüllt. Das Grundwasser wird durch versickernde Niederschläge und → *Infiltration* von Oberflächenwasser gebildet und bewegt sich ausschliesslich unter dem Einfluss der Schwerkraft.

Grundwasserbrunnen, -fassung und -pumpwerk

Bauwerke zur Grundwasserentnahme

Grundwasserleiter Lockergesteinskörper, der geeignet ist, → *Grundwasser* zu leiten (wassergesättigte und wasserunge-sättigte Zone) und von seiner Ausdehnung, Mächtigkeit und → *Durchlässigkeit* eine Grundwassernutzung zulässt.

Grundwasserneubildung Durch Versickerung von Niederschlägen oder → *Infiltration* von Oberflächenwasser neu entstehendes → *Grundwasser*

Grundwasserpegel Messeinrichtung zur Feststellung des (Grund-)Wasserstands

Grundwasserstauer Gering durchlässiger → *Boden* oder Gesteinskörper, der eine natürliche Begrenzung des → *Grundwasserleiters* bildet.

Grundwasserstockwerkbau → *Grundwasser* führende Schichten wechseln sich mit gering durchlässigen grundwasserstauenden Schichten ab. So entstehen stockwerkartig sich überlagernde hydrogeologische Einheiten. Tiefere Grundwasserstockwerke werden in der Regel durch Zusickerungen aus den oberen Horizonten oder durch unterirdische seitliche Zuflüsse gespeist.

GSchG Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) vom 24. Januar 1991 (Stand am 1. Januar 2022)

GSchV Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Januar 2021)

Helophyten Wasserpflanzen, die im Sediment wurzeln und mit Stängeln, Blättern und Blüten über die Wasseroberfläche hinaus ragen (z. B. Schilf)

Herbizid Substanz, die selektiv oder nicht selektiv (Totalherbizid) wirtschaftlich uninteressante oder störende Begleitkräuter abtötet

heterotrophe Organismen Sind für die Ernährung auf fremd produzierte, → *organische Substanzen* angewiesen

homogen Gleichmässige Verteilung eines Merkmals über den Betrachtungsraum

Huminstoffe Aus abgestorbenen Pflanzen im → *Boden* gebildete Substanzen

Hydrologie Lehre vom Wasser und seinen Erscheinungsformen über, auf und unter der Erdoberfläche. Hauptanwendung ist das Messen und Prognostizieren von Abflüssen.

Hydrometrie Messung der Abflussmengen an einer Messstelle

Hypolimnion Den atmosphärischen Einflüssen entzogene, ganzjährig kalte Tiefenschicht eines Sees

Infiltration Einsickern von Wasser aus oberirdischen Gewässern in den Untergrund

Insektizid Substanz zur Abtötung von Insekten und deren Entwicklungsstadien

integrale Bewertung Gesamtheitliche Beurteilung (von Gewässern)

Kieselalgen Algenklasse mit einer glasartigen Zellwand (Schale) aus Kieselsäure (→ *Diatomeen*)

Klärschlamm Bei der Abwasserreinigung entstehender Schlamm

Kohlendioxid CO_2 ; Gas, Hauptprodukt jeder vollständigen Verbrennung von organischem Material

Kohlenstoff C; chemisches Element, kommt auf der Erde in reiner Form als Graphit oder Diamant vor

KOLAS Konferenz der Landwirtschaftsämter der Schweiz

Kolmation Verdichtung, Verfestigung und Verstopfung der Gewässersohle durch feine Schwebeteilchen

Konzentration Masse eines Stoffs in einem bestimmten Volumen eines Gemischs; Masseinheit z. B. Milligramm pro Liter [mg/l] oder Mikrogramm pro Liter [$\mu\text{g/l}$]

Leitfähigkeit Fähigkeit von salzhaltigen Lösungen, elektrische Ladungen zu übertragen

Lockergestein Unverfestigtes Gesteinsmaterial (z. B. Sand, Kies)

Makroinvertebraten → *Makrozoobenthos* Mit blossem Auge erkennbare, wirbellose tierische Kleinlebewesen des Gewässergrunds (→ *Benthos*)

Makrophyten Wasserpflanzen (Gefässpflanzen, Moose und makroskopische Algen), die von blossem Auge in den Gewässern erkennbar sind

