

ZÜRCHER GEWÄSSER 2012

ENTWICKLUNG – ZUSTAND – AUSBLICK

Hauptbericht



**Baudirektion
Kanton Zürich**

INHALT

Vorwort	5
Zusammenfassung	6
Einleitung	8



FLIESSGEWÄSSER

Von der Wasserqualität zur umfassenden Gewässerbeurteilung	14
--	----

Messprogramm und Beurteilung	16
------------------------------	----

RESULTATE

Qualität

Nährstoffe	20
Schwermetalle	24
Organische Mikroverunreinigungen	28
Äusserer Aspekt	32

Quantität/Dynamik und Lebensraum

Wasserführung	34
Ökomorphologie	35

Biologischer Zustand

Kieselalgen	38
Moose und Wasserpflanzen	40
Makroinvertebraten	44
Fische	48
Synthese und Handlungsbedarf	50



SEEN

Messprogramm und Beurteilung	62
------------------------------	----

RESULTATE

Phosphor	64
Sauerstoff	66
Plankton	68
Synthese und Handlungsbedarf	70



GRUNDWASSER

Bedeutung und Schutz	78
Quantitative Überwachung	82

QUALITATIVE ÜBERWACHUNG

Temperatur	87
Bakteriologische Beschaffenheit	88
Gesamthärte	88
Chlorid	89
Nitrat	90
Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte	92
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	94
Schwermetalle	96
Weitere Mikroverunreinigungen	97
Synthese und Handlungsbedarf	98

Anhang	101
--------	-----



VORWORT

Seen, Fließgewässer und Grundwasser werden im Kanton Zürich durch den Menschen intensiv beansprucht. Die Gewässer liefern Trink- und Brauchwasser, dienen der Stromproduktion oder werden zu Heiz- und Kühlzwecken genutzt. 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. Seen und Fließgewässer erfüllen gleichzeitig zahlreiche natürliche Funktionen. Sie sind wichtige Lebensräume für Tiere und Pflanzen und beeinflussen das Mikroklima. Fließgewässer sind zudem Hotspots der Biodiversität und wichtige Elemente der Lebensraumvernetzung.

Die verschiedenen Nutzungen führen zu Belastungen der Wasserqualität, verändern die Wasserverfügbarkeit sowie die natürlichen Abflussverhältnisse und beeinträchtigen die wassergebundenen Lebensräume. Verschiedene eidgenössische und kantonale Gesetze sollen dafür sorgen, dass die Gewässer ihre natürlichen Funktionen dennoch erfüllen können. Im Kanton Zürich dient der Massnahmenplan Wasser dazu, die vielfältigen Nutzungs- und Schutzansprüche aufeinander und auf bestehende eidgenössische Gesetze abzustimmen. Er koordiniert dabei auf der Ebene einzelner Einzugsgebiete die Handlungsschwerpunkte im Gewässer- und Hochwasserschutz mit der Nutzung der Gewässer. Der Massnahmenplan Wasser bildet auch die Basis für die Richt- und Nutzungsplanung und ermöglicht einen effizienten Einsatz der verfügbaren finanziellen Mittel. Anerkennung verdienen an dieser Stelle die Gemeinden, die Bevölkerung und die Wirtschaft des Kantons Zürich für den hohen finanziellen Einsatz und ihren Willen, die Qualität der Gewässer stets zu verbessern.

Zur Überprüfung des Gewässerzustandes, für die Planung von Sanierungen und zur Kontrolle der Wirksamkeit umgesetzter Massnahmen ist eine gezielte Umweltbeobachtung erforderlich. Ein modernes Gewässermonitoring dient zudem der Früherkennung von Risiken und neuen Gefährdungen. Um die Bevölkerung über den Zustand der Gewässer zu informieren, werden die Resultate aus der Umweltbeobachtung im Internet und in periodisch erscheinenden Berichten publiziert. Im vorliegenden Bericht werden der Zustand und die Entwicklung der Wasserqualität der Seen und des Grundwassers vorgestellt und die Fließgewässer im ganzen Kanton umfassend bewertet.

Angesichts der zunehmenden Siedlungsdichte in unserem Kanton und der immer intensiveren Nutzung der Böden stellt der Schutz der ober- und unterirdischen Gewässer auch in Zukunft eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Zudem stellt uns die letzte Revision des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung im Jahr 2011 vor neue Herausforderungen. Bis Ende 2013 muss der Kanton dem Bund eine Planung vorlegen, die aufzeigt, welche Gewässer in den nächsten 20 Jahren prioritär zu revitalisieren sind. Weiter ist bis Ende 2018 der Gewässerraum festzulegen, der in Zukunft nur noch in Ausnahmefällen bebaut und nur extensiv gestaltet und bewirtschaftet werden darf. Eine Änderung des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung, welche die Entfernung von Mikroverunreinigungen in ausgewählten kommunalen Abwasserreinigungsanlagen regelt, ist in Vorbereitung und wird zusätzliche Massnahmen erfordern. Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) wird den Auftrag zum nachhaltigen Schutz der Ressource Wasser auch weiterhin nur gemeinsam mit den Gemeinden, der Wirtschaft und der Unterstützung der Bevölkerung sowie in enger Zusammenarbeit mit anderen Fachstellen von Bund und Kanton erfolgreich erfüllen können.

Dr. Jürg Suter, Chef AWEL

ZUSAMMENFASSUNG

Der Gewässerbericht 2012 informiert über den Zustand der Seen, der Fliessgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich. Er zeigt auf, welche Ziele mit den bisherigen Gewässerschutzmassnahmen erreicht wurden und weist darauf hin, welche menschlichen Tätigkeiten die ober- und unterirdischen Wasservorkommen nach wie vor oder in immer stärkerem Ausmass gefährden. Er stellt geplante Massnahmen vor und erläutert, in welche Richtung zukünftige Massnahmen gehen müssen, damit der aktuelle Zustand der Gewässer gehalten oder weiter verbessert werden kann.



FLIESSGEWÄSSER

Die Belastung der Fliessgewässer mit Nährstoffen und leicht abbaubaren organischen Abwasserinhaltsstoffen hat dank dem Ausbau der Siedlungsentwässerung und der Abwasserreinigungsanlagen (ARA), dem Phosphatverbot in Waschmitteln sowie Massnahmen in der Landwirtschaft stark abgenommen. Eine Gefährdung der Wasserorganismen tritt kaum mehr auf, da das giftige Ammonium und Nitrit in der letzten Messperiode zwischen 2006 und 2011 nur noch in 1 resp. 3% aller Gewässerabschnitte in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen werden konnten. Die Zielvorgaben für Phosphat wurden in über 60% aller Abschnitte erfüllt. Die Belastung mit Nitrat dagegen hat sich in den letzten 30 Jahren kaum verändert. Mässige bis hohe Belastungen mit Nährstoffen treten meist in kleinen Bächen unterhalb von ARA mit ungenügender Reinigungsleistung oder schlechtem Verdünnungsverhältnis oder in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten auf. Herbizide und Insektizide aus der Landwirtschaft und aus dem Siedlungsgebiet traten in 15 resp. 49% aller Stellen in erhöhten Konzentrationen auf. Wie stark sich diese auf die Kleintiere im Gewässer auswirken, kann mit dem SPEAR-Index abgeschätzt werden. Dieser zeigt auf, dass in 43% aller untersuchten Gewässerabschnitte erhöhte Pestizidkonzentrationen für den mässig bis sehr stark beeinträchtigten Zustand der Kleintiere im Gewässer verantwortlich sein dürften. Kupfer und Zink waren in 40% aller untersuchten Gewässerabschnitte in erhöhter Konzentration vorhanden und stellen möglicherweise ebenfalls eine Gefährdung für die Wasserorganismen dar.

Neben der stofflichen Belastung ist eine ungenügende Gewässerstruktur für den schlechten Zustand der Fliessgewässer verantwortlich. Heute ist die Gewässerstruktur noch in rund 45% aller untersuchten Fliessgewässerstrecken ungenügend. Seit den letzten Erhebungen Ende der Neunzigerjahre hat sich die Situation leicht verbessert. Wasserpflanzen reagieren auf die Veränderung der natürlichen Gewässerstruktur. So befinden sich die Gemeinschaften der Wasserpflanzen in Abschnitten mit stark beeinträchtigter bis naturfremd/künstlicher Gewässerstruktur deutlich häufiger in einem mässig bis schlechten Zustand als in Abschnitten mit wenig beeinträchtigter bis natürlicher Struktur.

Zur weiteren Reduktion der Schadstoffbelastung sollte der Schadstoffaustrag in die Umwelt mit Massnahmen an der Quelle reduziert werden. Dies umfasst etwa die Förderung des umweltgerechten Umgangs mit Chemikalien beim Anwender, restriktive Zulassungsverfahren für neue Produkte, Verbote für besonders umweltgefährliche Stoffe und die weitere Förderung einer ökologisch ausgerichteten Landwirtschaft. In den Bereichen ARA und Siedlungsentwässerung muss die Infrastruktur unterhalten und an den technischen Fortschritt angepasst werden. So sollen in Zukunft ausgewählte ARA mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Elimination von organischen Mikroverunreinigungen ausgestattet werden. ARA, welche das gereinigte Abwasser in verhältnismässig kleine Gewässer einleiten, sind mittelfristig aufzuheben. Der Lebensraum Fliessgewässer soll mit Revitalisierungen vermehrt aufgewertet werden. Mit der Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG), die am 1. Januar 2011 in Kraft trat, wurden die Voraussetzungen für die weitere Aufwertung der Gewässer geschaffen.



SEEN

Die Nährstoffbelastung der Seen mit ihren unerwünschten Folgen ist dank den bisher ergriffenen Gewässerschutzmassnahmen in den Bereichen Siedlungsentwässerung und Landwirtschaft stark zurückgegangen. Der Zustand aller untersuchten Seen ist heute viel besser als zu Beginn der Achtzigerjahre. Zwar konnte das Sanierungsziel noch in keinem See vollständig erreicht werden, die Entwicklung geht aber überall in die richtige Richtung. Da in den letzten Jahrzehnten der Nutzungsdruck und die Bevölkerung in den Einzugsgebieten vieler Seen stark zunahm, hat sich die Situation in den letzten 15 Jahren in vielen Seen nur noch wenig verbessert oder sie stagniert.

Der erreichte Zustand sollte in allen Seen mindestens gehalten und wo möglich weiter verbessert werden. Dazu ist die Infrastruktur im Bereich Siedlungsentwässerung in ihrem Wert zu erhalten und dem technischen Fortschritt und der Bevölkerungsentwicklung anzupassen. Eine weitere Senkung der Phosphorkonzentration ist anzustreben. Mit einer Reduktion der Phosphorbelastung würde das Algenwachstum zurückgehen, und die Sauerstoffverhältnisse würden sich weiter verbessern. Erfreulich ist, dass die Phosphorkonzentrationen im Greifensees nach wie vor sinken, trotz stark steigendem Nutzungsdruck im Einzugsgebiet. Neben der Wasserqualität sollte in Zukunft aber auch der Bedeutung der Seen als natürlicher Lebensraum mehr Beachtung geschenkt werden. Vor allem am Zürichsee gibt es nur wenige natürlich strukturierte Uferabschnitte. Zudem sind in den letzten Jahren verschiedene gebietsfremde Wasserorganismen in den Zürich- und Greifensee eingeschleppt worden, die einheimische Arten gefährden können.



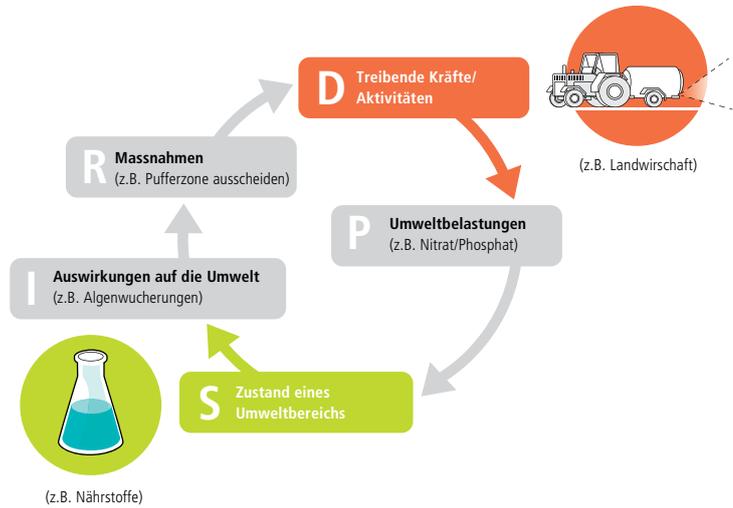
GRUNDWASSER

Mit einem Anteil von etwa 60% trägt das Grundwasser massgebend zur Trinkwasserversorgung bei. Die Qualität des genutzten Grundwassers kann trotz einer zunehmenden Gefährdung durch die hohe Verkehrs- und Siedlungs-

dichte und die intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung nach wie vor meist als gut beurteilt werden. Dies ist im Wesentlichen einer vorausschauenden Planung sowie einer konsequenten Umsetzung der gesetzlich verankerten Schutzmassnahmen zu verdanken. Es bestehen aber nach wie vor Defizite, und die Vielfalt der anthropogenen Einflüsse wird in Zukunft weiter zunehmen. Die Nitratbelastung des Grundwassers infolge landwirtschaftlicher Tätigkeit ist dank verstärkter ökologischer Bewirtschaftung im langjährigen Vergleich zurückgegangen. Dennoch wird bei einzelnen Grundwasser- und Quelfassungen der Toleranzwert für Trinkwasser noch immer überschritten. Hier besteht dringender Handlungsbedarf. Die Belastungen mit Pflanzenschutzmitteln (Pestizide) sind ebenfalls rückläufig. Heute werden jedoch vermehrt deren Abbauprodukte und weitere organische Mikroverunreinigungen wie z.B. Rückstände von Arzneimitteln nachgewiesen. Auch wenn die gemessenen Konzentrationen keine Gefahr für die Bevölkerung darstellen, müssen aus vorsorglichen Gründen weitere Massnahmen zum Schutz der Trinkwasserressourcen und der Ökosysteme getroffen werden.

Einen zusätzlichen Druck auf die Trinkwasserressourcen ergibt sich durch das Bevölkerungswachstum, Tiefbauten und die zunehmende thermische Nutzung des Grundwassers. Die Entwicklung von Grundwasserangebot und -nutzung ist laufend zu überwachen und zu bewerten. Allfällige Übernutzungen, aber auch negative Auswirkungen aufgrund des Klimawandels, müssen frühzeitig erkannt werden. Nur so können rechtzeitig geeignete Massnahmen ergriffen und Engpässe in der Wasserversorgung verhindert werden. Mit dem Konzept der regionalen sowie überregionalen Vernetzung der Wasserversorgungen steht bereits heute ein Instrument zur Verfügung, das eine nachhaltige Nutzung der im Kantonsgebiet vorhandenen Wasserressourcen ermöglicht und zu einer sicheren Versorgung führt. Die anstehende Festsetzung der Grundwasserschutzareale wird zusätzlich einen wesentlichen Beitrag zur Sicherstellung der künftigen Wasserversorgung leisten.

EINLEITUNG



DPSIR-MODELL

Zur Darstellung von Umweltbelastungen und Umweltmassnahmen wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), aber auch von europäischen Umweltbehörden, immer häufiger das DPSIR-Modell verwendet. Es beschreibt in Form eines Regelkreises den Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren (**D**riving forces), die Druck auf die Umwelt ausüben, sowie den daraus resultierenden Umweltbelastungen (**P**ressures). Die Belastungen verändern den Umweltzustand (**S**tate), der in Abhängigkeit der spezifischen Umweltwirkung (**I**mpact) beurteilt wird. Mit geeigneten Massnahmen (**R**esponses) sollen die Behörden dafür sorgen, die negativen Auswirkungen zu vermindern.

UMWELTBEOBACHTUNG IM DPSIR-MODELL

Zur Darstellung und Beurteilung des Gewässerzustandes, aber auch für die Planung von Sanierungen und zur Überprüfung der Wirksamkeit von Massnahmen ist eine gezielte Umweltbeobachtung erforderlich. Die Daten aus der Umweltbeobachtung erlauben, den Zustand der Gewässer darzustellen (state) und – falls Methoden zur Beurteilung des Gewässerzustandes vorliegen – zu beurteilen (impact). Die Umweltbeobachtung hat darüber hinaus aber auch die Aufgabe, den Zustand der Gewässer über lange Zeiträume zu verfolgen, zu dokumentieren und neue Gewässerbelastungen (pressures) frühzeitig zu erkennen. Erst wenn ein Problem erkannt ist, kann entsprechend dem DPSIR-Modell vorgegangen werden, um einen ungenügenden Gewässerzustand mit geeigneten Massnahmen (responses) zu beheben.

WANDEL DER UMWELTBEOBACHTUNG

Bis Ende der Neunzigerjahre lag der Schwerpunkt der Umweltbeobachtung auf der Erfassung der Wasserqualität und -quantität. Um den Erfolg der Sanierungsmassnahmen im Bereich Siedlungsentwässerung, ARA und Landwirtschaft zu verfolgen, wurde die Belastung der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers mit organischen Stoffen und Nährstoffen beobachtet. Die gemessenen Konzentrationen dienten dazu, den Zustand der Wasser-

qualität darzustellen. Mit dem Rückgang der Gewässerverschmutzung wurde aber immer offensichtlicher, dass nicht nur die ungenügende Wasserqualität für den schlechten Zustand vieler Seen und Fließgewässer verantwortlich ist, sondern auch der Verbau der Gewässer und die Veränderungen der natürlichen Abflussverhältnisse dazu beitragen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde Mitte der Neunzigerjahre im Rahmen des Modul-Stufen-Konzeptes mit der Entwicklung von Methoden begonnen, die erlauben, den Zustand der Fließgewässer umfassend zu untersuchen und zu beurteilen. Die Umweltbeobachtung im Bereich Fließgewässer ist dadurch in den letzten zwei Jahrzehnten vielfältiger und komplexer geworden. Heute stehen neben Methoden zur Beurteilung der Wasserqualität auch Methoden zur Beurteilung des Lebensraumes (Ökomorphologie) und des biologischen Zustandes zu Verfügung. Nicht nur mit der umfassenderen Gewässeruntersuchung, sondern auch mit der Beurteilung der Wirkungen von Belastungen ging die Umweltbeobachtung einen Schritt weiter als bisher. Sie beschränkt sich nicht mehr einfach auf die Darstellung des Gewässerzustandes, sondern beurteilt den Zustand in Abhängigkeit der gesetzlichen Vorgaben oder der Abweichung vom natürlichen Zustand.

Nach wie vor gibt es aber grosse Wissenslücken, und es können noch nicht alle bisher bekannten Belastungen in Fließgewässern beurteilt werden. Dank der Entwicklung hochstehender Analysemethoden können heute eine Vielzahl von organischen Mikroverunreinigungen in Gewässern erfasst werden. Methoden zur Beurteilung der Umweltauswirkungen dieser Schadstoffe fehlen bisher, sind aber zwingend notwendig für die zukünftige Beurteilung der Wasserqualität. Für stehende Gewässer und das Grundwasser liegen bis heute keine schweizweit anerkannten Beurteilungsmethoden vor, und dem umfassenden Schutzgedanken wird erst ansatzweise Beachtung geschenkt. Im Rahmen des vorliegenden Berichtes wird dennoch versucht, für verschiedene bedeutende Belastungen in Seen und dem Grundwasser eine Beurteilung der Auswirkungen auf die Umwelt vorzunehmen.



VON DER UMWELTBEOBACHTUNG ZU DEN MASSNAHMEN

Untersuchungen an repräsentativen Messstellen bilden die Basis der Gewässerüberwachung im Kanton Zürich. Mit einer geschickten Stellenauswahl können die relevanten Belastungsquellen auf Kantonsgebiet lokalisiert werden. Durch eine geeignete Kombination an Untersuchungsmethoden kann die Bedeutung der bekannten Belastungen erfasst werden. Eine umfassende Bewertung der Gewässer verlangt neben der Erfassung der Kenngrößen zur Beurteilung der Wasserqualität, der Abflussverhältnisse sowie struktureller Parameter zur Beurteilung des Lebensraumes (Ökomorphologie) zusätzlich Kenntnisse über den Zustand der Pflanzen und Tiere.

Die Umweltbeobachtung zeigt auf, wo im Gewässersystem welche Arten von Belastungen vorhanden sind. Ein als ungenügend beurteilter Gewässerzustand ist häufig die Folge unterschiedlichster Belastungen, die im Gewässer zusammenwirken, sich gegenseitig beeinflussen und sich auf ganz unterschiedlichen Ebenen im Gewässer auswirken. Aufgrund eines festgestellten Defizites kann deshalb meist nicht direkt eine geeignete Massnahme abgeleitet werden. Dazu müssen zuerst die ablaufenden Prozesse und Zusammenhänge zwischen Belastungen und Auswirkungen analysiert werden. Die Umweltbeobachtung vermag jedoch aufzuzeigen, in welche Richtung solche Untersuchungen und die weitere Massnahmenplanung gehen müssen.