Makrozoobenthos → *Makroinvertebraten* Mit blossem Auge erkennbare, tierische Kleinlebewesen des Gewässergrunds (→ *Benthos*)

mesotroph mittlere Biomasseproduktion in einem System aufgrund von mässigem Nährstoffangebot (→ *Biomasse*)

Metalimnion im Sommer zwischen → *Epilimnion* und → *Hypolimnion* liegende Wasserschicht eines Sees mit grossem Temperaturgradient (Sprungschicht)

Methan CH_4 ; farb- und geruchloses, brennbares Gas

Mikroorganismen Kleinstlebewesen (Bakterien, Pilze, Algen...), die von blossem Auge nicht erkennbar sind

Mikroverunreinigungen Verschiedene Substanzgruppen (Pestizide, Medikamentenrückstände, Umweltchemikalien), die im Wasser in geringsten Konzentrationen vorkommen und eine Gefährdung der Lebewesen oder des → *Trinkwassers* darstellen können

Mineralisierung Vollständiger biologischer Abbau von → *organischen Substanzen* in → *anorganische* Bestandteile

Morphologie Gestaltlehre, die äussere Form betreffend

MSK Modul Stufen Konzept; Sammlung von Methoden zur Erhebung und Beurteilung des Gewässerzustandes von Bund, Kantonen, → *Eawag* und → *VSA*

Nachhaltigkeit Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.

NAQUA Nationale Grundwasserbeobachtung des Bundesamts für Umwelt (→ *BAFU*)

Niederwasserabfluss → Q_{347} ; Abflussmenge, die während 347 Tagen eines Jahres vorhanden ist oder überschritten wird

Nitrat NO_3^- ; Als Stickstoffdünger verwendetes Salz der Salpetersäure

Nitrifikation Umwandlung von → *Ammonium* (NH_4^+) über → *Nitrit* (NO_2^-) zu → *Nitrat* (NO_3^-) durch → *Bakterien* (Nitrifikanten)

Nitrit NO_2^- ; Salz der salpetrigen Säure; starkes Fischgift

Nitrosamine Eine Gruppe von krebserregenden Stickstoffverbindungen

Oberflächengewässer Stehende Gewässer, Flüsse und Bäche

Ökologie Lehre von den Wechselwirkungen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt

Ökomorphologie Beurteilung der strukturellen Gegebenheiten im und am Gewässer im Hinblick auf dessen ökologische Funktion als Lebensraum

Ökotoxikologie Lehre, welche die Auswirkung von → *anthropogen* bedingten Stoffen auf die belebte Umwelt untersucht

oligotroph geringe Biomasseproduktion in einem System aufgrund von geringem Nährstoffangebot

organische Substanzen Natürliche und synthetische Stoffe aus Kohlenstoffverbindungen (→ *Biomasse*)

oxidieren Aufnahme von Sauerstoff bzw. Abgabe von Elektronen

PAK Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Parameter Messgrösse

PCB Polychlorierte Biphenyle

Persistente Stoffe Stoffe, die nur schwer oder gar nicht abbaubar sind

Pestizide Chemische Substanzen, die lästige oder schädliche Lebewesen töten, vertreiben oder die Keimung, das Wachstum oder die Vermehrung hemmen

Pflanzenschutzmittel Wirkstoffe und Zubereitungen, die Pflanzen und Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen schützen, Pflanzenerzeugnisse konservieren, unerwünschte Pflanzen oder Pflanzenteile vernichten oder ein unerwünschtes Pflanzenwachstum beeinflussen. Pflanzenschutzmittel gehören zu den → *Pestiziden*.

Phosphat PO_4^{3-} ; als Düngemittel und als Wasserenthärter in Reinigungsmitteln eingesetztes Salz der Phosphorsäure; limitiert das Algenwachstum in Seen

Phosphatfällung Verfahren zum Entfernen von → *Phosphat* aus dem Abwasser durch Beigabe von Fällmitteln (Metallsalze)

Phosphor P; chemisches Element, kommt auf der Erde nur in Form von Verbindungen vor

Phosphorelimination Entfernung von im Abwasser gelöstem → *Phosphor* durch → *Phosphatfällung* und → *Flockungsfiltration*