BERICHTERSTATTUNG AUS DER UMWELTBEOBACHTUNG

Aufgrund der Daten der Umweltbeobachtung wurde im Jahr 2006 für den Kanton Zürich ein Bericht zur Wasserqualität der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers erarbeitet [1]. Dabei standen der Zustand der Wasserqualität und deren Entwicklung im Vordergrund. Beim Grundwasser wurde zusätzlich der Frage nach einer möglichen Übernutzung nachgegangen. Zudem wurde für ein ausgewähltes Einzugsgebiet erstmals eine umfassende Bewertung der Fließgewässer präsentiert, die neben der Wasserqualität auch die Abflussverhältnisse, die Ökomorphologie und den biologischen Zustand berücksichtigt. Im vorliegenden Bericht werden der Zustand und die Entwicklung der Wasserqualität des Grundwassers und der Seen vorgestellt und die Fließgewässer im ganzen Kanton umfassend bewertet. Der heutige Zustand stellt damit eine gute Ausgangslage für die Beobachtung zukünftiger Entwicklungen dar. Der Bericht weist darauf hin, welche menschlichen Tätigkeiten die ober- und unterirdischen Wasservorkommen nach wie vor oder in immer stärkerem Ausmass gefährden. Geplante Massnahmen werden vorgestellt und es wird erläutert, in welche Richtung zukünftige Massnahmen gehen müssen, damit der aktuelle Zustand der Gewässer gehalten und weiter verbessert werden kann.

Weitere aktuelle Informationen zum Zustand der Seen und Fließgewässer im Kanton Zürich finden Sie unter: www.gewaesserqualitaet.zh.ch, zum Grundwasser unter: www.grundwasser.zh.ch

DIE GEWÄSSERQUALITÄT UND IHRE EINFLUSSFAKTOREN

Menschlichen 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.



LANDWIRTSCHAFT



THERMISCHE NUTZUNG



BAULICHE TÄTIGKEITEN



HAUSHALTE/SIEDLUNG



VERKEHR



WASSERENTNAHMEN/
TRINKWASSERNUTZUNG



UNFÄLLE/HAVARIEN

Regenbecken

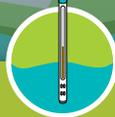
Abwasserreinigungsanlage (ARA)



MIKRO-
VERUNREINIGUNGEN



NÄHRSTOFFE/
ORGANISCHE BELASTUNG



BIOLOGISCHER ZUSTAND

Wasserqualität, Wasserführung und Lebensraum bestimmen die Gewässerbiologie.

WASSERQUALITÄT

Abwasser aus ARA, von Strassen und Geleisen sowie Meteorwasser 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 undichten 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.

Schadstoffe gelangen über verschiedene Eintragspfade in die Gewässer und beeinträchtigen die Wasserqualität. Die Wassermengen in Fließgewässern und der Grundwasserspiegel werden durch **Wasserentnahmen** zur Gewinnung

von Trink- und Brauchwasser beeinflusst. Die natürliche Abflussdynamik wird durch die Nutzung der Fließgewässer zur **Stromproduktion** gestört. Der Gewässerlebensraum wird durch alle Arten von **Verbauungen** eingeschränkt und beeinträchtigt.



INDUSTRIE/GEWERBE



ALTLASTEN



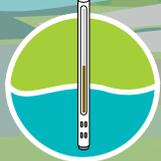
ERHOLUNG



WASSERKRAFTWERKE



GRUNDWASSERSPIEGEL



WASSTEMPORATUR

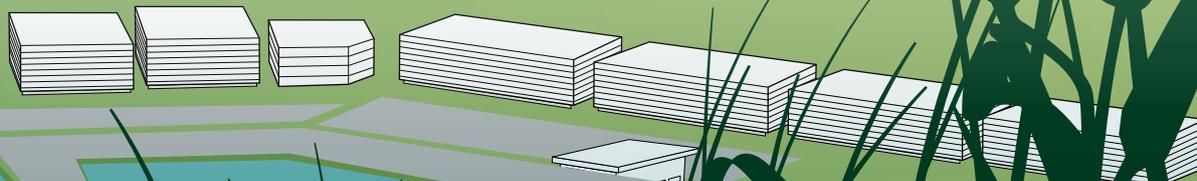


GEWÄSSERSTRUKTUR



WASSERMENGE/DYNAMIK

Grundwasser



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 zusätzlich negativ auf den Grundwasserspiegel aus.

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

LEBENSRAUM

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 Geschiebehalt auswirken, was die Lebensraumqualität weiter beeinträchtigt.

Wehre, Abstürze und eingedolte Gewässerabschnitte unterbrechen die natürliche Längsvernetzung. 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.

FLIESSGEWÄSSER



- 14 Von der Wasserqualität zur umfassenden Gewässerbeurteilung
- 16 Messprogramm und Beurteilung
- 20 **Qualität**
 - Nährstoffe
 - Schwermetalle
 - Organische Mikroverunreinigungen
 - Äusserer Aspekt
- 34 **Quantität/Dynamik und Lebensraum**
 - Wasserführung
 - Ökomorphologie
- 38 **Biologischer Zustand**
 - Kieselalgen
 - Moose und Wasserpflanzen
 - Makroinvertebraten
 - Fische
- 50 Synthese und Handlungsbedarf



In den Siebziger- und zu Beginn der Achtzigerjahre führten die teilweise massiven Gewässerverschmutzungen regelmässig zu Fischsterben und Algenwucherungen in Fliessgewässern.

Die in der Folge getroffenen Gewässerschutzmassnahmen zielten darauf ab, die Belastung mit leicht abbaubaren organischen Abwasserinhaltsstoffen sowie Nährstoffen zu reduzieren.

Die Wasserqualität vieler Fliessgewässer verbesserte sich dadurch zwar stark, führte aber vielerorts noch nicht zur gewünschten Erholung der natürlicherweise vorkommenden Tier- und Pflanzenarten.



VON DER WASSERQUALITÄT ZUR UMFASSENDEN GEWÄSSERBEURTEILUNG

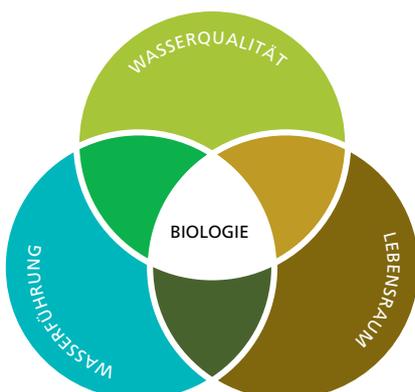
Damit Bäche und Flüsse eine natürliche Vielfalt an Pflanzen und Tieren aufweisen, braucht es neben sauberem Wasser auch natürliche Abfluss- und Temperaturverhältnisse und einen natürlich strukturierten Lebensraum.

Verschiedene Gesetzesänderungen im Bereich Wasserbau, Gewässerschutz, Raumplanung und Landwirtschaft in den Neunzigerjahren des 20. Jahrhunderts nahmen diese Anliegen auf und schufen damit die gesetzlichen Grundlagen für einen umfassenden Schutz der Fließgewässer. Mit dem «Leitbild Fließgewässer Schweiz» der damaligen Bundesämter BUWAL, BWG, BLW und ARE [2] sollte die Vision naturnaher Schweizer Gewässer kommuniziert und umgesetzt werden. Das Leitbild stellt drei langfristige Entwicklungsziele in den Vordergrund.

- Ausreichender Gewässerraum
- Ausreichende Wasserführung
- Ausreichende Wasserqualität

Entwicklungsziele des Leitbildes Fließgewässer

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



Mit der Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) und der Gewässerschutzverordnung (GSchV) traten im Jahr 2011 Bestimmungen zum planerischen Schutz des Gewässerraums und zur Planung und baulichen Umsetzung von Revitalisierungen in Kraft, die Verbesserungen im Bereich des Entwicklungsziels «Gewässerraum» bringen werden. Mit Vorgaben zur Verminderung von unnatürlich hohen Abflussschwankungen bei Wasserkraftanlagen werden Verbesserungen in der Wasserführung angestrebt. Eine weitere Änderung des GSchG und der GSchV zur Entfernung von Mikroverunreinigungen auf ausgewählten kommunalen ARA wird zur Zeit vorbereitet. Sie wird zu einer zusätzlichen Reduktion der Schadstoffbelastung und damit verbesserten Wasserqualität führen. Die umfassenden Ziele des Leitbildes und damit einen guten biologischen Zustand können aber nur dann erreicht werden, wenn bestehende Beeinträchtigungen in allen drei Zielbereichen beseitigt und Massnahmen aufeinander abgestimmt werden.

Ein ganzheitlicher Gewässerschutz bedingt eine umfassende Bewertung der Gewässer. 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.



Ökologische Ziele und Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) sowie die entsprechenden Indikatoren zur Überprüfung der Vorgaben.

Ökologische Ziele für Gewässer (Anhang 1 GschV)	Äusserer Aspekt	Algen/ Kieselalgen	Makro-phyten	Makro-invertebraten	Fische
Naturnahe, standortgerechte Lebensgemeinschaften, die sich selbst reproduzieren und regulieren (Ziffer 1 Abs. 1 lit. a).	○	●	●	●	●
Typische Artenvielfalt für nicht oder nur schwach belastete Gewässer des jeweiligen Gewässertyps (Ziffer 1 Abs. 1 lit. b).	○	●	●	●	●
Keine nachteiligen Einwirkungen auf die Lebensgemeinschaften durch die Wasserqualität (Ziffer 1 Abs. 3 lit. c).	●	●	●	●	●
Keine Anreicherung von Schadstoffen in Organismen, Schwebstoffen oder Sedimenten (Ziffer 1 Abs. 3 lit. c).	●	●	●	●	●
Anforderungen an die Wasserqualität (Anhang 2 GSchV)	Äusserer Aspekt	Algen/ Kieselalgen	Makro-phyten	Makro-invertebraten	Fische
Die Wasserqualität darf die Laichgewässer der Fische nicht gefährden (Ziffer 11 Abs. 1 lit. b).	○	○	○	○	●
Keine unnatürlichen Wucherungen von Algen und Wasserpflanzen (Ziffer 11 Abs. 1 lit. a).	○	●	●	○	○
Keine mit blossen Auge sichtbaren Kolonien von Bakterien, Pilzen oder Protozoen (Ziffer 11 Abs. 1 lit. a).	●	○	○	○	○
Kein Schlamm, keine Trübung oder Verfärbung, kein Schaum und keine geruchliche Veränderung nach Abwassereinleitungen (Ziffer 11 Abs. 2 lit. a bis c).	●	○	○	○	○
Keine Eisensulfidflecken in der Gewässersohle (Ziffer 12 Abs. 1 lit. a).	●	○	○	○	○

Indizieren beispielsweise Makroinvertebraten einen guten Zustand, kann daraus geschlossen werden, dass es sich um ein funktionsfähiges Gewässer handelt. Zeigen sie aber schlechte Verhältnisse an, 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.

Wichtigste Grundlage für die Gewässerbeurteilung ist die Gewässerschutzverordnung, welche 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 Methoden zur Beurteilung der Wasserqualität, des Gewässerraums, der Wasserführung und des biologischen Zustandes erarbeitet oder befinden sich noch in Bearbeitung. Sie stellen Vollzugshilfen dar, die diese allgemein formulierten Ziele und Anforderungen konkretisieren:

www.modul-stufen-konzept.ch



MESSPROGRAMM UND BEURTEILUNG

ROUTINEÜBERWACHUNG

Die Wasserqualität der Fließgewässer im Kanton Zürich wird regelmässig überwacht. An 17 Hauptmessstellen (HM) wurden mittels Schöpfautomaten Wasserproben geschöpft und gekühlt aufbewahrt. Beim wöchentlichen Einsammeln dieser Wochenmischproben wurden zusätzlich Stichproben für die Bestimmung weiterer Parameter aus dem Gewässer entnommen und anschliessend ebenfalls im Labor analysiert. Diese Untersuchungen an den bedeutendsten Fließgewässern ermöglichen die Überwachung der wichtigsten Parameter, die Ermittlung von Frachten und die Erfassung der saisonalen und langfristigen Veränderungen.

Zusätzlich wurden an 93 über den ganzen Kanton verteilten Messstellen im Rahmen des Routineprogramms Fließgewässer (FG) monatlich Stichproben aus den Gewässern geschöpft und physikalische Messungen sowie chemische Analysen durchgeführt. Die Resultate ermöglichen die Beurteilung der langfristigen Entwicklung der Wasserqualität und eine geografische Übersicht der aktuellen Belastungen. Sie dienen zudem zur Berechnung des Indikators für die Wasserqualität der Fließgewässer, welcher jährlich für die Berichterstattung im Rahmen der konsolidierten Entwicklungs- und Finanzplanung (KEF) erhoben wird.

VERTIEFTE UNTERSUCHUNGEN IN AUSGEWÄHLTEN EINZUGSGEBIETEN

In den Jahren 2004/05 wurden im Kanton Zürich erstmals Untersuchungen für eine umfassende Gewässerbeurteilung durchgeführt. Im Einzugsgebiet von Glatt und Greifensee wurden zu diesem Zweck total 44 Messstellen ausgewählt (EZG). Nach dem gleichen Konzept erfolgten in den Jahren 2006/07 Untersuchungen in den Einzugsgebieten von Sihl, Limmat und Zürichsee an insgesamt 38 Messstellen und in den Jahren 2008/09 Untersuchungen in den Einzugsgebieten von Furtbach, Jonen und Reppisch

an 36 Messstellen. 2010/11 wurde das Programm mit den Einzugsgebieten von Töss, Thur und Flaacherbach an 36 Messstellen abgeschlossen. Damit liegen für den Kanton Zürich erstmals flächendeckend Informationen für eine umfassende Gewässerbeurteilung vor.

PARAMETERLISTE

Parameter	Symbol	Einheit	HM	FG	EZG
Temperatur	T	°C	K	M	M
pH-Wert	pH	–	S	M	M
Sauerstoff	O ₂	mg O ₂ /l	S	M	M
Leitfähigkeit	Leitf.	µS/cm	S	M	M
BSB ₅	O ₂	mg O ₂ /l	S		
Ammonium	NH ₄	mg N/l	W	M	M
Nitrit	NO ₂	mg N/l	S	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
Gesamtphosphor	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		µg/l			M*
Schwermetalle in Sedimenten		mg/kg TS			J
Äusserer Aspekt		–			E _{FH}
Makrozoobenthos		–			E _{FH}
Kieselalgen		–			E _{FH}
höhere Wasserpflanzen		–			E _S
Fische		–			E _{SH}

K kontinuierliche Registrierung

S wöchentliche Stichprobe

W Wochenmischprobe

M monatliche Stichprobe

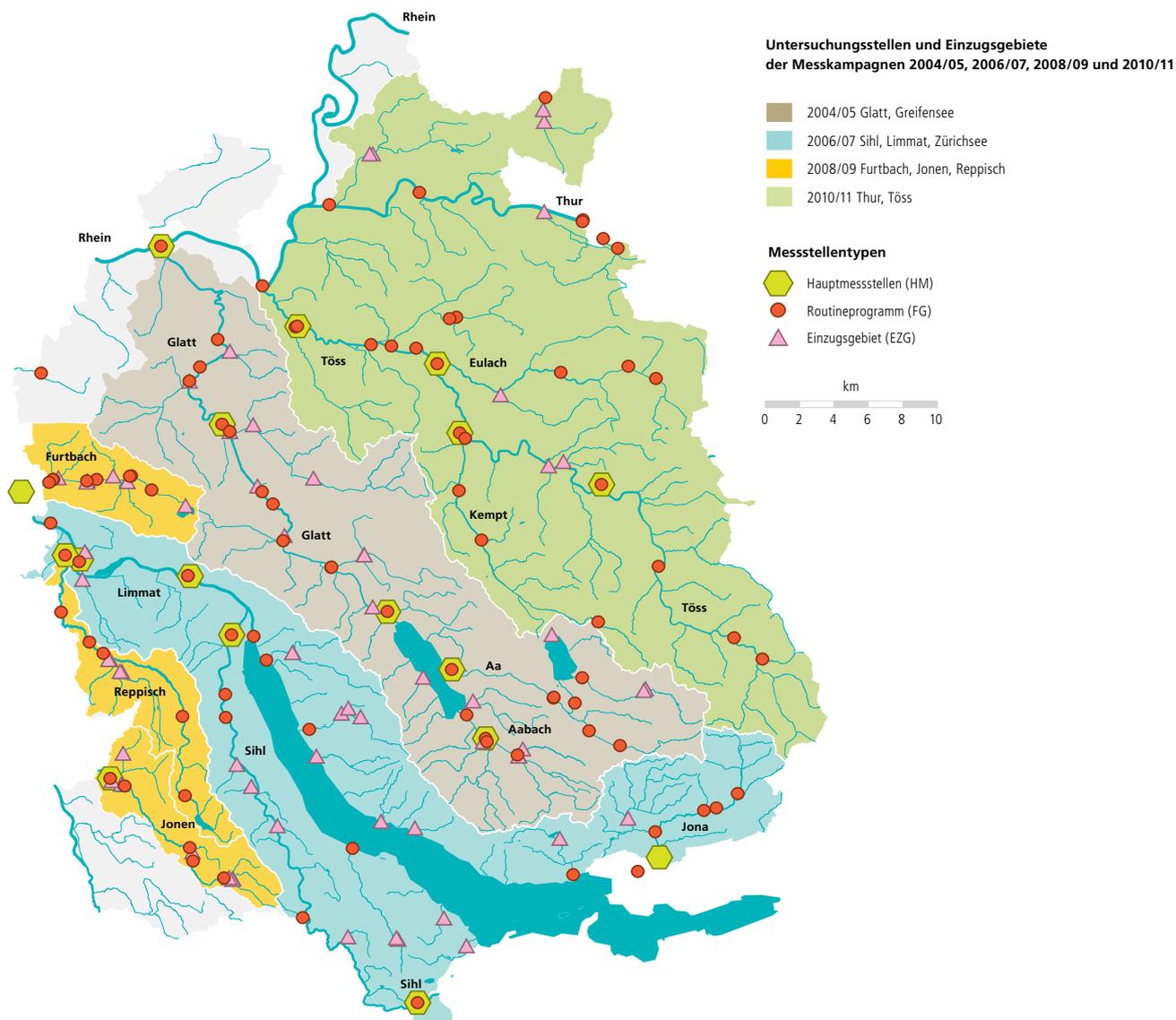
J 1 Stichprobe

M* monatliche Stichprobe von März bis Oktober

E_{FH} Erhebung im Frühling oder Herbst

E_S Erhebung im Sommer

E_{SH} Erhebung im Spätsommer/Herbst



UNTERSUCHTE PARAMETER UND METHODEN

Das erweiterte Untersuchungsprogramm für die Einzugsgebiete enthält neben den «traditionellen» chemischen und physikalischen Parametern auch die Parameter Pestizide und Schwermetalle. Weiter wurden die Makroinvertebraten untersucht und der Zustand bezüglich Wasserführung beurteilt. Nur an ausgewählten Stellen erfolgte durch die Fischerei- und Jagdverwaltung eine Beurteilung der Fischpopulation. Der Äussere Aspekt, die Kieselalgen und die Wasserpflanzen wurden zudem an zusätzlichen Stellen in kleineren Fließgewässern erfasst, um allfällige, bisher nicht bekannte Belastungsquellen zu erkennen, und um Grundlagen über das Vorkommen der Wasserpflanzen zu erarbeiten.

Die verschiedenen Kenngrößen wurden grundsätzlich mit den im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts [3] entwickelten Methoden untersucht und beurteilt. Diese Methoden zur Erfassung des ökomorphologischen, chemisch-physikalischen, hydrologischen und biologischen Zustands sehen eine Beurteilung in vier oder fünf Zustandsklassen vor. Die Beurteilungsklassen stützen sich einerseits auf die numerischen Anforderungen von Anhang 2 der GSchV ab, andererseits werden damit sprachlich formulierte Ziele und Anforderungen des GSchG und der GSchV präzisiert und in Zustandsklassen übersetzt. Dabei definiert die Zielvorgabe (ZV) jeweils die Grenze zwischen den Klassen gut und mässig.



Beurteilung der Nährstoffbelastung aufgrund der 90-Perzentilen der monatlichen Stichproben

Parameter	Symbol	Einheit	Kriterium	Zustand				
				sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
Ammonium	NH ₄	mg N/l	Temp. < 10° C	< 0.08	0.08 bis < 0.4	0.4 bis < 0.6	0.6 bis < 0.8	≥ 0.8
			Temp. ≥ 10° C	< 0.04	0.04 bis < 0.2	0.2 bis < 0.3	0.3 bis < 0.4	≥ 0.4
Nitrit	NO ₂	mg N/l	Cl < 10 mg/l	< 0.01	0.01 bis < 0.02	0.02 bis < 0.03	0.03 bis < 0.04	≥ 0.04
			Cl 10 bis 20 mg/l	< 0.02	0.02 bis < 0.05	0.05 bis < 0.075	0.075 bis < 0.1	≥ 0.1
			Cl > 20 mg/l	< 0.05	0.05 bis < 0.1	0.1 bis < 0.15	0.15 bis < 0.2	≥ 0.2
Nitrat	NO ₃	mg N/l	–	< 1.5	1.5 bis < 5.6	5.6 bis < 8.4	8.4 bis < 11.2	≥ 11.2
Phosphat	PO ₄	mg P/l	oberhalb Seen	< 0.02	0.02 bis < 0.04	0.04 bis < 0.06	0.06 bis < 0.08	≥ 0.08
			unterhalb Seen	< 0.04	0.04 bis < 0.08	0.08 bis < 0.12	0.12 bis < 0.16	≥ 0.16
Zielvorgabe				erfüllt ✓		nicht erfüllt ✗		

Einen sehr guten Zustand weisen Stellen auf, deren Messwerte (m) kleiner als die Hälfte der entsprechenden Zielvorgaben sind ($m < 0.5 \text{ ZV} = \text{sehr gut}$). Die anderen Klassengrenzen werden wie folgt hergeleitet:

0.5 ZV bis ZV	= gut
ZV bis 1.5 ZV	= mässig
1.5 ZV bis 2 ZV	= unbefriedigend
> 2 ZV	= schlecht

Dieses Beurteilungskonzept wird am Beispiel der Zustandsklassen für Nährstoffe- und Schwermetalle in Sedimenten in den Tabellen illustriert.

Für die Beurteilung der Nährstoffbelastung aus den monatlichen Stichproben wurden gemäss Modul Chemie [4] 90-Perzentil-Werte verwendet, um Ausnahmesituationen wie Hochwasserspitzen oder Niederwassersituationen

auszuschliessen. Die Kriterien für die Einteilung der einzelnen Parameter in eine von fünf Zustandsklassen aufgrund der Perzentile können obenstehender Tabelle entnommen werden. Für die Phosphatbeurteilung wurde die Zielvorgabe aus dem BAFU - Modul Chemie nur für Messstellen im Einzugsgebiet von Seen verwendet. Bei diesen Stellen ist die Anwendung der strengen Zielvorgabe von 0.04 mg PO₄-P/l wegen der grossen Bedeutung von Phosphor in Seen gerechtfertigt. Da Phosphat die Wasserqualität von Fließgewässern kaum negativ beeinflusst, wurde bei den Stellen stromabwärts von Seen mit einer doppelt so hohen Zielvorgabe gearbeitet. Wäre auch bei diesen Stellen die strengere Zielvorgabe zur Anwendung gekommen, hätte die Bewertung bei einigen Stellen einen Handlungsbedarf ausgewiesen, obwohl dieser nicht gegeben ist und die gesetzlichen Anforderungen erfüllt sind.

Beurteilung der Schwermetallbelastung in Sedimenten

Parameter	Symbol	Einheit	Zustand				
			sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
Blei	Pb	mg / kg TS	< 50	50 bis < 100	100 bis < 150	150 bis < 200	> 200
Cadmium	Cd	mg / kg TS	< 0.75	0.75 bis < 1.5	1.5 bis < 2.25	2.25 bis < 3	> 3
Chrom	Cr	mg / kg TS	< 50	50 bis < 100	100 bis < 150	150 bis < 200	> 200
Kupfer	Cu	mg / kg TS	< 30	30 bis < 60	60 bis < 90	90 bis < 120	> 120
Nickel	Ni	mg / kg TS	< 25	25 bis < 50	50 bis < 75	75 bis < 100	> 100
Zink	Zn	mg / kg TS	< 100	100 bis < 200	200 bis < 300	300 bis < 400	> 400
Quecksilber	Hg	mg / kg TS	< 0.5	0.5 bis < 1	1 bis < 1.5	1.5 bis < 2	> 2

Zielvorgabe: erfüllt (grüner Balken) / nicht erfüllt (roter Balken)

PUBLIKATION DER RESULTATE

Für die Beurteilung der Schwermetallbelastung in Sedimenten, für welche nur ein Messwert pro Stelle im Untersuchungszeitraum vorliegt, erfolgte die Klassierung aufgrund der einzelnen Messwerte. Da in der GSchV keine Zielvorgaben für Schwermetalle in Sedimenten aufgeführt sind, wurden für die Bewertung die Zielvorgaben der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) verwendet [5].

Die Beurteilung der Ökomorphologie, Äusserer Aspekt, Kieselalgen und Fische erfolgte nach den Methoden des Modul-Stufen-Konzeptes des BAFU.

Die Abflussverhältnisse wurden aufgrund von Expertenwissen im AWEL beurteilt und noch nicht aufgrund des BAFU-Moduls Hydrologie-Abflussregime. Die Makroinvertebraten wurden zusätzlich mit einem speziell für den Kanton Zürich erarbeiteten Referenzsystem und mit dem SPEAR-Index beurteilt. Für die Wasserpflanzen kam eine für den Kanton Zürich erarbeitete Methode zur Beurteilung der Vegetation zum Einsatz, da bisher kein Methodenvorschlag des BAFU vorliegt.

In allen Beurteilungsmethoden, auch solchen die nicht auf chemischen Messwerten basieren, wird das gleiche Beurteilungskonzept angewendet, d.h. die Zielvorgabe definiert die Grenze zwischen dem guten und dem mässigen Zustand mit entsprechender Ableitung der anderen Zustandsklassen.

Die Messdaten der Fließgewässeruntersuchungen werden jährlich ausgewertet und die Resultate im Internet publiziert.

Für alle Messstellen liegen Beurteilungsblätter vor, die den Zustand der Wasserqualität seit Beginn der regelmässigen Überwachung aufzeigen. Zusätzlich ist für alle Stellen, die im Rahmen der vertieften Untersuchungen in ausgewählten Einzugsgebieten beprobt wurden, eine umfassende Beurteilung des Gewässerzustandes abrufbar. Für die 17 Hauptmessstellen mit Schöpfautomaten stehen kommentierte Beurteilungsblätter zur Verfügung, die über die Wasserqualität und die Frachten informieren.

Neben diesen Informationen zu einzelnen Messstellen stehen im Internet weitere Informationen und Fachberichte zu ausgewählten Themen zur Verfügung. Damit können sich alle Interessierten jederzeit ein Bild über den aktuellen Zustand der Gewässer verschaffen:

www.gewaesserqualitaet.zh.ch

Furtbach nach ARA Otelfingen
 Stelle 164: monatliche Stichproben

AWEL - Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
 Abteilung Gewässerschutz
 Oberflächengewässerschutz

Koordinaten: 671506 / 250945
 Höhenlage: 418 m ü. M.
 Abfluss: Q_{2000} 0.6 m³/s
 Q_{200} 0.2 m³/s
 Gefälle: 0.2 ‰
 Anteil gereinigtes Abwasser am Gesamtabfluss: 36.8 %

Einzugsgebiet: Wald 30.0%, Landwirtschaft 45.0%, Gewässer 1.0%, unproduktive Flächen 1.0%, Siedlungsflächen 22.9%

Beurteilungsskala: **Zustand** (sehr gut, gut, mässig, unbefriedigend, schlecht) / **Zielvorgabe** (erfüllt, nicht erfüllt)

Beurteilung der Wasserqualität mit chemischen Kenngrößen

Kenngröße	Zielvorgabe Z	77-78	84-85	88-91	94-95	96-97	99-01	02-03	04-05	06-07	08-09	10-11
Ammonium [NH ₄ -N]	0.4 mg NH ₄ -N	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Ammonium [NH ₄ -N]	0.2 mg NH ₄ -N	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Nitrat	5.0 mg NO ₃ -N	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Phosphat**	0.08 mg Ges-P	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Gesamtposphor**	0.14 mg Ges-P	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
DOC	4.0 mg C/l	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
BSB ₅	4.0 mg O ₂ /l	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

Die Tabelle enthält die 90-Perzentil-Werte [mg/l].
 * Zielvorgabe für Stellen mit Chloridgehalt > 20 mg Cl/l
 ** Zielvorgabe für Stellen nicht im Einzugsgebiet von Seen

Art der Beeinträchtigung Gewässerraum
 Abschnitt: **Umgangung / Fluß**
 Restwasser: **Schwefel/Sauerstoff**

Biologie
 Kieselalgen, Wasserpflanzen, Makroinvertebraten, Fische



QUALITÄT

NÄHRSTOFFE

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Nährstoffe gelangen mit gereinigtem Abwasser aus ARA, ungereinigtem Abwasser bei Entlastungen aus der Kanalisation bei Starkregen sowie durch Abschwemmung und Erosion landwirtschaftlich intensiv genutzter Böden in die Gewässer. Die Nährstoffbelastung wird aufgrund der Parameter Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat beurteilt.

ENTWICKLUNG DER NÄHRSTOFFBELASTUNG

Die Entwicklung der Nährstoffbelastung an den 93 monatlich untersuchten Messstellen (FG) ist in der untenstehenden Abbildung dargestellt. In der Messperiode 1982-1987 wiesen nur rund 40% der Gewässerabschnitte in Bezug auf Ammonium und Nitrit einen guten oder sehr guten Zustand auf. Seither hat sich die Situation massiv verbessert. In der letzten Messperiode zwischen 2006 und 2011 befanden sich nur noch vereinzelte Gewässerabschnitte bezüglich Ammonium und Nitrit in einem mässigen bis schlechten Zustand.

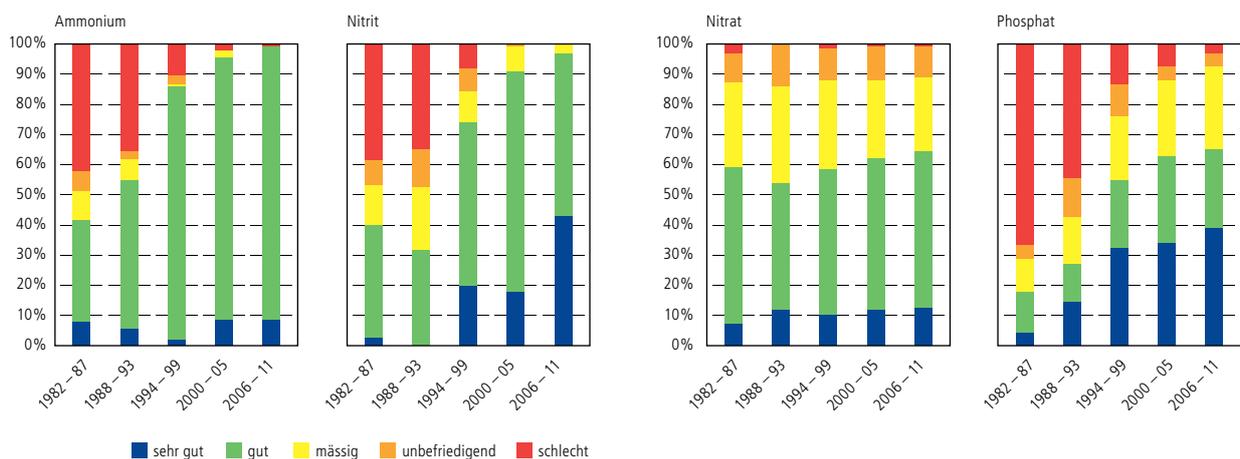
Die Belastung mit Nitrat hat sich dagegen in den letzten 25 Jahren kaum verändert, nur 63% der Gewässerabschnitte erfüllen zurzeit die Zielvorgabe.

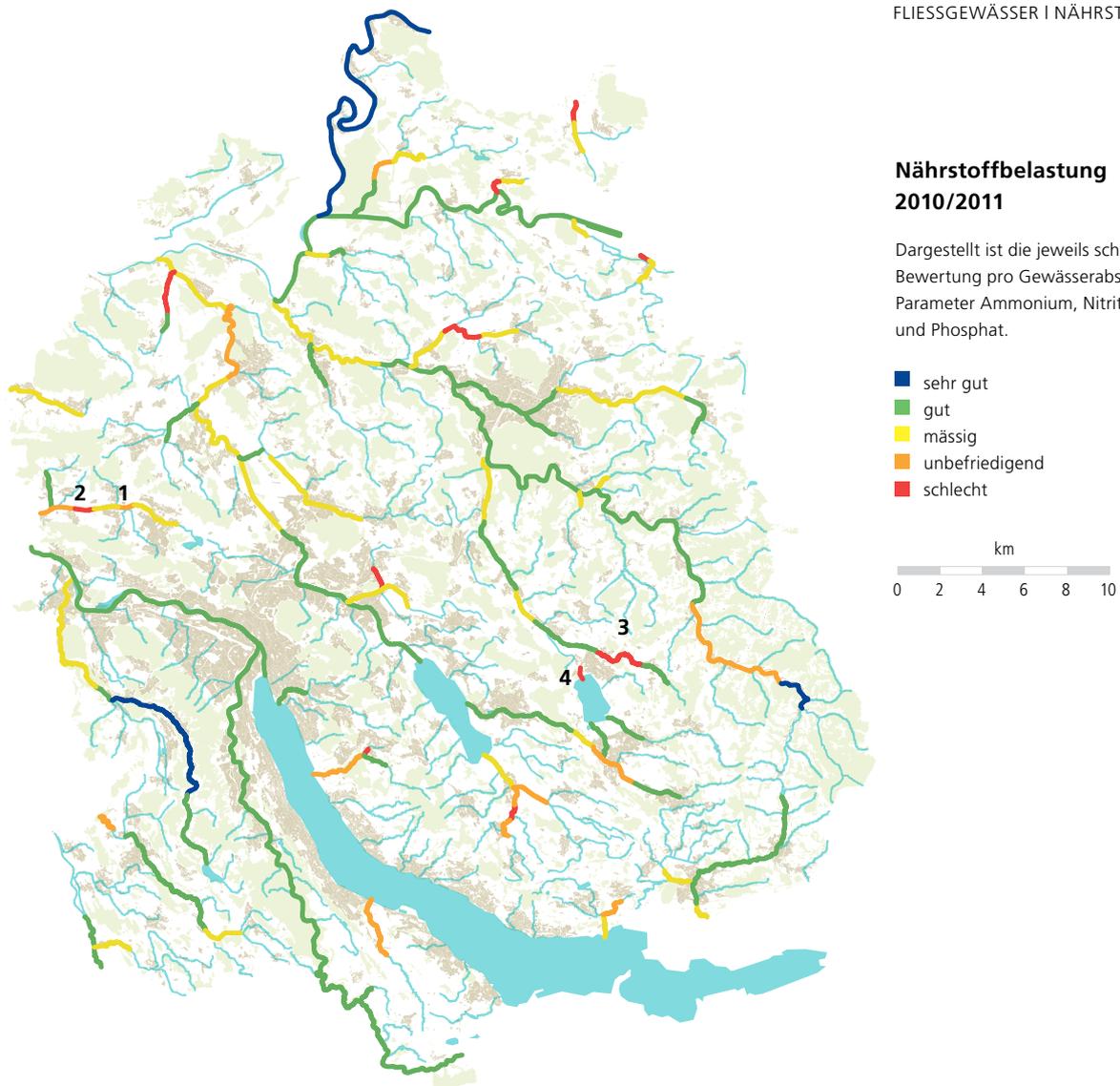
Die Belastung mit Phosphat hat seit Beginn der regelmässigen Gewässeruntersuchungen stark abgenommen. Während sich zwischen 1982 und 1987 weniger als 20% aller Gewässerabschnitte in einem guten oder sehr guten Zustand befanden, sind es heute über 60% aller Abschnitte.

BEURTEILUNG

Dank dem Ausbau der Siedlungsentwässerung und der Abwasserreinigungsanlagen (ARA), dem Phosphatverbot in Waschmitteln sowie Massnahmen in der Landwirtschaft konnte die Nährstoffbelastung insgesamt stark reduziert werden. Eine Gefährdung der Wasserlebewesen tritt heute kaum mehr auf, da das giftige Ammonium und Nitrit nur noch ganz selten (4 Untersuchungsabschnitte)

Entwicklung der Nährstoffbelastung seit 1982





in erhöhten Konzentrationen in den Fließgewässern vorkommen. Einen unbefriedigenden Zustand bezüglich der Ammoniumbelastung wies der Furtbach nach der ARA Regensdorf (1) auf. Die erhöhten Werte traten als Folge der kältebedingt verminderten Nitrifizierung auf der ARA im Winter 2010 und 2011 auf. Die erhöhten Nitritwerte unterhalb der ARA Buchs (2) sind auf dieselbe Ursache zurückzuführen. In der Luppmen (3) war der schlechte Zustand bezüglich Ammonium auf die ungenügende Nitrifizierung in der ARA Hittnau zurückzuführen. Diese ARA wurde Ende August 2010 aufgehoben und das Abwasser wird seither der ARA Pfäffikon zugeführt. Weil die ARA Pfäffikon die Einleitungsbedingungen für Ammonium aufgrund von Ausbaurbeiten nicht erfüllte, war der Zustand bezüglich Ammonium unterhalb der Einleitung ebenfalls schlecht (4).

Im Gegensatz zu Ammonium und Nitrit werden die Zielvorgaben für Nitrat und Phosphat regelmässig überschritten. Mässige bis hohe Belastungen von Phosphat und Nitrat treten meist unterhalb von ARA in kleinen Bächen mit schlechtem Verdünnungsverhältnis oder in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten auf.

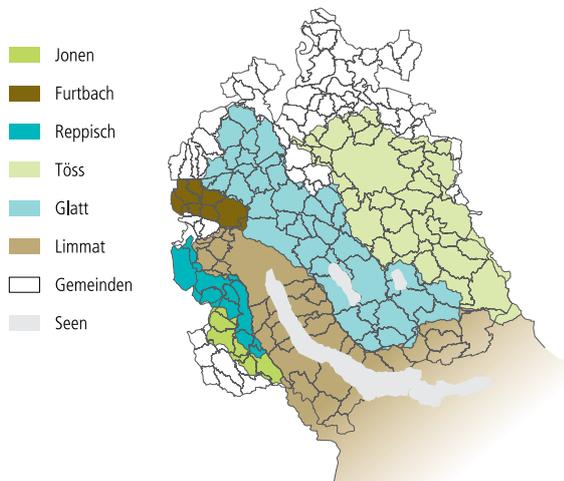
Phosphat gelangt über die Erosion landwirtschaftlich genutzter Flächen, Entlastungen aus der Kanalisation bei

Starkregen und aus ARA in die Fließgewässer. Mit wenigen Ausnahmen erfüllten die ARA die geltenden Einleitungsbedingungen für Phosphat. Im Einzugsgebiet von Seen sind zudem alle ARA mit Flockungsfiltration ausgerüstet, um einen möglichst hohen Rückhalt von Phosphor zu erreichen.

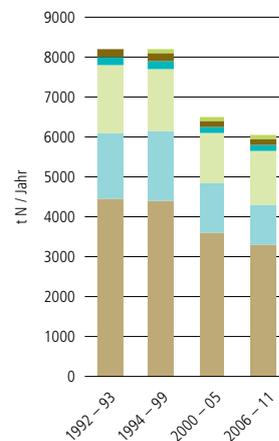
Stickoxide aus Verbrennungsprozessen und Ammoniak aus der Landwirtschaft belasten die Niederschläge mit Stickstoff und führen zu einer Grundbelastung sämtlicher Flächen. Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen wird Stickstoff zudem in Form von Gülle, Mist, Kompost oder Mineraldünger in den Boden eingebracht. Organisch gebundener Stickstoff, wie auch Ammonium, werden durch bakterielle Prozesse in Nitrat umgewandelt. Im Boden wird Nitrat nur schlecht zurückgehalten und gelangt durch Auswaschung ins Grundwasser oder über Drainagen in die Fließgewässer. Im Ablauf einer nitrifizierenden ARA liegt der Stickstoff ebenfalls als Nitrat vor. Eine Reduktion der Stickstofffrachten aus dem Abwasser 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, welche 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.



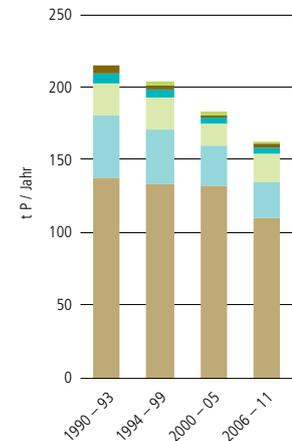
Stickstoff- und Phosphorfrachten in den grossen Einzugsgebieten



Stickstoff



Phosphor



PHOSPHOR- UND STICKSTOFFFRACHTEN

Zusätzlich zu den Stellen mit monatlichen Stichproben werden an 17 Hauptmessstellen Wochenmischproben entnommen. Die Messwerte der chemischen Untersuchungen an diesen Stellen ermöglichen, zusammen mit den von der AWEL-Fachgruppe Hydrometrie erhobenen Abflussdaten, die Berechnung der abfliessenden Stickstoff- und Phosphormengen (Frachten) aus den grossen Einzugsgebieten des Kantons. 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 werden infolge verstärkter Abschwemmungen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Entlastungen aus der Kanalisation deutlich höhere Frachten ermittelt als in trockenen Jahren. Um die langfristige Entwicklung der Frachten aufzuzeigen, wurden die Daten in Sechsjahresperioden zusammengefasst, wodurch sich trockene und nasse Jahre weitgehend ausgleichen.