Photosynthese Aufbau → *organischer Substanzen* aus → *anorganischen* unter Lichteinwirkung (→ *Produzenten*)

pH-Wert Mass für den Säuregrad einer Lösung

Phytoplankton Gesamtheit der im Wasser schwebenden pflanzlichen Organismen (Algen)

Plankton Gesamtheit der im Wasser schwebenden pflanzlichen und tierischen Organismen

Population Gesamtheit aller Individuen einer Art in einem abgegrenzten Gebiet

Produzenten Lebewesen, die mit Hilfe von Licht aus → *anorganischem* Material → *Biomasse* aufbauen

Protozoen tierische Einzeller

Q₃₄₇ Kenngrösse für den → *Niederwasserabfluss* (= Trockenwetterabfluss)

Q_{mittel} mittlerer Abfluss

Quelle Ort eines Grundwasseraustritts an der Erdoberfläche; dort tritt das → *Grundwasser* in freiem Gefälle zu Tage.

Reduzieren Abgabe von → *Sauerstoff* bzw. Aufnahme von Elektronen

Referenzstelle Vergleichbare Untersuchungsstelle in naturnahem Zustand

resistent widerstandsfähig gegen Krankheit und Gift

Ressourcen Mittel, die benötigt werden, um eine bestimmte Aufgabe zu lösen (Betriebsmittel, Geldmittel, → *Boden*, Rohstoffe, Energie, Personen)

revitalisieren Überführen eines Fließgewässers in einen naturnäheren Zustand

RB Regenbecken sind künstliche Becken, mit deren Hilfe Regen- und Mischwasser zurückgehalten werden

RQ Risikoquotient; der RQ ist der Vergleich der gemessenen Konzentration einer Verbindung mit seinem → *CQK* resp. → *AQK*. Der resultierende Quotient heisst entsprechend CRQ bzw. ARQ. Ist der RQ grösser als eins, sind die Organismen einem Risiko ausgesetzt. Die Wasserqualität ist in dem Fall ungenügend.

Sauerstoff O_2 ; farb-, geruch- und geschmackloses Gas; zu ca. 21 % in der Luft enthalten

Schwebstoffe im Wasser schwebende kleinste Partikel

Schwefelwasserstoff H_2S ; übel riechendes Gas (faule Eier)

Schwermetall Metalle mit einem spezifischen Gewicht von mehr als 4.5 g/cm³

Secchi-Tiefe Messgrösse für die Durchsichtigkeit des Wassers in Seen

Sediment Ablagerung am Gewässergrund

Senke Ort der Ablagerung oder Anreicherung eines Stoffs

Siedlungsentwässerung technisches System zur Ableitung von verschmutztem → *Abwasser* (Kanalisation, Regenbecken, Regenüberläufe, Pumpwerke, ...) oder zur Versickerung von nicht

verschmutztem Niederschlagswasser (Versickerungsanlagen)

Speichervolumen Nutzbarer (entwässerbarer) Porenraum in einem → *Grundwasserleiter*

Stagnationsphase Temperatur- und dichtegeschichteter Seezustand im Sommerhalbjahr

Stickstoff N_2 ; farb-, geruch- und geschmackloses Gas; zu ca. 78 % in der Luft enthalten

Submerse Untergetauchte Wasserpflanzen, die im Sediment wurzeln und mit dem grössten Teil des Pflanzenkörpers im Wasser treiben. Höchstens oberste Blätter und Blüten ragen über die Wasseroberfläche.

Sulfat SO_4^{2-} ; Salz der Schwefelsäure

Taxa Plural von Taxon. Bezeichnet in der Biologie eine Gruppe von Lebewesen, die sich durch gemeinsame Merkmale beschreiben und von anderen Gruppen unterscheiden lässt.

toxisch giftig

TBDV Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen vom 16. Dezember 2016 (Stand am 1. Januar 2021)

Trinkwasser Wasser, das natürlich belassen oder nach Aufbereitung dem menschlichen Genuss dient und bezüglich Aussehen, Geruch und Geschmack sowie in mikrobiologischer, chemischer und physikalischer Hinsicht den gesetzlichen Anforderungen entspricht

Trinkwasserqualität Für → *Trinkwasser* gelten aufgrund seiner Bedeutung als wichtigstes Lebensmittel strenge Werte für mikrobielle Keime und Schadstoffe. Es muss so beschaffen sein, dass bei lebenslangem Genuss die menschliche Gesundheit nicht beeinträchtigt wird.