Der Kanton Zürich zählte 1991 1 166 000 Einwohner. Bis Ende 2005 wuchs die Bevölkerung um 8% auf 1 264 000 Einwohner. Seither nahm die Bevölkerung um weitere 10% zu und stieg bis Ende 2011 auf 1 392 000 Einwohner [6]. Die Stickstofffrachten der wichtigsten Einzugsgebiete im Kanton Zürich konnten trotz dieses starken Bevölkerungswachstums im gleichen Zeitraum um 26%, die Phosphorfrachten um 24% gesenkt werden.

Im Rahmen internationaler Abkommen zum Schutz der Nordsee hat sich die Schweiz verpflichtet, die Stickstoffbelastung im Rhein bei Basel zwischen 1995 und 2005 um 2600 t N/Jahr zu reduzieren. Gemäss der Planung der Kantone im Einzugsgebiet des Rheins soll dabei der Anteil des Kantons Zürich 364 t N/Jahr betragen. Dieser Beitrag wurde durch die Erhöhung der Leistung der Denitrifikation auf der ARA Werdhölzli (1996/97) und die Aufhebung der ARA Zürich an der Glatt im Jahre 2001 geleistet. Das Abwasser aus Zürich Nord wird seither über einen Stollen in die ARA Zürich Werdhölzli abgeleitet. In den folgenden Jahren wurde eine erhebliche Anzahl weiterer ARA im Rahmen von Sanierungen mit einer Teildenitrifikation aus-

Beurteilung der Wasserqualität mit chemischen Kenngrößen Hauptmessstelle Glatt vor Rhein

Die Tabelle enthält die 90-Perzentil-Werte [mg/l].

Kenngrösse	Typ	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
Ammonium (T < 10°C) 0.4 mg NH ₄ -N/l	T	1.23	1.78	0.70	0.40	0.17	0.26	0.53	0.31	0.21	0.35	0.15	0.14	0.11	0.16	0.14	0.21	0.33	0.12	0.13	0.10	0.07	0.14	
Ammonium (T ≥ 10°C) 0.2 mg NH ₄ -N/l	T	0.57	0.32	0.20	0.23	0.14	0.12	0.21	0.19	0.15	0.18	0.15	0.09	0.18	0.199	0.12	0.16	0.10	0.10	0.14	0.09	0.10	0.11	
Nitrit*	S	keine Messwerte											0.095	0.037	0.041	0.045	0.052	0.047	0.039	0.046	0.033	0.047	0.041	0.037
Nitrat	T	8.5	9.8	8.8	8.3	8.1	7.5	7.4	8.2	7.4	6.4	6.2	5.2	5.0	5.0	5.2	5.9	5.5	4.9	4.1	4.5	4.0	4.8	
Phosphat **	T	0.16	0.14	0.11	0.11	0.09	0.08	0.12	0.11	0.15	0.10	0.11	0.09	0.06	0.07	0.07	0.076	0.077	0.077	0.076	0.09	0.079	0.09	
Gesamtphosphor **	W	0.32	0.27	0.22	0.20	0.19	0.20	0.19	0.20	0.25	0.19	0.23	0.19	0.10	0.12	0.11	0.15	0.14	0.13	0.16	0.13	0.16	0.16	
DOC	S	4.6	5.5	4.6	4.5	3.8	4.0	3.98	4.7	5.0	5.1	4.7	4.3	4.0	4.0	4.3	4.8	4.6	4.0	3.7	4.3	4.3	3.6	
BSB ₅	S	10.5	6.6	4.5	4.6	4.8	5.2	3.8	3.3	4.2	4.2	3.2	2.8	2.3	2.9	2.7	3.8	2.3	2.8	2.9	2.3	2.5	2.9	

* Zielvorgabe für Stellen mit Chloridgehalt > 20 mg Cl/l

** Zielvorgabe für Stellen nicht im Einzugsgebiet von Seen

Probentypen

T = Tagesmischprobe (ab 2007 nur noch Wochenmischprobe)
W = Wochenmischprobe
S = wöchentliche Stichprobe

Probenahme

Probenvolumen proportional zum Abfluss

Zustand

sehr gut	erfüllt
gut	
mässig unbefriedigend	nicht erfüllt
schlecht	

Zielvorgabe

gestattet. Neben der Stickstoffreduktion im Ablauf führt dieser Ausbaustandard zu einem verringerten Energieverbrauch und häufig zu einer erhöhten Prozessstabilität bei der Abwasserreinigung.

Für die letzte Auswertungsperiode (2006 bis 2011) betrug die Reduktion beim Stickstoff im Vergleich zu den Jahren 1992 bis 93 insgesamt 2156 t N/Jahr. Beim Phosphor betrug die Verminderung im Vergleich zur Periode 1990 bis 1993 knapp 52 t P/Jahr. Neben der verbesserten Abwasserreinigung haben auch die Ökologisierung der Landwirtschaft und weitere Anstrengungen in der Siedlungs-entwässerung zu diesem Erfolg beigetragen. Zu beachten ist, dass im Einzugsgebiet der Limmat auch Gebiete der Kantone Schwyz, Glarus und St. Gallen enthalten sind.

ZUSTAND UND ENTWICKLUNG DER NÄHRSTOFF-BELASTUNG AN EINZELNEN MESSSTELLEN

Von vielen Messstellen liegen langjährige Datenreihen vor, die den zeitlichen Verlauf der Belastung dokumentieren. Kontinuierliche Verbesserungen der Wasserqualität werden ebenso sichtbar wie sprunghafte Abnahmen von Belastungen z.B. nach dem Ausbau einer ARA. Auch vorübergehende Beeinträchtigungen durch ungenügende Reinigungsleistung oder häufige Entlastungen in regenreichen Jahren können so aufgezeigt werden. Die Stellenblätter aller Messstellen des AWEL sind im Internet abrufbar und werden jährlich aktualisiert:

www.gewaesserqualitaet.zh.ch

Anhand der Hauptmessstelle Glatt vor Rhein lässt sich die langjährige Entwicklung der Wasserqualität beispielhaft aufzeigen. Die unterste Messstelle des AWEL an der Glatt befindet sich vor der Einmündung in den Rhein bei Rheinsfelden. Zwischen Rheinsfelden und der flussaufwärts gelegenen Messstelle bei Oberglatt leiten 4 ARA gereinigtes Abwasser in die Glatt (ARA Niederglatt, ARA Bülach, ARA Glattfelden, ARA Stadel-Windlach). Die Wasserqualität im

Längsverlauf der Glatt verändert sich dadurch kaum und entspricht in etwa den Verhältnissen bei Oberglatt. Nur die Nitratkonzentrationen steigen unterhalb der ARA-Einleitungen jeweils noch etwas an. Seit Beginn der Messreihe nahmen aber die Nitratkonzentrationen bei der Hauptmessstelle deutlich ab und erfüllen die Zielvorgabe seit Ende 2001 grösstenteils. Auch die Anforderungen für Phosphat und Gesamtphosphor können seit dem Jahr 2002 mehrheitlich eingehalten werden. Der Rückgang der Ammoniumkonzentrationen im Jahr 1992 ist auf den Ausbau der ARA Kloten-Opfikon zurückzuführen. Seit 1997 konnten die Zielvorgaben für Ammonium stets eingehalten werden. Der Zustand bezüglich Nitrit ist seit 2005 durchwegs sehr gut. Die erfreuliche Verbesserung der Wasserqualität in der Glatt ist auf die Inbetriebnahme der Nitrifikation und Denitrifikation in mehreren ARA im Einzugsgebiet der Glatt sowie die Inbetriebnahme des Stollens zur Ableitung des Abwassers aus Zürich Nord im Jahre 2001 zurückzuführen.

Die Einleitung von Enteiserabwässern vom Flughafenareal führt im Winter immer wieder zu erhöhten DOC-Werten in der Glatt, weshalb die Zielvorgaben für DOC in den meisten Jahren nicht eingehalten werden können. Das Konzept zur Behandlung der Enteiserabwässer sieht drei verschiedene Entsorgungswege vor:

- Externe Entsorgung oder Aufbereitung der stark belasteten Fraktion
- Verregnung der mittelstark belasteten Fraktion auf dem Flughafengelände
- Retentionsfilterbecken für die gering belastete Fraktion

Ein grosser Anteil dieser Massnahmen wurde bereits umgesetzt. Mit Abschluss der Arbeiten Ende 2014 wird die DOC-Fracht, die in die Glatt gelangt, um 95% reduziert sein.



QUALITÄT

SCHWERMETALLE

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Die Schwermetalle Kupfer, Nickel, Zink und Chrom sind als Spurenelemente für die Lebewesen essentiell, d.h. sie sind für bestimmte biologische Prozesse zwingend erforderlich, ansonsten treten Mangelerscheinungen auf. Sie dürfen in den Gewässern aber nur in sehr niedrigen Konzentrationen vorliegen, da sonst toxische Effekte auftreten können. Blei, Cadmium und Quecksilber werden für keine Zellfunktionen benötigt. Sie wirken bereits in Konzentrationen im Mikrogrammbereich pro Liter akut toxisch.

Schwermetalle gelangen aus verschiedenen Quellen in die Umwelt. Kupfer und Zink sind als Baumaterialien bei Gebäudehüllen und in Hausinstallationen weit verbreitet. Der Abrieb von Bremsen, Reifen und Strassenbelägen enthält Kupfer, Zink und Cadmium. Bahnlinien tragen vor allem zur Kupferbelastung bei. Erhöhte Bleikonzentrationen in Böden entlang von Strassen sind hauptsächlich auf die Verbrennung bleihaltiger Treibstoffe zurückzuführen, die ab 1955 im Einsatz waren, bis 1985 das Bleiverbot für Treibstoffe in Kraft trat. In industriellen Prozessen wird eine Vielzahl von Schwermetallen verwendet und auch aus belasteten Standorten wie Industriebetrieben, Depo- nien und Unfallstandorten können Schwermetalle in die Umwelt freigesetzt werden.

Schwermetalle werden über verschiedene Wege in die Gewässer eingetragen. Aus der Industrie gelangen Schwermetalle trotz betriebsinterner Abwasservorbehandlung in die ARA. Angelagert an Klärschlamm- partikel wird der grösste Anteil der Schwermetalle zwar aus dem Abwasser entfernt; ein kleiner Teil gelangt jedoch mit dem gereinigten Abwasser kontinuierlich in die Gewässer. Auch von belasteten Standorten können über Sickerwasser Schwermetalle in die Gewässer eingetragen werden. Zu einer Schwermetallbelastung durch Strassenabwasser, Entlas-

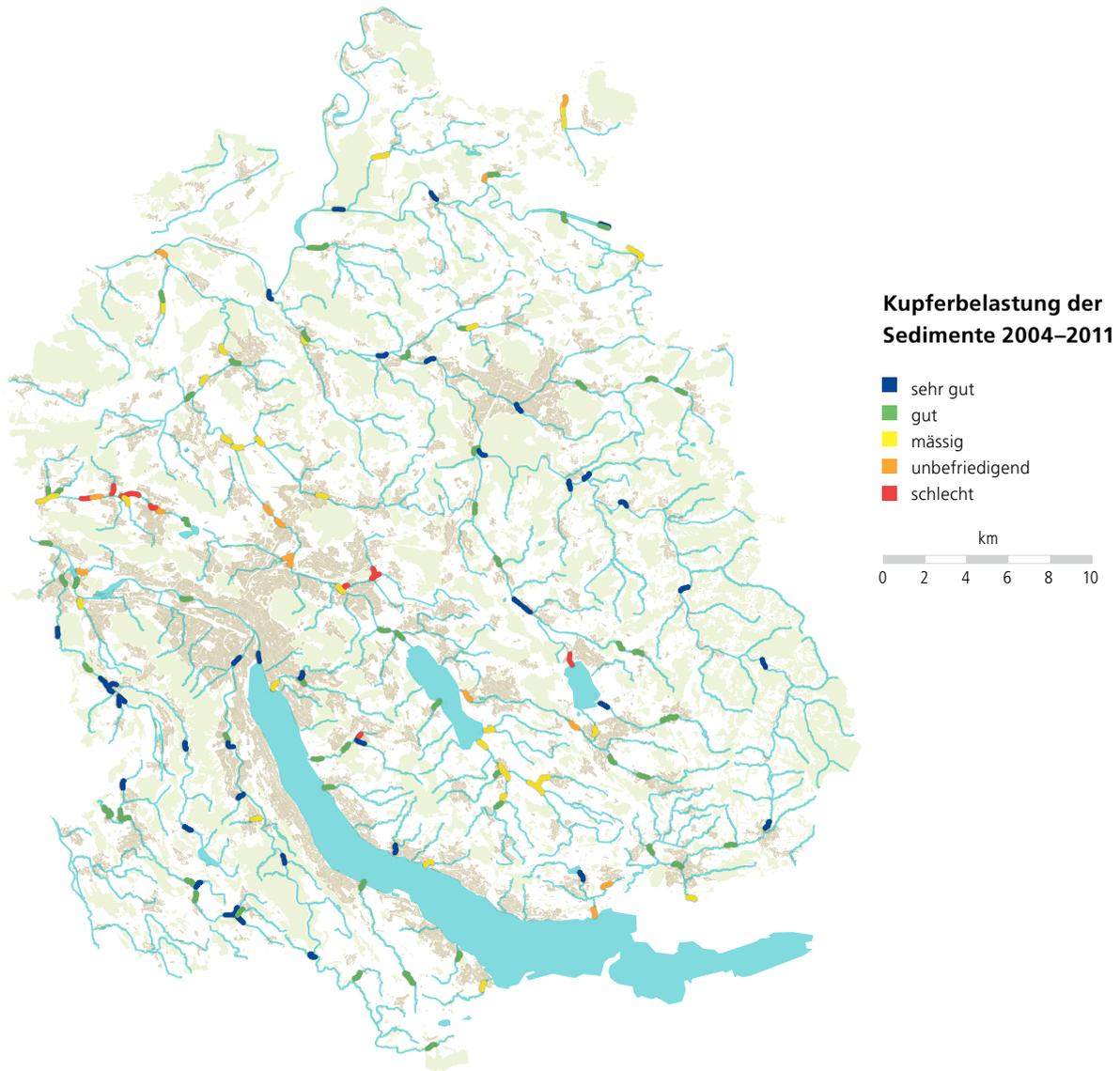
tungen aus der Kanalisation und Abschwemmungen von Kupfer und Zink aus Baumaterialien kommt es dagegen ausschliesslich bei Regenereignissen.

Für die Erfassung der maximalen Schwermetallbelastung wäre deshalb eine ereignisbezogene Probenahme erforderlich, was jedoch im Rahmen eines Routineprogramms nicht möglich ist. Da Schwermetalle an feine Partikel adsorbieren, welche teilweise an strömungsberuhigten Stellen im Fließgewässer sedimentieren, werden deshalb nicht nur Wasserproben, sondern auch Sedimente zur Erfassung der Schwermetallbelastung verwendet.

BEURTEILUNG

Schwermetalle im Wasser

Nur bei 8 von 160 Untersuchungsstellen wurden bei einmalig genommenen Stichproben Kupfer- oder Zinkkonzentrationen gemessen, welche die numerischen Anforderungen der GSchV überschritten. Alle anderen Schwermetalle erfüllten die Anforderungen. Vier der acht Untersuchungsabschnitte wurden während Regenereignissen beprobt. Die erhöhten Konzentrationen im Wasser dürften daher eine Folge des verstärkten Schwermetalleintrags aus Strassenabwasser und Entlastungen aus der Kanalisation sein. In einem weiteren Untersuchungsabschnitt mit massiv erhöhten Konzentrationen konnte ein Betrieb als Verursacher lokalisiert werden. Sofortmassnahmen wurden getroffen und der Verursacher zur Sanierung der Abwasserhältnisse verpflichtet. Bei drei weiteren Untersuchungsabschnitten konnte noch nicht abschliessend geklärt werden, ob zusätzlich zur Hintergrundbelastung aus Siedlung und Verkehr weitere Belastungsquellen vorhanden sind.

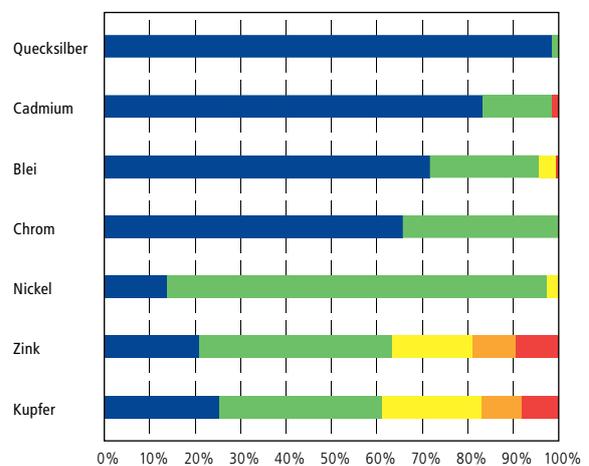


Schwermetalle im Sediment

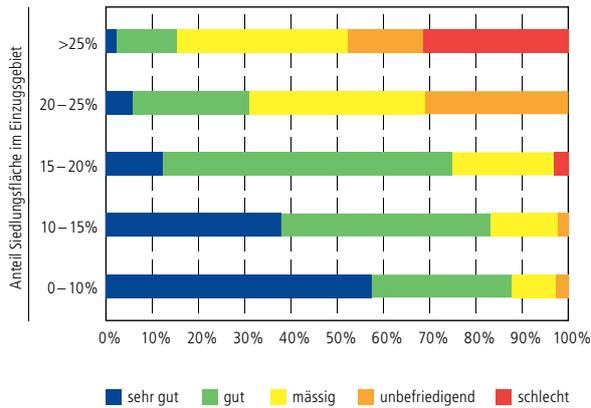
Da in der GSchV nur Anforderungen für die Schwermetallkonzentrationen im Wasser festgelegt sind, nicht aber für Sedimente, wurden für die Bewertung der Messresultate die Zielvorgaben der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für das Schutzgut Schwebstoffe und Sedimente verwendet [5]. Dazu wurden die Schwermetalle in der Fraktion < 0.063 mm untersucht.

Alle 161 Untersuchungsabschnitte erfüllten die Zielvorgaben für Quecksilber und Chrom. Die Anforderungen für Cadmium wurden in zwei, die Anforderungen für Nickel in drei und die Anforderungen für Blei in sieben Untersuchungsabschnitten nicht erfüllt. Kupfer und Zink dagegen konnten die Zielvorgaben in knapp 40% aller Abschnitte nicht erfüllen.

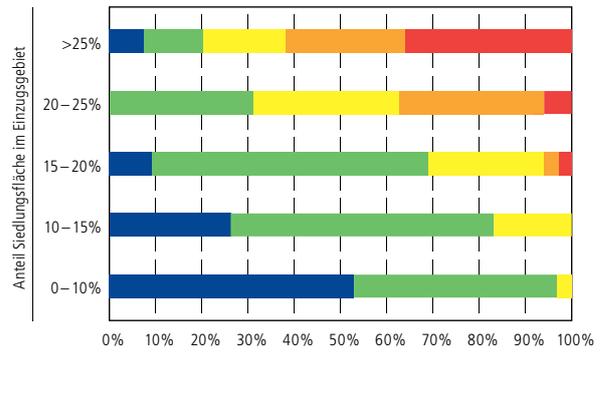
Schwermetallbelastung der Sedimente 2004-2011



Kupferbelastung in Abhängigkeit der Siedlungsdichte im Einzugsgebiet



Zinkbelastung in Abhängigkeit der Siedlungsdichte im Einzugsgebiet



Unsere bisherigen Untersuchungen zeigen, dass mit zunehmender Siedlungsfläche im Einzugsgebiet die Kupfer- und die Zinkbelastung der Sedimente stark ansteigt. 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 Rebbaufflächen die Hauptquellen der Belastung darstellen. Vielmehr dürften Baumaterialien und Verkehrsträger Hauptursache für die hohe Hintergrundbelastung sein. Abweichungen vom «normalen» Kupfer-Zink-Verhältnis können deshalb auf zusätzliche Belastungsquellen hinweisen.

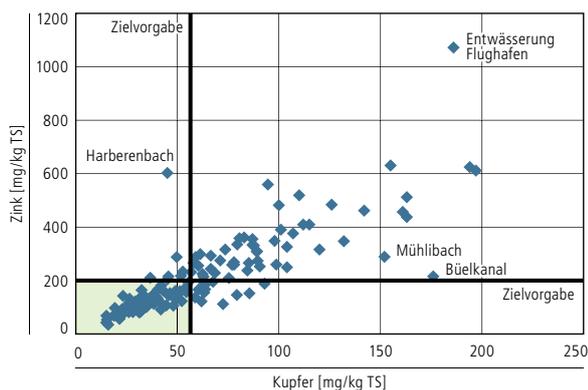
Im Büelkanal und im Mülibach, die beide in den Furtbach entwässern, wurden erhöhte Kupferkonzentrationen gemessen. In ihren Einzugsgebieten liegen mehrere Weinberge. Viele Böden in Rebbergen sind stark mit Kupfer belastet. Durch die Abschwemmung von kupferbelasteten Bodenpartikeln bei Regenereignissen kann Kupfer in die Fließgewässersedimente gelangen.

Eine starke Abweichung vom durchschnittlichen Kupfer-Zink-Verhältnis wurde an verschiedenen Messstellen festgestellt. Im Harberenbach vor Furtbach wurden erhöhte Zink- und Cadmiumkonzentrationen im Sediment und eine erhöhte Zinkkonzentration im Wasser festgestellt. Der verursachende Betrieb konnte identifiziert werden. Stark erhöhte Kupfer- und Cadmiumkonzentrationen traten in einem Entwässerungskanal auf, der einen Teil des Pisten- und Platzwassers des Flughafens Kloten aufnimmt.

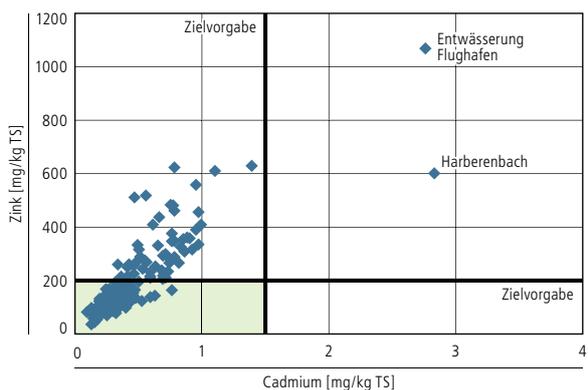
Leicht erhöhte Konzentrationen von Nickel traten in zwei Abschnitten der Reppisch und im Mülibach in Stammheim auf. Untersuchungen im Bereich eines belasteten Standortes im Einzugsgebiet der Reppisch zeigten, dass dieser nicht für die erhöhten Nickelkonzentrationen verantwortlich ist.

Der Leutschenbach und der Furtbach wiesen erhöhte Konzentrationen von Blei und Quecksilber auf. Die Zielvorgabe für Quecksilber wurde aber nicht überschritten. Im Einzugsgebiet des Leutschenbachs liegen mehrere belastete Standorte, deren Einfluss auf die Gewässer bisher nicht näher untersucht werden konnte. In den Furtbach entlasten mehrere Regenbecken und Regenüberläufe aus einem Industriegebiet, wo verschiedene metallverarbeitende Betriebe angesiedelt sind. Zudem gibt es gemäss dem Kataster

Verhältnis zwischen den Gehalten von Kupfer und Zink der Fließgewässersedimente (TS = Trockensubstanz)

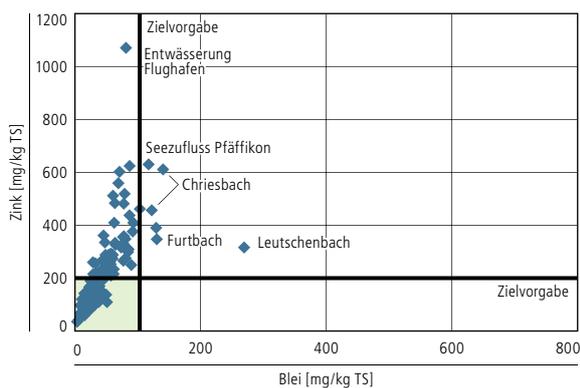
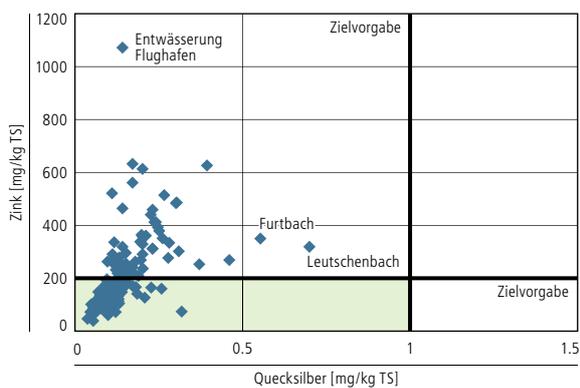
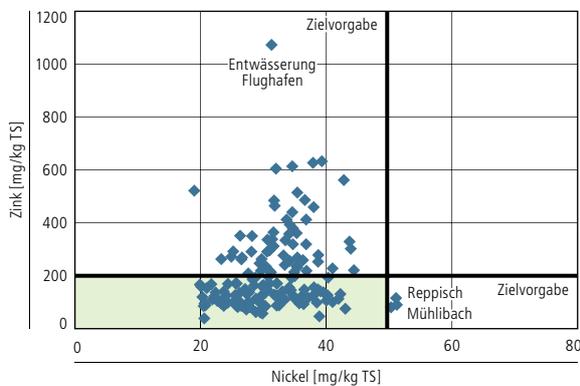


Verhältnis zwischen den Gehalten von Cadmium und Zink der Fließgewässersedimente (TS = Trockensubstanz)

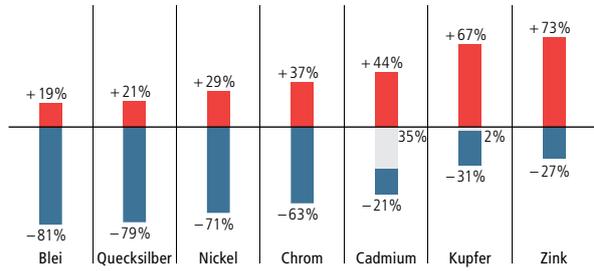


der belasteten Standorte (KbS) im näheren Einzugsgebiet mehrere Standorte, bei welchen in Bodenproben erhöhte Konzentrationen von Blei und anderen Schwermetallen nachgewiesen wurden. Aufgrund der Entwässerungsverhältnisse wurde eine Beeinträchtigung des Furtbachs durch diese Quellen bisher ausgeschlossen. Weitere Untersuchungen sind geplant, um die Herkunft der Quecksilber- und Bleibelastung im Furtbach und Leutschenbach sowie die erhöhten Bleikonzentrationen im Seezufluss in Pfäffikon und in mehreren Untersuchungsabschnitten im Chriesbach abzuklären.

Verhältnis zwischen den Gehalten von Kupfer und Zink, Quecksilber und Zink sowie Blei und Zink der Fließgewässersedimente (TS = Trockensubstanz)



ENTWICKLUNG DER SCHWERMETALLBELASTUNG



Anteil Untersuchungsabschnitte (n = 52) mit einer Zunahme (rote Balken), ohne Veränderung (graue Balken) und einer Abnahme (blaue Balken) der Schwermetallkonzentrationen im Vergleich zu den Untersuchungen von 1999-2002

Zwischen 1999 und 2002 wurden erstmals Sedimente von Fließgewässern auf Schwermetalle untersucht. Anhand von 52 Standorten, die zwischen 2004 und 2011 erneut untersucht wurden, lässt sich die Entwicklung der Schwermetallbelastung verfolgen. Während die Belastung mit Blei, Quecksilber, Nickel, Chrom und Cadmium in 56 bis 81% der Untersuchungsabschnitte gesunken oder gleich geblieben ist, hat der Gehalt an Kupfer und Zink in 67 respektive 73% der Untersuchungsabschnitte zugenommen. Die Konzentrationen der verschiedenen Schwermetalle haben sich an den einzelnen Untersuchungsstellen durchschnittlich wie folgt verändert:

Quecksilber	-16%
Blei	-16%
Nickel	-7%
Chrom	-6%
Cadmium	+13%
Zink	+16%
Kupfer	+17%

Quecksilber-, Blei-, Nickel- und Chrom gelangen aus industriellen Prozessen über die Luft oder über betriebliches Abwasser via ARA in die Gewässer. Blei wurde früher zusätzlich bei der Verbrennung bleihaltiger Treibstoffe freigesetzt. Die rückläufigen Konzentrationen weisen darauf hin, dass sich die getroffenen Massnahmen in der Industrie bezüglich Abwasservorbehandlung und Luftreinhaltung bewähren. Auch das Bleiverbot in Treibstoffen zeigt Wirkung.

In ARA werden rund 90% der Schwermetalle im Klärschlamm zurückgehalten. Trotzdem traten die höchsten Zunahmen an Zink, Kupfer und Cadmium unterhalb von ARA auf. Die steigenden Konzentrationen unterhalb von ARA dürften auf den zunehmenden Eintrag aus Siedlungs- und Verkehrsflächen zurückzuführen sein. Weitere Abklärungen zu Eintragspfaden und möglichen Verursachern sind erforderlich.



QUALITÄT

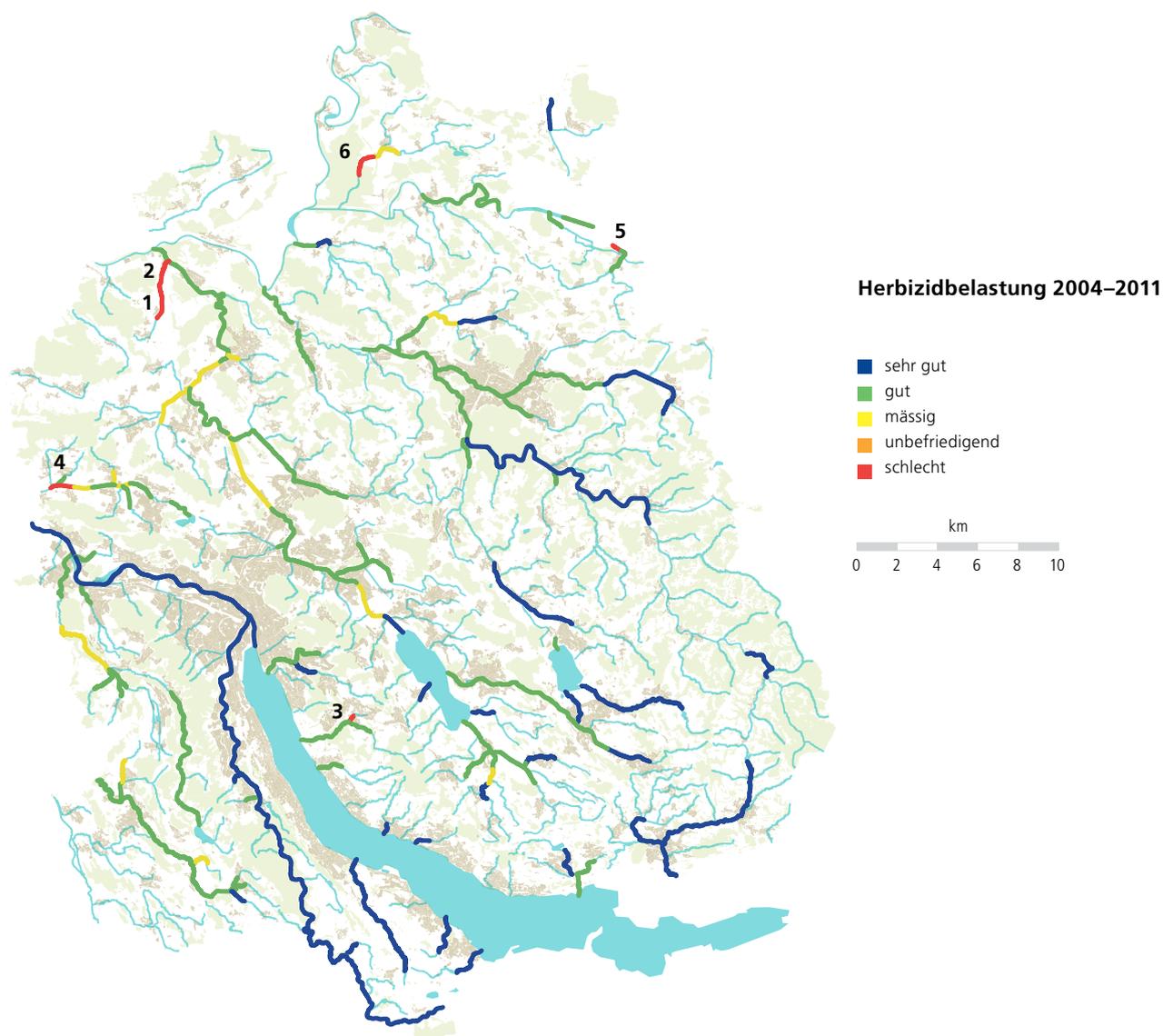
ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Unter organischen Mikroverunreinigungen versteht man ein breites Spektrum organischer Stoffe, die aufgrund menschlichen Wirkens in den Gewässern vorkommen, und die sich meist nur in Konzentrationen von Mikrogramm bis Nanogramm pro Liter im Wasser nachweisen lassen. Die meisten von ihnen stammen aus Produkten, die in Haus und Garten, in der Industrie, im Gewerbe oder in der Landwirtschaft verwendet werden, z.B. Desinfektions- und Reinigungsmittel, Pflanzenschutzmittel oder Biozidprodukte. Andere bedeutende Quellen für Mikroverunreinigungen sind Lebensmittelzusatzstoffe, Arzneimittel und Produkte für die Körperpflege. Zu den Mikroverunreinigungen gehören aber nicht nur synthetische Stoffe, sondern auch natürliche körpereigene Stoffe wie die Östrogene.

Einige Vertreter der Mikroverunreinigungen gefährden bereits in sehr tiefen Konzentrationen die Lebewesen im Wasser. Dazu gehören die Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten, die sogenannten Pestizide. Am Ort ihres Einsatzes sollen Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte unerwünschte Organismen abschrecken oder vernichten. Gelangen sie durch Abschwemmung, Versickerung, unsorgfältige Anwendung oder falsche Entsorgung in die unter- und oberirdischen Gewässer, entfalten die Pestizide auch dort ihre Wirkung. Sie gefährden Tiere und Pflanzen, die im Wasser leben, sowie die Qualität des Trinkwassers. Die Gewässerschutzverordnung fordert deshalb, dass die Konzentration von Pestiziden in Fließgewässern oder im Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, den Wert von 0.1 µg/l je Einzelstoff nicht überschreitet.

In den Messkampagnen 2004 bis 2011 hat man rund sechzig Pestizide und einige ihrer Abbauprodukte untersucht. Die Bäche und Flüsse des Kantons Zürich wurden an 149 Stellen beprobt, wobei den Gewässern an jeder Messstelle während zwei aufeinanderfolgenden Jahren von März bis Oktober monatlich eine Stichprobe entnommen wurde. Um von den Analyseresultaten der Wasserproben zu einer Bewertung der Wasserqualität an einer Messstelle zu gelangen, wurden für diesen Bericht zwei Methoden angewendet. Die Erste beruht auf dem Belastungsindex, der sich am Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung orientiert. Er ist ein Mass dafür, wie viele Verbindungen in den Proben einer Messstelle in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts gefunden wurden. Die zweite Methode beruht auf substanzspezifischen, wirkungsbasierten Qualitätskriterien einer Reihe von Herbiziden und Insektiziden. Beide Methoden wurden in früheren Berichten ausführlich beschrieben [1].



BEURTEILUNG DER WASSERQUALITÄT

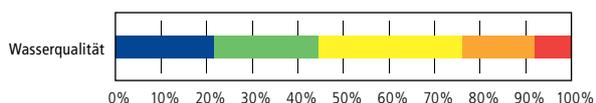
Belastungsindex (GSchV):

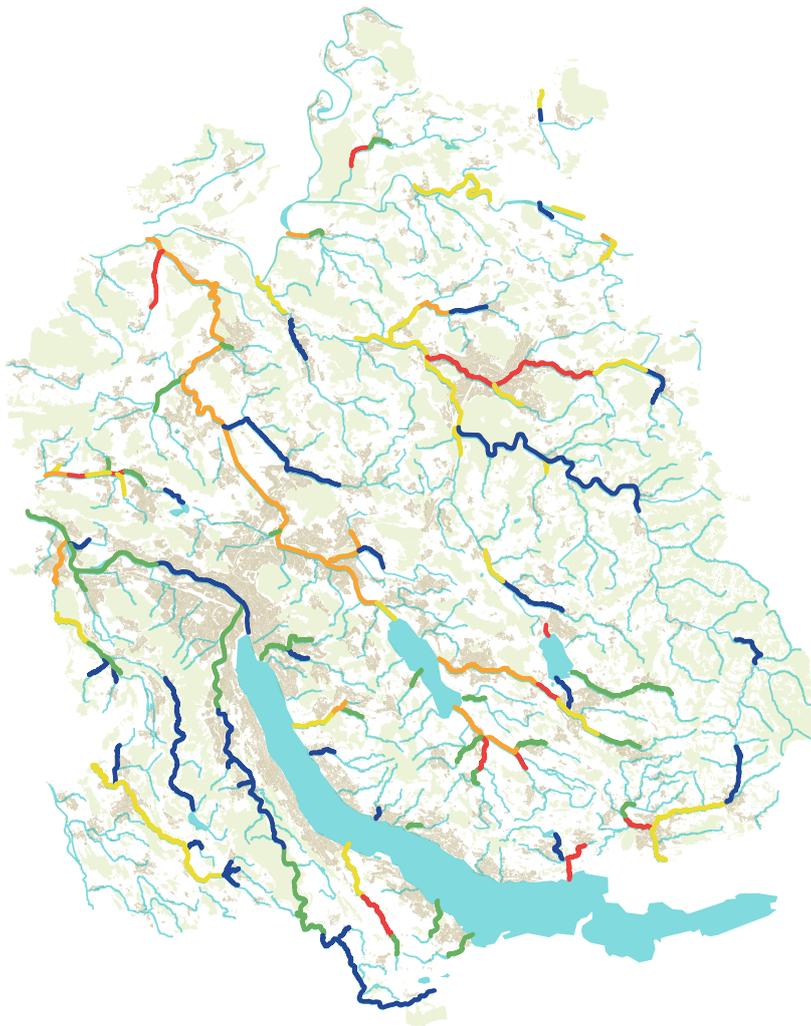
Bezüglich des Belastungsindex wiesen 45% der Messstellen eine sehr gute oder gute Wasserqualität auf. Das heisst, an diesen Stellen überschritten während den zweijährigen Untersuchungsperioden höchstens sieben Messwerte den Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung. Von 9% musste die Wasserqualität als schlecht beurteilt werden, was bedeutet, dass an diesen Stellen während den zweijährigen Untersuchungsperioden mehr als 23 Überschreitungen des Anforderungswerts vorlagen. Die Messstelle Niederwiesenbach nach ARA Marthalen zeigte die höchste Belastung, gefolgt von den Stellen Furtbach vor ARA Otelfingen und Chliweidlibach nach ARA Zumikon.

Wirkungsbezogene Qualitätskriterien (Herbizide und Insektizide):

Nimmt man die wirkungsbezogenen Qualitätskriterien für die Herbizide als Bewertungsmassstab, wiesen 84% der Messstellen eine sehr gute oder gute Wasserqualität auf, 12% eine mässige und 4% eine schlechte. Bei den sechs Stellen, deren Wasserqualität als schlecht beurteilt wurde, handelte es sich um den Dorfbach bei Windlach vor (1) und nach (2) ARA Stadel, den Chliweidlibach nach ARA Zumikon (3), den Furtbach vor ARA Otelfingen (4), den Ellikerbach nach ARA Ellikon (5) und den Niederwiesenbach nach ARA Marthalen (6).

Beurteilung der Wasserqualität gemäss Belastungsindex (GSchV) 2004–2011





**Insektizidbelastung
2004–2011**

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht

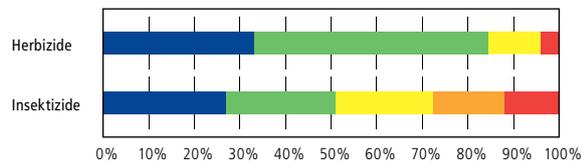


EINFLUSS VON ARA

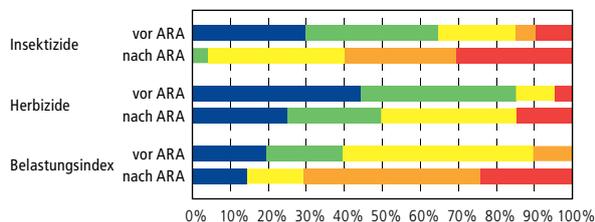
Aufgrund der wirkungsbezogenen Qualitätskriterien für die Insektizide wurde die Wasserqualität bei 51% der Messstellen als sehr gut bzw. gut beurteilt, bei 37% als mässig oder unbefriedigend und bei 12% als schlecht. Insektizide sind in der Regel hochwirksame Stoffe, die in einem Gewässer bereits in Spuren Insekten, Krebse und allenfalls Fische schädigen können. Sie führen deshalb in sehr viel tieferen Konzentrationen als die Herbizide zu einer schlechten Wasserqualität.

Die Bewertung der Wasserqualität mit Hilfe von Belastungsindex und wirkungsbezogenen Qualitätskriterien kann dazu benutzt werden, den Einfluss von ARA auf die Fliessgewässer abzuschätzen. Vergleicht man die Wasserqualität unterhalb und oberhalb von ARA, stellt man fest, dass sie unterhalb in fast allen Fällen schlechter ist als oberhalb. Das deutet darauf hin, dass mit dem Abwasser Pestizide in die ARA gelangen, wo sie nur unvollständig abgebaut oder zurückgehalten werden. Mit dem gereinigten Abwasser werden sie dann in die Gewässer eingetragen.