Uv-Anlage Technische Anlage zur Entkeimung von Trinkwasser durch Bestrahlung mittels Ultraviolett-Licht

Vegetation Gesamtheit aller Pflanzengesellschaften in einem Gebiet

VSA Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Wasserhärte (Gesamthärte) Mass für den Gehalt des Wassers an Calcium und Magnesium, untergeordnet auch Strontium und Barium. Die Wasserhärte wird in der Schweiz meist in französischen Härtegraden (fH) angegeben. Niedrige Härte (<10 fH) bedeutet, dass nur wenig Calcium und Magnesium im Wasser gelöst sind, bei hoher Härte (>30 fH) ist das Wasser reich an Calcium und Magnesium.

Zuströmbereich Der Zuströmbereich Z_u umfasst das Gebiet, aus dem etwa 90 % des → *Grundwassers* stammen, das zu einer → *Grundwasserfassung* gelangt (Definition nach Gewässerschutzverordnung → *GSchV*).

Zirkulationsphase Seezustand im Winter, während die Wassermassen im See bis zum Grund zirkulieren

Zooplankton Gesamtheit der im Wasser schwebenden, tierischen Kleinorganismen





Literaturverzeichnis

- [1] Gebert F., Obrist M. K., Siber R., Altermatt F., Bollmann K., Schuwirth N., 2021: Recent trends in stream macroinvertebrates: warm-adapted and pesticide-tolerant taxa increase in richness. *Biol. Lett.* 18: 20210513. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0513>
- [2] HYDRA AG, St. Gallen, 2020: Biologische Untersuchung der Limmat zwischen Zürichsee und Aare. Fachbericht Makroinvertebraten. Baudirektion des Kantons Zürich & Departement Bau, Verkehr und Umwelt Kanton Aargau, 38 S.
- [3] Dick J. T. A., Platvoet D., Kelly D. W., 2002: Predatory impact of the freshwater invader *Dikerogammarus villosus* (Crustacea: Amphipoda). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59(6): 925-929. <https://doi.org/10.1139/f02-074>
- [4] gutwasser gmbh, Wüthrich R., Birnstiel E., 2021: Untersuchung des Einflusses der gebietsfremden, invasiven Amphipoden auf das Makrozoobenthos der Limmat und ihrer Zuflüsse. Makrozoobenthos-Aufnahmen in Ausleitstrecken, naturnahem Abschnitt und Zuflüssen der Limmat. Baudirektion des Kantons Zürich. 32 S.
- [5] KVV, KOLAS, Plattform „Pflanzenschutzmittel und Gewässer“, 2020: Interkantonale Empfehlung zu Befüll- und Waschplätzen und zum Umgang mit pflanzenschutzmittelhaltigem Spül- und Reinigungswasser in der Landwirtschaft. 8 S.
- [6] Knapp D., Posch T., 2021: Burgunderblutalge im Zürichsee. *Aqua & Gas* 101(4): 14-21.
- [7] Müller B., Steinsberger T., Schwefel R., Gächter R., Sturm M., Wüest A., 2019: Oxygen consumption in seasonally stratified lakes decreases only below a marginal phosphorus threshold. *Scientific Reports* 9: 18054. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54486-3>
- [8] Niederberger K., Rey P., Reichert P., Schlosser J., Helg U., Haertel-Borer S., Binderheim E., 2016: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Seen. Modul: Ökomorphologie Seeufer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1632: 73 S.
- [9] Kiefer I., Müller B., Wüest A., 2021: Anleitung zur Analyse von Sauerstoffzehrung und Netto Ökosystemproduktion, Eawag und EPFL. <https://www.dora.lib4ri.ch/>
- [10] Matzinger A., Müller B., Schmid M., Little J., Stierli R., Zwysig A., Wüest A., 2008: Zirkulationsunterstützung im Türlensee und Pfäffikersee. Evaluation von Betrieb und Messprogramm. Gutachten Eawag, 70 S. [eawag/islandora/object/eawag:21995](https://www.eawag.ch/islandora/object/eawag:21995)
- [11] BUWAL, 2004: Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 141 S.