Beurteilung der Herbizid- und Insektizidbelastung 2004–2011



Insektizid- und Herbizidbelastung sowie Belastungsindex gemäss GSchV oberhalb und unterhalb von 20 ARA zwischen 2004–2011



Das Abwasser, das in den ARA gereinigt wird, kommt hauptsächlich aus den Siedlungsgebieten. Sein hoher Gehalt an Pestiziden deutet darauf hin, dass die privaten Verwender von Pflanzenschutzmitteln oft ungenügend vertraut sind mit dem umweltgerechten Umgang mit diesen Produkten. Reste von Pflanzenschutzmitteln oder Spritzbrühen werden über die Kanalisation statt als Sonderabfall entsorgt, oder Messbecher und Spritzgeräte werden im Lavabo gereinigt. Zudem ist zu wenig bekannt, dass die Verwendung von Unkrautvertilgungsmitteln auf befestigten Flächen verboten ist. Werden diese Mittel auf Strassen, Wegen und Plätzen sowie Dächern oder Terrassen ausgebracht, schwemmt sie der nächste Regen in die ARA oder direkt ins Gewässer. Aber auch aus der Landwirtschaft können Pestizide in die ARA gelangen, wenn z.B. Spritzgeräte auf einem Hofplatz gereinigt werden, dessen Entwässerung an die Schmutzwasserkanalisation angeschlossen ist.



WELCHE PESTIZIDE SIND HAUPTSÄCHLICH VERANTWORTLICH FÜR DIE BELASTUNG?

Fünf Verbindungen wurden in mehr als der Hälfte aller Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden, nämlich Atrazin, seine beiden Abbauprodukte Desethylatrazin und 2,6-Dichlorbenzamid, DEET und Mecoprop. Das Herbizid Atrazin, das vor allem im Maisanbau eingesetzt wurde, darf in der Schweiz nicht mehr verwendet werden, nachdem seine Aufbrauchfrist am 30. Juni 2011 abgelaufen ist. Allerdings ist zu befürchten, dass sein Ersatzstoff, das Terbutylazin, zukünftig vermehrt in den Gewässern auftreten wird. Dies ist insofern problematisch, als Terbutylazin für aquatische Organismen toxischer ist als Atrazin. Bei DEET handelt es sich nicht um ein Pestizid im eigentlichen Sinne, sondern um ein Repellent. Darunter versteht man ein Mittel, das schädliche oder lästige Organismen wie z.B. Mücken abwehrt. DEET ist weit verbreitet in Publikumsprodukten wie Insektensprays und Sonnenschutzmitteln oder in Produkten zum Schutz von Haus- und Nutztieren.

Mecoprop schliesslich, das der Bekämpfung von Unkraut dient, kommt sowohl in der Landwirtschaft als auch auf Zier- und Sportrasen zum Einsatz. Es wird zudem in Abdichtmassen von Flachdächern verwendet und kann von dort mit dem abfliessenden Regenwasser in die Gewässer gelangen. Mecoprop war die Verbindung, die am häufigsten in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der Gewässerschutzverordnung gefunden wurde. In 14% der Proben überschritt seine Konzentration den Wert von 0.1 µg/l. Die Konzentrationen von 2,6-Dichlorbenzamid überschritten den Anforderungswert am zweithäufigsten, gefolgt von Atrazin und DEET. Zu den Verbindungen, die selten, dafür aber in hohen Konzentrationen auftraten, gehörten MCPB, Metamitron, Dimethoat, Chloridazon und Metobromuron.

Glyphosat, ein in der Schweiz häufig verwendetes Totalherbizid, konnte im Rahmen des Gewässermonitorings wegen der aufwändigen und speziellen Analytik nicht berücksichtigt werden. Aus verschiedenen Messkampagnen ist aber bekannt, dass auch Glyphosat regelmässig in hohen Konzentrationen nachgewiesen wird.

Wirkstoffgruppe	Verbindung	Anteil Proben mit Messwerten > 0.1 µg/l [%]	höchster Wert [µg/l]	CQK [µg/l]	AQK [µg/l]	ZV LAWA [µg/l]
Herbizid	Chloridazon	2.21	20.00			
Herbizid	Mecoprop	13.93	11.47			50
Herbizid	Metamitron	3.02	10.58			
Herbizid	Metolachlor	3.20	9.82	0.3	4.4	0.2
Herbizid	Terbutylazin	2.06	5.61	0.38	3.1	0.5
Herbizid	MCPB	0.39	5.26			
Insektizid	Dimethoat	0.31	4.04	0.026	1.38	0.2
Repellent	DEET	5.91	3.98			
Herbizid	MCPA	2.37	3.62			
Herbizid	Diuron	3.02	2.74	0.15	1.3	0.05
Herbizid	Atrazin	6.00	2.54	1.8	15	
Herbizid	Ethofumesat	0.83	2.51			
Herbizid	Dimethenamid	0.53	2.39	0.11	1.6	
Herbizid	Linuron	0.88	2.20	0.32	2.6	0.3
Herbizid	Simazin	0.92	2.13	2.8	23	0.1
Herbizid	Bentazon	1.05	2.13			70
Herbizid	Propachlor	0.44	2.11	0.09	1.4	
Herbizid	Dimethachlor	0.18	2.08			
Herbizid	Isoproturon	2.80	1.93	0.27	2.2	0.3
Fungizid	Azoxystrobin	1.68	1.63			
Herbizid	Metobromuron	0.66	1.52			
Herbizid	Alachlor	0.04	1.07			
Fungizid	Metalaxyl	0.53	0.82			
Insektizid	Diazinon	1.58	0.81	0.0027	0.14	
Herbizid	Chlortoluron	0.22	0.74	0.57	4.7	0.4
Herbizid	2,4-D	0.92	0.62			2
Herbizid	Propyzamid	2.22	0.60			
Insektizid	Pirimicarb	0.09	0.58			
Herbizid	Fluroxypyr	0.18	0.58			
Herbizid	Metazachlor	1.23	0.55	0.13	1.9	0.4
Herbizid	Terbutryn	0.22	0.51	0.17	1.4	
Abbauprodukt	2,6-Dichlorbenzamid	7.87	0.49			
Herbizid	Napropamid	1.80	0.49			
Fungizid	Carbendazim	0.53	0.42			
Abbauprodukt	Desethylatrazin	1.14	0.39			
Fungizid	Propiconazol	0.35	0.36			
Herbizid	Dichlobenil	0.36	0.29			
Fungizid	Penconazol	0.13	0.29			
Herbizid	Triclopyr	0.61	0.28			
Herbizid	Pendimethalin	0.13	0.22			
Fungizid	Oxadixyl	0.04	0.15			
Fungizid	Fenpropimorph	0.04	0.14			
Herbizid	Monolinuron	0.13	0.13			
Antifouling	Irgarol_1051	0.04	0.12			
Abbauprodukt	Desisopropylatrazin	0.19	0.11			

Pestizide und Abbauprodukte, die mindestens einmal in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der Gewässerschutzverordnung von 0.1 µg/l gemessen wurden (CQK Qualitätskriterium für chronische und AQK für akute Toxizität, ZV = Zielvorgabe der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser; LAWA).



Bach mit Algenwucherung

QUALITÄT

ÄUSSERER ASPEKT

UNTERSUCHUNGSMETHODE

Mit dem BAFU - Modul Äusserer Aspekt [7] wird der Gewässerzustand bezüglich der Kenngrössen Eisensulfidflecken, heterotropher Bewuchs, Schlamm, Schaum, Trübung, Verfärbung, Geruch, Veralgung und Kolmation erfasst. Positive Befunde dieser Parameter können Hinweise auf übermässige Abwasserbelastungen aus ARA, Regenentlastungen oder Fehlan schlüsse von Abwasserleitungen geben. Der Äussere Aspekt wurde im Frühling und im Herbst gleichzeitig mit der Probenahme für die Untersuchungen der Kieselalgen und der Makroinvertebraten erhoben.

EISENSULFIDFLECKEN

Bei fortgeschrittener Sauerstoffzehrung durch den Abbau organischer Verbindungen bilden sich an der Unterseite von Steinen schwarze Eisensulfidflecken, die als Indikator für Sauerstoffmangel in der Gewässersohle gelten. Eisensulfidflecken wurden vor allem in kleinen Seitenbächen des Furtbachs sowie an mehreren Stellen in der Glatt und in der Kempt gefunden. Generell tritt Eisensulfid vor allem an strömungsberuhigten, flachen Stellen auf, an denen sich viel organisches Feinmaterial ansammelt.

HETEROTROPHER BEWUCHS

Der heterotrophe Bewuchs umfasst Pilze, Bakterien und Protozoen, die vom Abbau organischer Stoffe leben. Ursachen für dessen Bildung können Einleitungen von Rohabwasser oder ungenügend gereinigtem Abwasser, Siloabwasser oder Gülleabschwemmung sein. Ein geringer heterotropher Bewuchs kann auch natürlicherweise an strömungsberuhigten Stellen auftreten, z.B. als Folge des Laubfalls im Herbst. Massenvorkommen von heterotrophem Bewuchs, wie sie bis zu Beginn der Achtzigerjahre an Fließgewässern noch

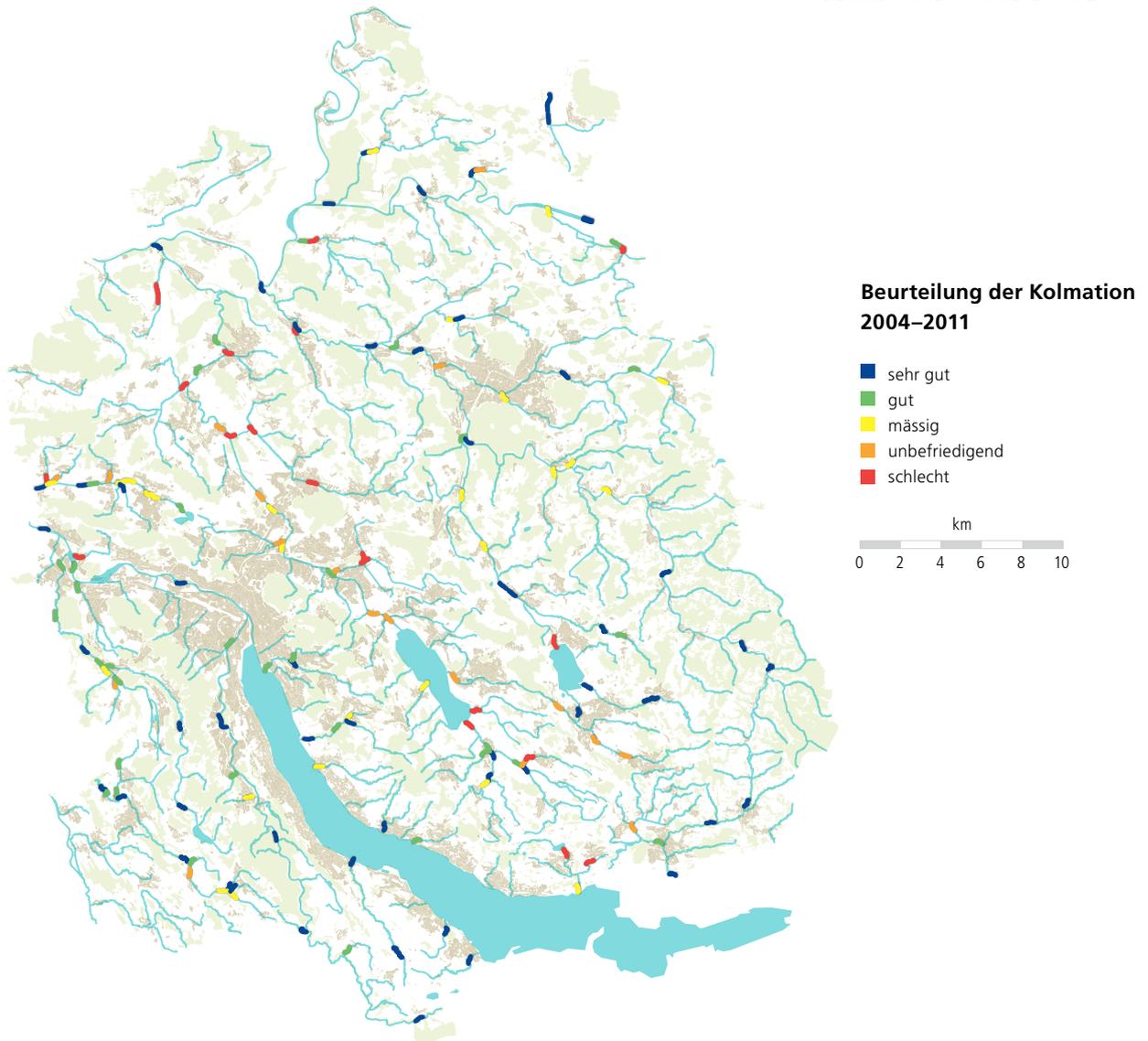
zu beobachten waren, wurden seit Beginn der regelmässigen biologischen Untersuchungen im Jahr 1995 im ganzen Kanton nicht mehr angetroffen.

SCHLAMM

Eine Verschlammung der Gewässersohle kann durch direkten Eintrag von Schwebstoffen aus ARA oder durch Ausschwemmung von Feinpartikeln aus dem Einzugsgebiet verursacht werden. Beim Abbau von Falllaub oder durch Ablagerung von abgestorbenen Algen und Wasserpflanzen kann sich auch natürlicherweise Schlamm bilden. Beim Abfluss aus dem Katzensee kam es im Furtbach aufgrund des geringen Gefälles zu einer erhöhten Ansammlung von Schlamm. Auch an anderen Stellen im Furtbach und einigen Seitengewässern wurden Schlammablagerungen festgestellt. Bei Regenwetter kommt es hier sehr häufig zu Entlastungen aus der Kanalisation, wodurch ungeklärtes Abwasser in den Furtbach gelangt, was die Schlamm bildung begünstigt. Im übrigen Kantonsgebiet wurde nur an vereinzelt Stellen Schlamm vorgefunden, so z. B. in der Glatt, im Himmelbach beim Flughafen oder im Chriesbach bei Dübendorf.

SCHAUM, TRÜBUNG UND VERFÄRBUNG

Geringe Mengen Schaum wurden an verschiedenen Fließgewässern beobachtet. Da die Schaumbildung auch natürliche Ursachen haben kann, ist eine schwache Ausprägung dieses Merkmals nichts Aussergewöhnliches. Trübungen oder Verfärbungen wurden an wenigen Stellen nach starken Niederschlägen oder in Gewässern, die aus moorigem Gelände abfliessen, festgestellt. Beide Fälle stellen natürliche Ursachen dar.



VERALGUNG

Algen sind ganzjährig in jedem Fließgewässer zu finden. Sie bilden die Futterbasis für viele Insektenlarven und Schnecken. Um grössere Kolonien oder fädige Wuchsformen bilden zu können, benötigen Algen ein stabiles Substrat wie zum Beispiel grössere Steine. Eine starke Veralgung kommt vorwiegend in monotonen Bachbetten vor. Sie wird begünstigt durch eine hart verbaute Bachsohle mit fehlendem Geschiebetrieb, fehlende Beschattung wegen Mangel an Ufergehölzen und in geringerem Mass durch eine ungenügende Wasserqualität. Eine starke Veralgung ist unerwünscht, da sie die Verschlammung und die Kolmation der Gewässersohle begünstigt. Starke Veralgungen wurden an mehreren Stellen im Einzugsgebiet der Glatt und in der Kempt sowie an einigen weiteren Probestellen unterhalb von ARA gefunden.

KOLMATION / VERKALKUNG

Kolmation bezeichnet die Verstopfung der feinen Hohlräume in der Gewässersohle durch kleine Partikel. Häufig handelt es sich um Bodenpartikel, welche durch Erosion ins Gewässer gespült werden. Kolmation kann jedoch auch durch die Einleitung von ungenügend gereinigtem Abwasser, durch Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung, durch Abschwemmung von Abrieb von Strassenflächen, durch bauliche Tätigkeiten im Gewässer oder nicht fachgerechtes Ableiten von Baustellenabwasser verursacht werden. In Bächen, die zu Kalkausfällung neigen (Sinter), kann Kolmation auch natürlicherweise auftreten. Der Porenraum der Gewässersohle ist der Lebensraum vieler Makroinvertebraten und ist auch für die ersten Jugendstadien der Fische von grosser Bedeutung. Ein freier Porenraum fördert zudem den Wasseraustausch zwischen Fließgewässer und Grundwasser. Hochwasser mit Geschiebetrieb haben durch Umlagerung der Gewässersohle eine reinigende Wirkung. Hart verbaute Gewässer mit fixiertem Böschungsfuss und Stabilisierung der Sohle durch Abstürze oder gar flächigen Verbauungen haben hingegen eine starke Tendenz zur Kolmation. Eine starke Kolmation der Gewässersohle wurde an verschiedenen Stellen im Einzugsgebiet der Glatt und des Furtbachs festgestellt.



QUANTITÄT/DYNAMIK UND LEBENSRAUM

WASSERFÜHRUNG

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. Dies vermindert den Fortpflanzungserfolg vieler Wassertiere. Zu geringe Restwassermengen führen im Sommer auch zu deutlich höheren Temperaturen im Gewässer, was diese für manche Tiere wie z.B. die Bachforelle unbewohnbar machen kann.

Schwallbetrieb mit periodischen Hochwasserspitzen als Folge kurzzeitig erhöhter Stromproduktion kann Fischlarven und Kleintiere in untiefe Bereiche am Ufer schwemmen, wo sie bei Sunk anschliessend trocken fallen und verenden. Schwallbetrieb führt auch zu unnatürlichen 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 also noch nicht aufgrund des Moduls Hydrologie – Abflussregime des Modul-Stufen-Konzeptes des BAFU [8].

BEURTEILUNG

Im Kanton Zürich spielen unnatürliche Abflussverhältnisse eine eher untergeordnete Rolle. Die Problematik beschränkt sich auf wenige Gewässerabschnitte. Beeinträchtigte Abflussverhältnisse wiesen beispielsweise der Furtbach unterhalb von Buchs sowie die Jonen ober- und unterhalb der ARA Zwillikon auf. Der Furtbach dient zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen und des Golfplatzes Otelfingen. Zwischen Buchs und Otelfingen sind zurzeit 12 Konzessionen zur Wasserentnahme für Bewässerungszwecke vergeben. Die Konzessionen müssen 2013 erneuert werden.

In der Jonen oberhalb der Einleitung der ARA Zwillikon führt der Betrieb eines Kraftwerkes zu sprunghaften Veränderungen der Abflussmengen (Schwall/Sunk). Wasser aus der Jonen wird in einem Teich aufgestaut. Während dieser Zeit wird die Jonen nur mit Restwasser gespiesen (Sunk) und das Abwasser aus der ARA Zwillikon nur ungenügend verdünnt. Wenn der Teich voll ist, wird das Wasser turbinert und gelangt als Schwall in die Jonen. Die Abflussverhältnisse oberhalb und unterhalb der ARA Zwillikon wurden deshalb als schlecht respektive unbefriedigend beurteilt.

Unnatürliche Wasserführungen wiesen auch der Aabach bei Wetzikon, die Jona und die Sihl auf. Am Aabach zwischen Pfäffikersee und Greifensee wird im Rahmen der geplanten Sanierung der historischen Kraftwerkskette in den kommenden fünf Jahren vom heutigen Schwall-/Sunkbetrieb auf einen gleichmässigen Betrieb umgestellt und die Restwassermenge erhöht. Das an der Jona befindliche Kraftwerk oberhalb Rüti erhält eine neue Konzession, die einen Betrieb nach den Vorgaben des GSchG voraussetzt. Die Sihl ist beeinflusst durch das Abflussregime und die Regulierung des Sihlsees sowie die Restwasserstrecken bei den Kraftwerken Waldhalden, Im Schiffli und Manegg.



QUANTITÄT/DYNAMIK UND LEBENSRAUM

ÖKOMORPHOLOGIE

UNTERSUCHUNGSMETHODE

Der Begriff Ökomorphologie beinhaltet die Beschreibung der strukturellen Gegebenheiten im und am Gewässer (Gewässergestalt, Verbauungen, Umland) sowie die Bewertung dieser Strukturen in Hinblick auf die Funktion des Gewässers als Lebensraum.

Zur Bestandsaufnahme und als Planungsgrundlage wurden im Kanton Zürich in den Jahren 1997 bis 1999 flächendeckende Erhebungen an den öffentlichen Gewässern nach der Methode Ökomorphologie Stufe F durchgeführt [9]. Im Jahr 2005 wurden im Rahmen eines Pilotprojekts zur Nachführung der ökomorphologischen Erhebungen die Daten im Einzugsgebiet des Greifensees und des Fischbachs bei Niederglatt aktualisiert. In den Jahren 2009 bis 2011 wurden rund 1500 km Gewässer im restlichen Kantonsgebiet aktualisiert. Dies entspricht rund 40% der öffentlichen Gewässer im Kanton Zürich. Die Daten der übrigen Gewässer wurden von der Ersterhebung 1997–99 übernommen und auf das aktuelle Gewässernetz von 2011 übertragen.

Das revidierte Gewässerschutzgesetz (GSchG) und die Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom Jahr 2011 verlangen von den Kantonen bis Ende 2013 eine strategische Planung künftiger Revitalisierungsprojekte für die nächsten 20 Jahre. Darin soll aufgezeigt werden, welche Fließgewässer prioritär zu revitalisieren sind. Weiter ist bis Ende 2018 entlang der Gewässer ein minimaler Raumbedarf festzulegen, der in Zukunft nur noch in Ausnahmefällen bebaut, und der nur extensiv gestaltet und bewirtschaftet werden darf. Die neu erhobenen Daten der Ökomorphologie stellen eine wichtige und aktuelle Datengrundlage zur Planung und Priorisierung von Revitalisierungsprojekten sowie zur Festlegung des Raumbedarfs dar.

BEURTEILUNG

Das Netz der öffentlichen Fließgewässer weist im Kanton Zürich eine Gesamtlänge von 3776 Kilometern auf (Stand 2011). Davon sind 1236 km (34.6 %) in natürlich/naturnahem Zustand, 735 km (20.5 %) sind wenig beeinträchtigt, 477 km (13.3 %) sind stark beeinträchtigt, 208 km (5.8 %) weisen einen naturfremd/künstlichen Zustand auf und 920 km (25.7 %) sind eingedolt. 200 km sind nicht klassierbar (Gewässerlinien in Seen und Weihern oder in unzugänglichen Gebieten).

Seit der ersten Erhebung in den Jahren 1997 bis 1999 nahm bei den klassierbaren Abschnitten der Anteil der natürlich/naturnahen und wenig beeinträchtigten Strecken um 3.1 % (117 km) zu. Die stark beeinträchtigten und naturfremd/künstlichen Abschnitte gingen gleichzeitig um 1.7 % (57.5 km) zurück, die eingedolten Abschnitte verringerten sich um 1.4 % (46.8 km), wobei diese Verringerung teilweise auf Korrekturen im digitalisierten Gewässernetz und nicht auf tatsächliche Ausdolungen im Gelände zurückzuführen ist.

Die leichte Verbesserung des ökomorphologischen Zustands ist vor allem auf wasserbauliche Massnahmen zurückzuführen. Dazu gehören neben der Öffnung eingedolter Abschnitte die Revitalisierung von stark beeinträchtigten oder naturfremd/künstlichen Abschnitten sowie naturnahe Hochwasserschutzmassnahmen. In einigen Fällen führte auch der Zerfall von alten, harten Verbauungen oder das Einwachsen der Vegetation zu einer Verbesserung des ökomorphologischen Zustands.



natürlich/naturnaher ökomorphologischer Zustand



wenig beeinträchtigter ökomorphologischer Zustand

Am grössten ist der Anteil naturnaher oder nur wenig beeinträchtigter Gewässer in den Einzugsgebieten von Thur und Töss (61%) sowie an der Reppisch (61%). An der Reppisch betrug dieser Anteil bei der Erstaufnahme in den Jahren 1997–99 noch 56%. Diverse grössere Revitalisierungsprojekte brachten eine deutliche Verbesserung der Ökomorphologie in dieser als Schwerpunktgebiet für naturnahe Fliessgewässer definierten Region [10].

Im Einzugsgebiet von Sihl und Zürichsee liegt der Anteil naturnaher und wenig beeinträchtigter Gewässer bei 60%. Die meisten dieser Abschnitte befinden sich im Sihltal.

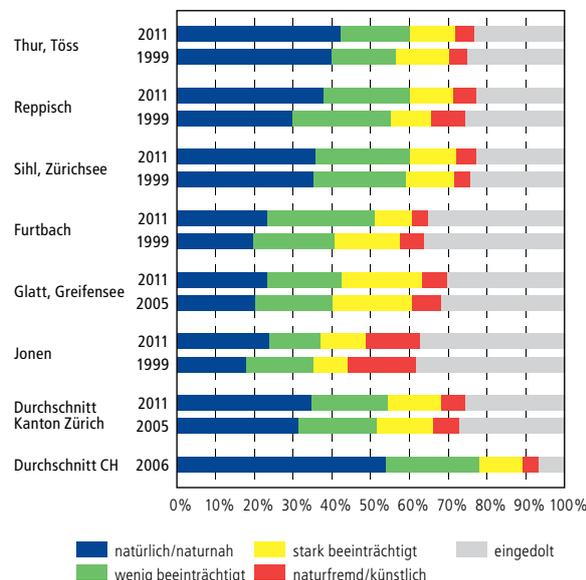
Im Furttal liegt der Anteil naturnaher und wenig beeinträchtigter Gewässer mit 51% tiefer als in den oben erwähnten drei Gebieten. Allerdings konnte dieser Anteil im Furttal in den letzten Jahren durch verschiedene Revitalisierungen um 10% erhöht werden; 1999 betrug der Wert lediglich 41%.

Im Einzugsgebiet Glatt/Greifensee weisen mit nur 43% naturnahen und wenig beeinträchtigten Abschnitten mehr als die Hälfte der Gewässer grosse strukturelle Defizite auf. Im dicht besiedelten Glatttal besteht wenig Platz für Verbesserungen. Der Anteil naturnaher und wenig beeinträchtigter Gewässer verbesserte sich hier seit der Ersterhebung denn auch nur um 2.7%.

Im Einzugsgebiet der Jonen sind schliesslich nur noch 38% der Gewässerabschnitte in naturnahem oder wenig beeinträchtigtem Zustand. Auffallend hoch ist in diesem Einzugsgebiet der Anteil eingedolter (35%) und naturfremd/künstlicher Abschnitte (13%).

Hochrechnungen auf der Basis von 24 Kantonen ergaben im Jahr 2006 für die gesamte Schweiz einen Anteil von 79% naturnaher und wenig beeinträchtigter Gewässer [11]. Der Kanton Zürich liegt mit nur 52% deutlich unter dem landesweiten Mittel. Die hohe Besiedlungsdichte und die intensive Landwirtschaft führen zu einer eng-räumigen Landnutzung. Vor allem der Anteil eingedolter Gewässer ist im Kanton Zürich mit 26% massiv höher als im landesweiten Mittel (7%). Auch dies zeugt von der starken Landbeanspruchung im Kanton Zürich auf Kosten der Gewässer.

Einzugsgebiete im Kanton Zürich und ihr ökomorphologischer Zustand 2011 im Vergleich zu 1999



Details zur ökomorphologischen Bewertung sowie zur Lage und Art der Durchgängigkeitsstörungen sind im GIS-Browser des Kantons Zürich abrufbar:

www.gis.zh.ch > GIS Browser > Thema: Ökomorphologie, Gewässer

Die Daten können im Geodaten-Shop des GIS Zentrums bezogen werden: www.gis.zh.ch > Geodaten-Shop

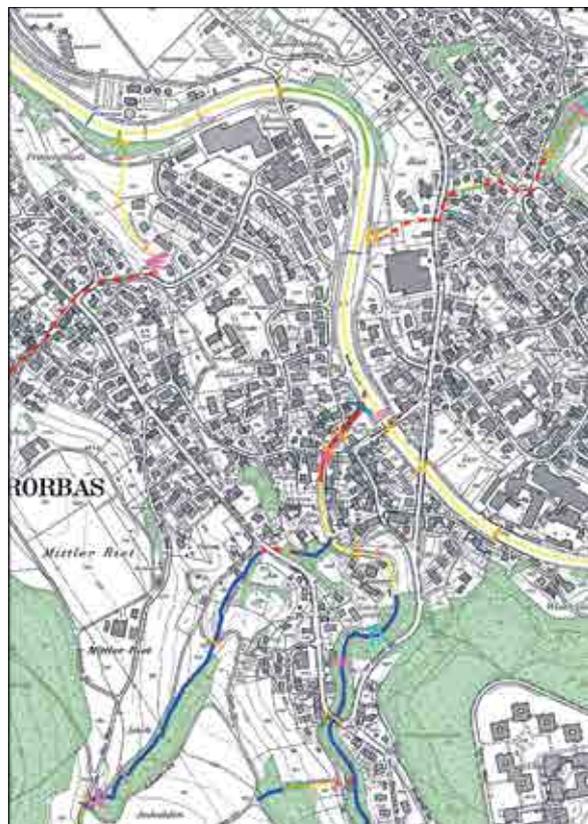


stark beeinträchtigter ökomorphologischer Zustand



FLIESSGEWÄSSER | ÖKOMORPHOLOGIE

naturfremd/künstlicher ökomorphologischer Zustand



Beispielhafte Darstellung von ökomorphologischen Daten

Abschnittsbewertung

- natürlich/naturnah
- wenig beeinträchtigt
- stark beeinträchtigt
- naturfremd/künstlich
- - - eingedolt
- - - - - nicht klassifiziert

Abstürze

- | natürlich (bis 70 cm)
- | natürlich (über 70 cm)
- | künstlich (bis 70 cm)
- | künstlich (über 70 cm)

Bauwerke

- | Sohlrampe rau (bis 70 cm)
- | Sohlrampe rau (über 70 cm)
- | Bauwerk mit Absturz (bis 70 cm)
- | Bauwerk mit Absturz (über 70 cm)
- | Bauwerk ohne Absturz



Mikroskopisches Bild lebender Kieselalgen



Beprobter Stein mit Aufwuchs von Kieselalgen

BIOLOGISCHER ZUSTAND

KIESELALGEN

ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG UND UNTERSUCHUNG

Die einzelligen Kieselalgen bewachsen ganzjährig die Steine der Gewässersohle von Bächen und Flüssen und können unter günstigen Voraussetzungen dichte Biofilme bilden. Sie besitzen Schalen aus Kieselsäure, welche mechanisch wie chemisch sehr beständig sind. Die Bestimmung der Arten erfolgt bei 1000-facher Vergrößerung im Mikroskop aufgrund der artspezifischen Schalenmerkmale.

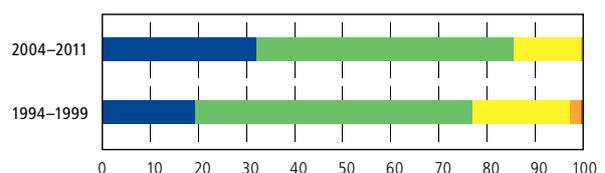
Die Zusammensetzung des Kieselalgenbewuchses hängt stark von der Wasserqualität ab. Bei Veränderungen der Wasserqualität erfolgt eine charakteristische Verschiebung des Artenspektrums und damit der relativen Häufigkeiten der Arten, wobei sich nach wenigen Wochen wieder eine stabile Gemeinschaft einstellt. Die vom BAFU 2006 publizierte Methode Kieselalgen Stufe F [12] ermöglicht eine biologische Beurteilung der Wasserqualität aufgrund des Kieselalgenbewuchses. Der Index erlaubt eine Aussage über die Belastung des Wassers mit Nährstoffen und organisch leicht abbaubaren Stoffen. Kieselalgenproben stellen damit eine ideale Ergänzung zu chemischen Untersuchungen dar, welche anhand von Stichproben die Wasserqualität beurteilen. Für das Gewässermonitoring werden im Kanton Zürich seit 1995 Kieselalgen untersucht. Jeweils im März und im Oktober werden Proben genommen und mit der BAFU-Methode ausgewertet. Für den Vergleich der Stellen und die geografische Übersicht wurde jeweils der Mittelwert der Frühjahrs- und Herbstprobe verwendet.

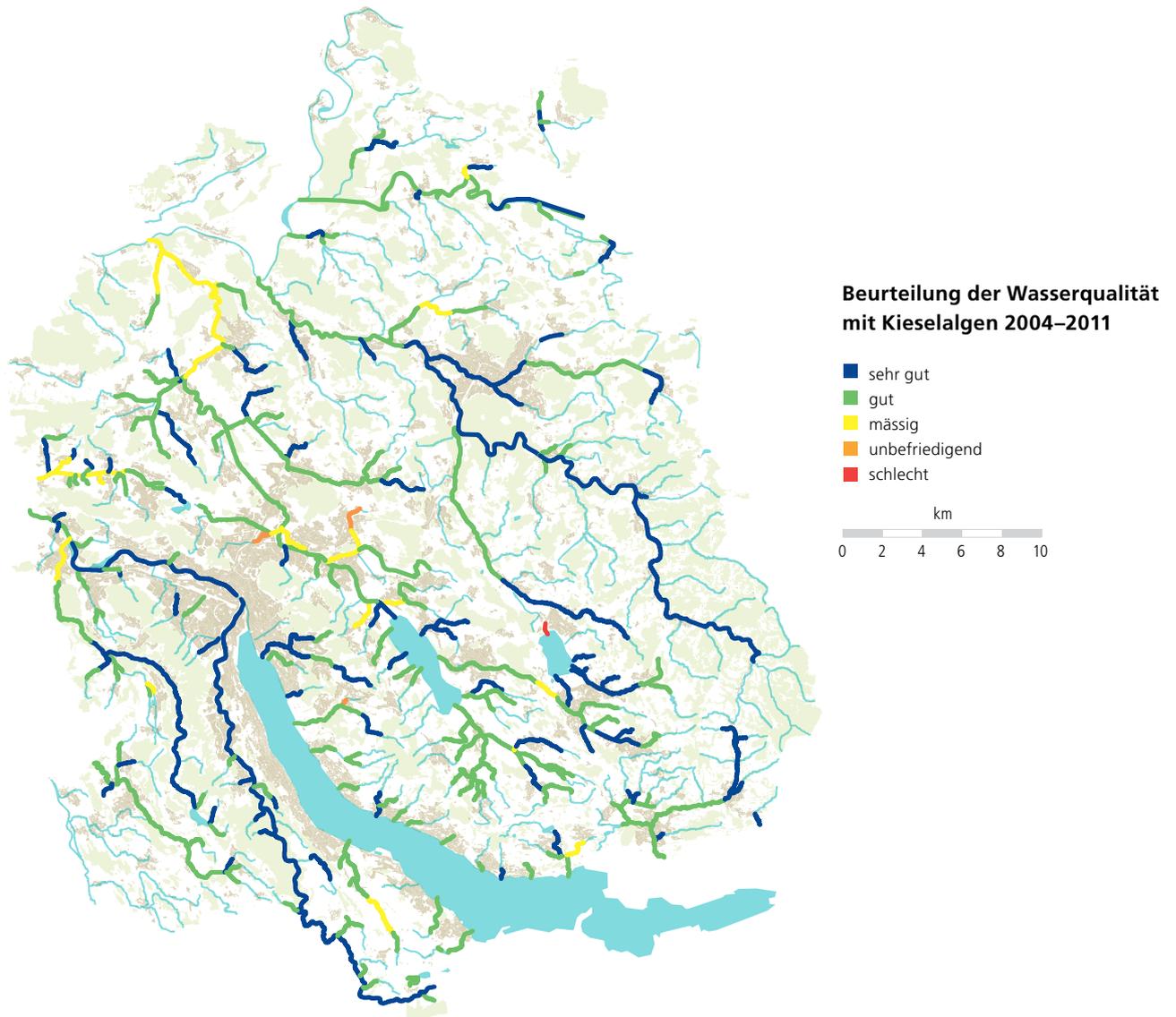
Neben den 154 Stellen, welche in der Periode 2004 bis 2011 mit chemischen Stichproben untersucht wurden, konnten an 155 kleinen Fließgewässern Kieselalgenproben ausgewertet werden. Zusammen mit dem Äusseren Aspekt konnte damit bei diesen Stellen beurteilt werden, ob bisher unerkannte Belastungen vorliegen, welche weitergehende Abklärungen erfordern.

BEURTEILUNG

In den Jahren 1995 bis 1999 wurden 147 Stellen untersucht, welche im Programm 2004 bis 2011 wiederum beprobt wurden. Der Vergleich der beiden Perioden dokumentiert aufgrund der biologischen Indikation eine deutliche Verbesserung der Wasserqualität. Der Anteil der Stellen mit einer guten bis sehr guten Wasserqualität stieg von 77% auf 87%. In der Periode 2004 bis 2011 konnten 14% der Stellen die Anforderungen an die Wasserqualität knapp nicht erfüllen. In der Vorperiode lag dieser Anteil noch bei 20%. In den Jahren 1994 bis 1999 lag im Furtbach nach der ARA Regensdorf und vor der ARA Otelfingen sowie im Chliweidlibach nach der ARA Zumikon eine unbefriedigende Wasserqualität vor. Dem Klausbach nach der ARA Bubikon-Wolfhausen musste sogar die schlechteste Beurteilungsstufe zugewiesen werden. Bei diesen vier Stellen wurde in der Periode 2004 bis 2011 der Chliweidlibach wiederum als unbefriedigend beurteilt. Bei den anderen drei Stellen wurde eine mässige Wasserqualität indiziert.

Beurteilung der Wasserqualität mit Kieselalgen; Zustand von 1994–1999 im Vergleich zu 2004–2011 (n=147)





Die Karte zeigt die geografische Übersicht aller in der Periode 2004 bis 2011 untersuchten Gewässerabschnitte. Eine mässige oder unbefriedigende Wasserqualität wurde durch Kieselalgen vereinzelt unterhalb von ARA mit einer schlechten Verdünnung von gereinigtem Abwasser durch Bachwasser indiziert. Schlechte Verhältnisse mussten im Jahr 2005 beim Seezufluss in den Pfäffikersee nach der ARA festgestellt werden. Auch kleine Bäche, die kein gereinigtes Abwasser aufnehmen, können eine ungenügende Wasserqualität aufweisen. Verursacht werden diese Belastungen meist durch häufige Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter oder Einleitung von Strassenabwasser. Fehlanschlüsse von häuslichem Abwasser wurden keine festgestellt.

Bei den mittleren und grossen Fließgewässern ist neben den bereits erwähnten Abschnitten am Furtbach der Unterlauf der Glatt und die Reppisch bei Dietikon zu erwähnen, welche die Anforderungen an die Wasserqualität gemäss der biologischen Beurteilung knapp nicht erfüllen konnten.



BIOLOGISCHER ZUSTAND

MOOSE UND WASSERPFLANZEN

ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG UND UNTERSUCHUNG

Moose und höhere Wasserpflanzen (Makrophyten) 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 sie die Strukturvielfalt in den Gewässern und dienen Algen, Invertebraten und Fischen als Lebensraum.

Zusammensetzung und Dichte der Pflanzenbestände hängen von verschiedenen Faktoren ab. Dabei spielen die Besonnung, die Strömungsgeschwindigkeit, die Substratzusammensetzung der Gewässersohle, die Nährstoffverhältnisse und die Wassertemperatur eine zentrale Rolle.

Werden die natürlichen Bedingungen im Fließgewässer durch anthropogene Einflüsse verändert, zeigt die Vegetation unterschiedliche Reaktionen. Zum einen kann sich die Artenzusammensetzung ändern, zum anderen können die Pflanzen auf eine Veränderung des Lebensraums mit einer Erhöhung oder Verminderung ihrer Gesamtbiomasse reagieren. Wasserpflanzen und Moose wachsen je nach Art eine oder mehrere Vegetationsperioden am selben Ort und können damit Veränderungen des Lebensraums anzeigen, die über längere Zeiträume stattgefunden haben.

Seit dem Jahr 2000 wurden insgesamt 587 Untersuchungsabschnitte kartiert. Um Grundlagen über das Vorkommen von Wasserpflanzen und deren Entwicklung zu erarbeiten, erfolgten die Aufnahmen vorzugsweise an Stellen, die bereits in den Siebzigerjahren untersucht wurden [13]. Die Untersuchungsergebnisse dienten dazu, eine Methode zur Bewertung der Fließgewässervegetation zu erarbeiten [14]. Erst damit konnte im Rahmen der vertieften Untersuchungen in den Einzugsgebieten auch die aquatische Vegetation beurteilt werden.

HÄUFIGKEIT UND REGIONALE VERBREITUNG DER VEGETATIONSTYPEN

Im Kanton Zürich gibt es zahlreiche verschiedenartige Fließgewässer. Kleine, steile und stark beschattete Tobelbäche, langsam fließende, wenig beschattete Wiesenbäche, grosse Flüsse wie die Thur und die Limmat, um nur die Extreme zu nennen. Aufgrund der vorherrschenden, unterschiedlichen Lebensbedingungen werden die Gewässer von verschiedenen Pflanzen besiedelt. Die Gesamtheit aller Pflanzen an einem Standort wird als Vegetationstyp bezeichnet.

Mit der aktuellen Methode können im Kanton Zürich fünf Vegetationstypen voneinander abgegrenzt werden, die unterschiedlich häufig sind:

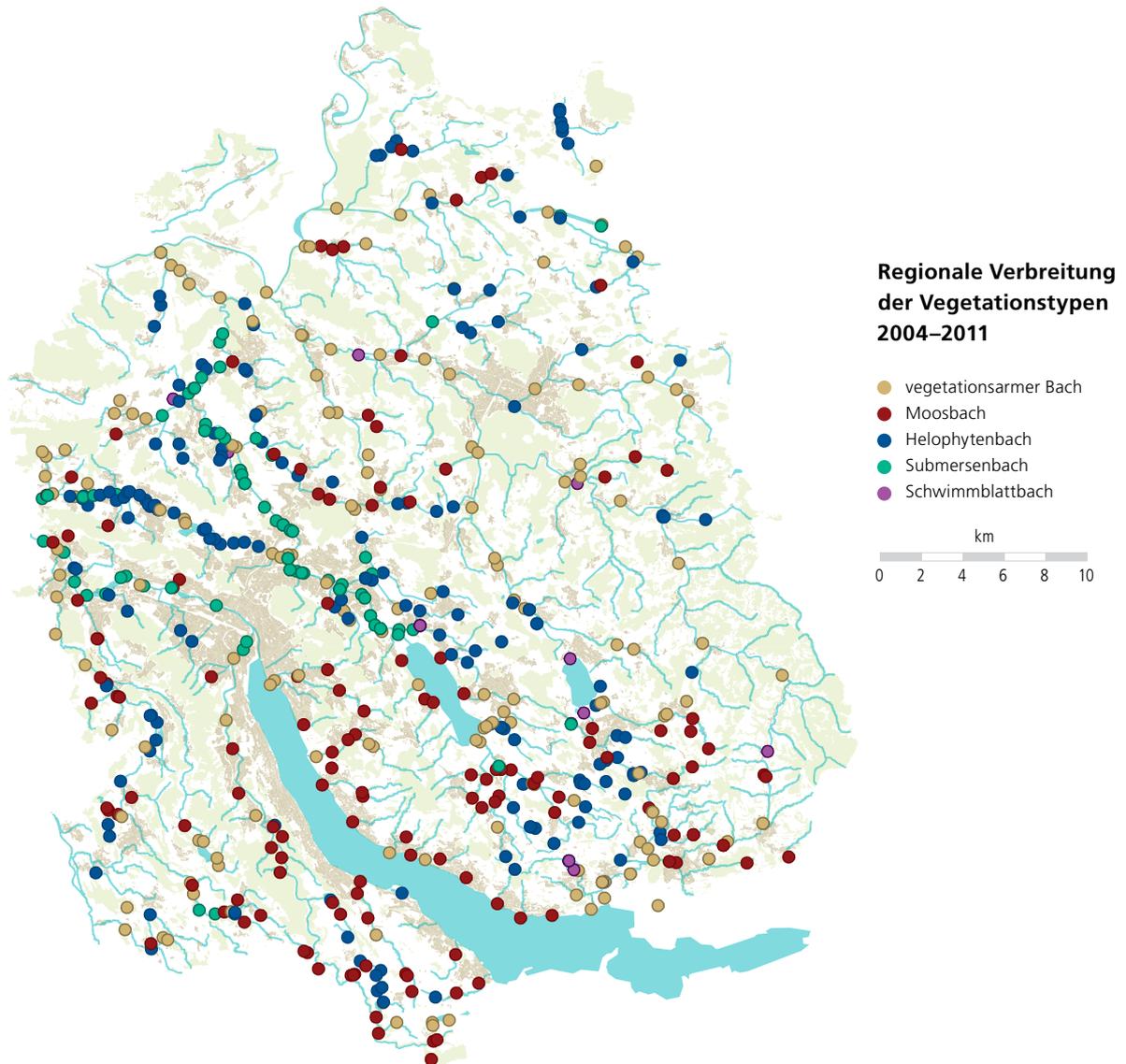
161 Untersuchungsabschnitte wurden dem Typ des vegetationsarmen Bachs zugeordnet. In diesem häufig beschatteten Bach mit beweglichem Sohlensubstrat finden weder Moose noch höhere Wasserpflanzen geeignete Wachstumsbedingungen vor, er ist natürlicherweise vegetationsfrei oder -arm. Dieser Vegetationstyp ist im ganzen Kanton verbreitet, wie auch der Vegetationstyp des Moosbachs (n=144), in welchem Moose dominieren. Der Moosbach ist ebenfalls häufig beschattet, weist aber im Gegensatz zum vegetationsarmen Bach eine stabile Gewässersohle auf, wo sich die Moose mittels Haftorganen verankern können. Gewässer vom Typ Helophytenbach kommen ebenfalls im ganzen Kanton vor (n=177). Dieser Bachtyp wird vorzugsweise von aufrecht wachsenden Sumpfpflanzen (Helophyten) besiedelt. Wir finden diesen Vegetationstyp nur in wenig beschatteten Gewässerabschnitten mit mässigem Gefälle und kleiner Wassertiefe oder im Uferbereich grösserer Flüsse. Im Gegensatz zu all diesen Vegetationstypen ist der Typ des Submersenbaches nur im flachsten Teil des Kantons vorhanden, vor allem im Limmat-, Glatt- und Furttal (n = 92).



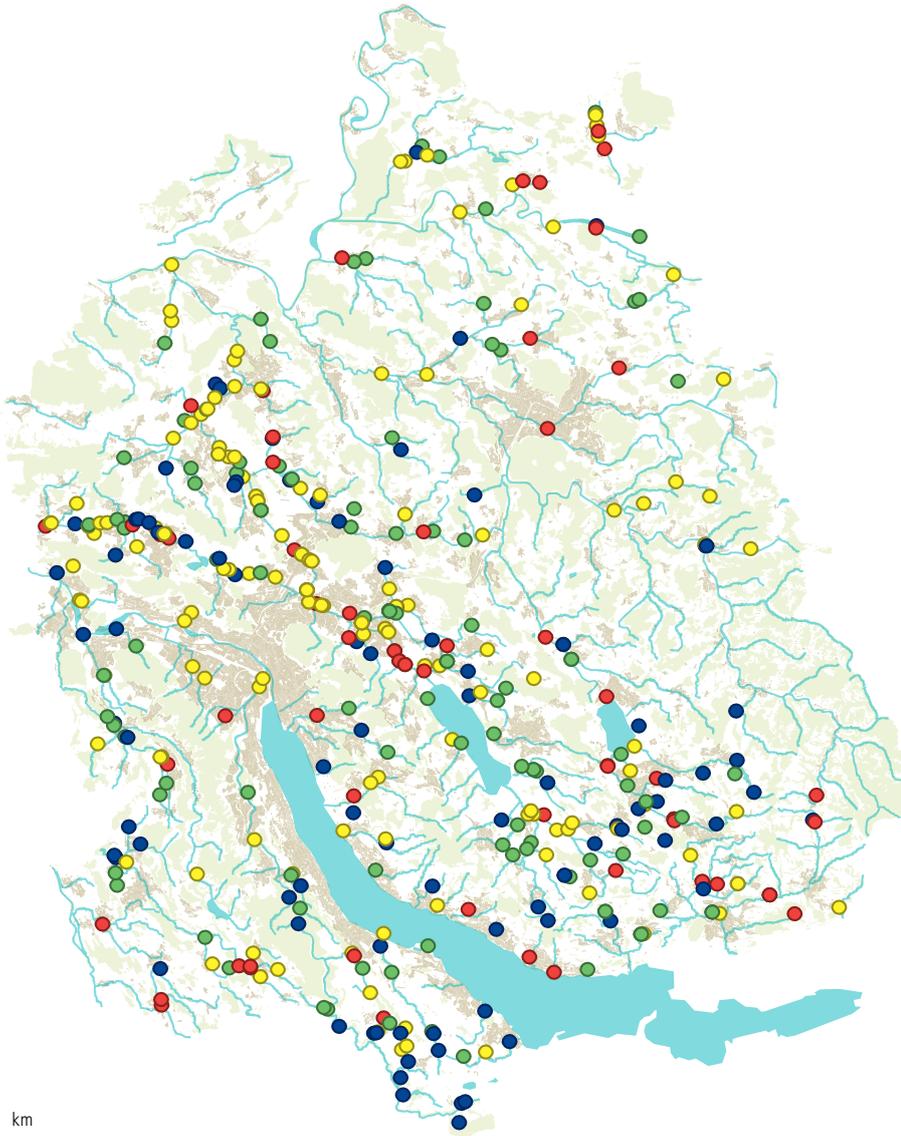
Schwimmendes Laichkraut (*Potamogeton natans*)



Haarblättriger Hahnenfuss (*Ranunculus trichophyllus*) und Wassersellerie (*Berula erecta*)



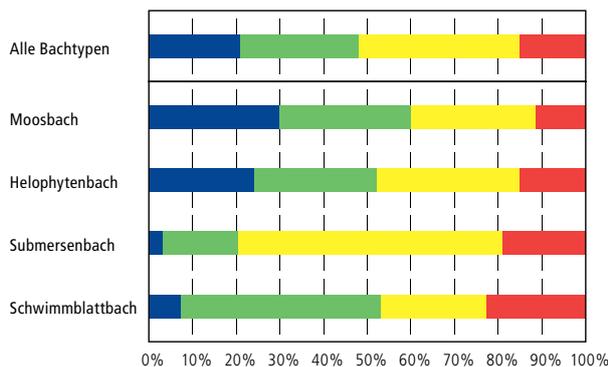
Im Submersenbach dominieren untergetauchte Wasserpflanzen (Submerse). Der typische Submersenbach ist ein wenig beschattetes Gewässer mit kleinerem Gefälle und höherem Abfluss und Wassertiefe als der Helophytenbach. Vereinzelt finden wir auch Gewässer vom Typ Schwimmblattbach (n=13), der eine Übergangsform zu den stehenden Gewässern darstellt. In diesem Vegetationstyp dominieren aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten Wasserpflanzen mit grossen Schwimmblättern.



**Beurteilung der Vegetation
2004–2011**

- sehr gut
- gut
- mässig
- schlecht

**Zustand der Vegetation für alle Bachtypen gemeinsam
(n=426) und nach Bachtypen getrennt 2004–2011**



BEURTEILUNG DER VEGETATION

Die Beurteilung der Vegetation erfolgt für jeden Vegetationstyp getrennt durch Vergleich des Istzustandes mit einem Referenzzustand. Der Typ des vegetationsarmen Bachs (n=161) wird methodenbedingt nicht bewertet. Betrachtet man alle Bachtypen zusammen (n=426), befinden sich 51% der Gewässerabschnitte in einem mässig oder schlechten Zustand. Getrennt nach Vegetationstypen zeigt die Bewertung grosse Unterschiede:

Bei den Moosbächen (n=144) fanden wir mit 60% den höchsten Anteil an Gewässerabschnitten in sehr gutem oder gutem Zustand. Bei den Helophytenbächen (n=177) sind 52%, bei den Submersenbächen (n=92) dagegen nur gerade knapp ein Fünftel aller Abschnitte in einem guten oder sehr guten Zustand.

Wie bei allen biologischen Indikatoren lässt sich bei Vorliegen eines ungenügenden Zustandes häufig keine eindeutige Ursache zuweisen. Für die aquatische Vegetation trifft diese Aussage ganz besonders zu, weil die Erfassung der fliessgewässervegetation bis vor kurzem nicht zum Standardprogramm von Gewässeruntersuchungen gehörte und unser Wissen entsprechend klein ist. Trotzdem gibt es bereits Hinweise auf einige Faktoren, die den Zustand der Vegetation massgeblich beeinflussen.



Ausgebauter Abschnitt im Furtbach mit 7 Wasserpflanzenarten: Die Gewässerstruktur wird als stark beeinträchtigt, die Vegetation als mässig beurteilt.



Renaturierter Abschnitt im Furtbach mit 12 Wasserpflanzenarten: Die Gewässerstruktur wird als natürlich/naturnah, die Vegetation als sehr gut beurteilt.

ABHÄNGIGKEIT DER VEGETATION VON DER GEWÄSSERSTRUKTUR

Die Vegetation befindet sich in strukturell beeinträchtigten oder naturfremd/künstlichen Abschnitten häufiger in einem mässigen oder schlechten Zustand als in ökomorphologisch intakten Abschnitten. Von total 393 Untersuchungsabschnitten wiesen 66 Abschnitte einen natürlich/naturnahen ökomorphologischen Zustand auf. In 68% dieser Abschnitte befand sich auch die Vegetation in einem guten oder sehr guten Zustand. 230 Abschnitte wiesen einen naturfremd/künstlichen oder stark beeinträchtigten ökomorphologischen Zustand auf. In 62% all dieser Abschnitte war auch die Vegetation in einem ungenügenden Zustand.

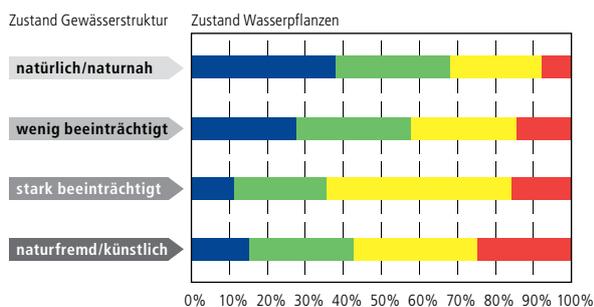
In vor 20 Jahren revitalisierten Gewässerabschnitten des Furtbachs wurden durchschnittlich 12 Wasserpflanzenarten gefunden und die Vegetation als sehr gut beurteilt. Im Gegensatz dazu wurden in ausgebauten Abschnitten nur sieben Arten nachgewiesen und die Vegetation als mässig

beurteilt. Durch den Verbau von Sohle und Ufer wird der natürliche Lebensraum der Wasserpflanzen zerstört, was zu einer atypischen Pflanzensammensetzung und damit zu einer schlechteren Bewertung führt. Weitere Untersuchungen sind geplant, um den Erfolg von Revitalisierungen auf den Zustand der aquatischen Vegetation zu dokumentieren.

WEITERE FAKTOREN, DIE DEN ZUSTAND DER VEGETATION BEEINFLUSSEN KÖNNEN

Die Vegetation an einem Standort ist eine Folge der dort herrschenden Lebensbedingungen. Anthropogene Einflüsse wirken sich häufig auf verschiedene lebensraumprägende Faktoren aus. In ökomorphologisch stark beeinträchtigten Gewässern sind auch die Strömungsverhältnisse monoton und somit weit von einem natürlichen Zustand entfernt, zudem sind solche Gewässer häufig auch stofflich belastet.

Zustand der Vegetation in Abhängigkeit der Gewässerstruktur (n=393) 2004–2011



Generell wird von einer Abnahme der Artenvielfalt mit zunehmender Nährstoffbelastung ausgegangen, was wir anhand der historischen Untersuchungen an der Glatt bestätigen konnten [15]. Allerdings waren die Veränderungen der Nährstoffverhältnisse in der Glatt enorm. Ob sich die heute in der Regel viel geringeren Veränderungen der Nährstoffverhältnissen noch auf die Artenzusammensetzung auswirken, kann zurzeit noch nicht beantwortet werden.

Die Untersuchungen an der Glatt deuten weiter darauf hin, dass auch Veränderungen der Strömungsverhältnisse die Vegetation stark beeinflussen können.



Gehäuse der Köcherfliegenlarve *Goera pilosa*

BIOLOGISCHER ZUSTAND

MAKROINVERTEBRATEN

ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG UND UNTERSUCHUNG

Als Makroinvertebraten oder Makrozoobenthos bezeichnet man die wirbellosen Tiere der Gewässersohle, die von blossen Auge sichtbar sind. Es handelt sich dabei vor allem um Larvenstadien von Insekten, um Kleinkrebse, Schnecken, Muscheln und Würmer. Diese Kleinlebewesen nehmen wichtige ökologische Funktionen im Gewässer wahr. Sie weiden Algen ab oder helfen beim Abbau abgestorbener Pflanzen und dienen selber als Nahrung für Fische und Vögel. Intakte Gemeinschaften von Makroinvertebraten sind nicht nur auf eine gute Wasserqualität angewiesen, sie benötigen auch naturnahe Abflussbedingungen und gute ökomorphologische Verhältnisse. Die Zusammensetzung der Kleintierfauna kann deshalb Auskunft über den ökologischen Zustand eines Gewässers geben.

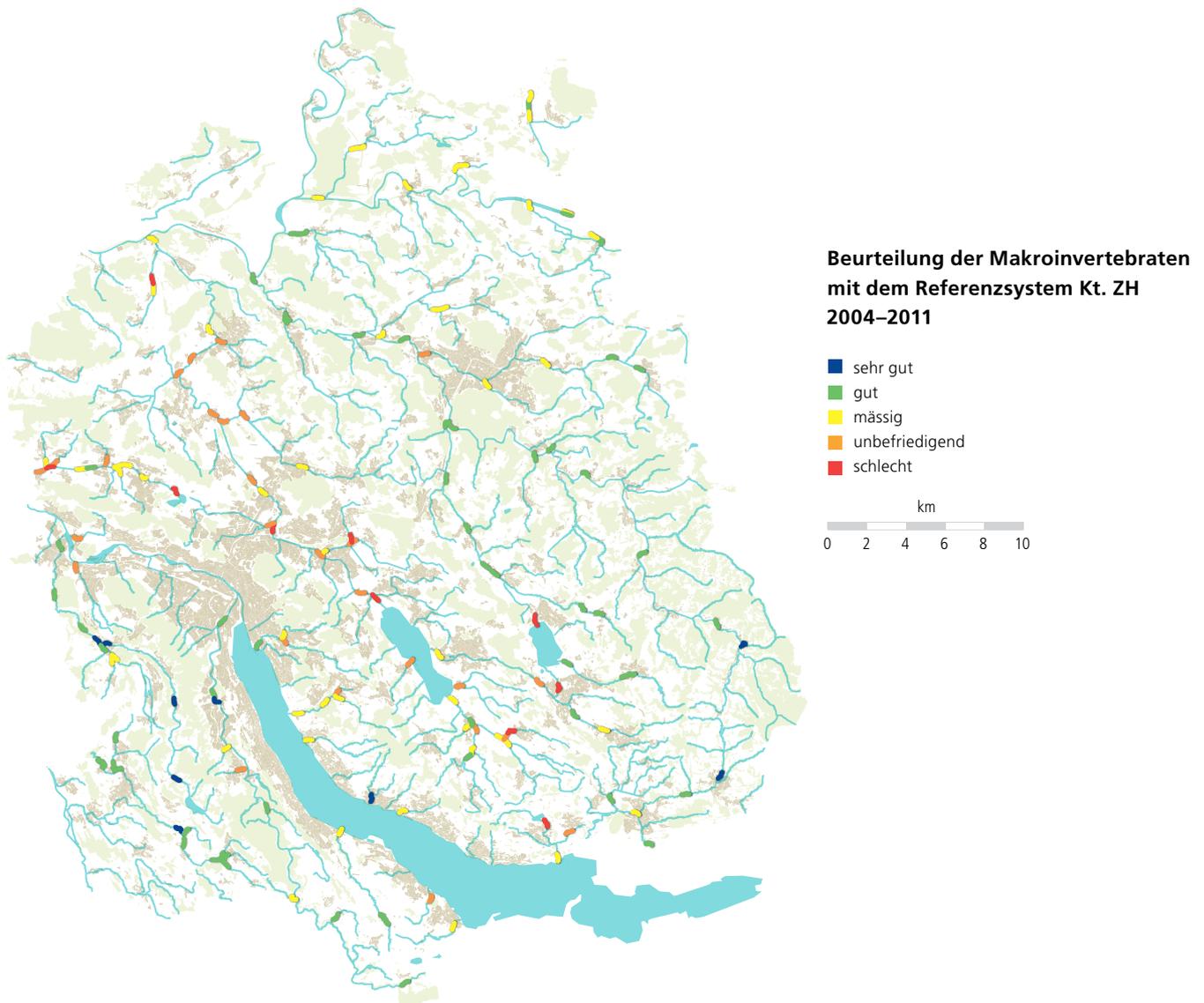
Untersuchungen der Makroinvertebraten werden für das Gewässermonitoring im Kanton Zürich seit 1995 gemacht. Es werden jedes Jahr im März/April und im September/Oktobre zwei Kampagnen zur Probenahme gemäss den jeweils aktuellen Methodenbeschrieben des BAFU durchgeführt. Zur Entnahme der Probe wird die Gewässersohle an mehreren Stellen mit dem Stiefel gründlich aufgewühlt und die abdriftenden Tiere mit einem Netz aufgefangen. Zusätzlich werden Tiere von grossen Steinen und Wasserpflanzen gesammelt. Die Familien oder Gattungen und wo möglich die Arten werden im Labor bestimmt und deren Häufigkeiten geschätzt. Im Jahr 2010 wurde vom BAFU ein überarbeiteter Methodenbeschrieb publiziert [16], der bei der Datenaufnahme und Auswer-

tung im Kanton Zürich seit 2010 zur Anwendung kommt. Die Auswertung der Daten und die Zustandsbeurteilung erfolgt nicht nur anhand der im BAFU - Modul vorgesehenen Indizes, sondern zusätzlich mit dem speziell für den Kanton Zürich erarbeiteten Referenzsystem [17]. Dieses erlaubt die Beurteilung einer Untersuchungsstelle durch den Vergleich mit naturnahen Referenzstellen in der Umgebung. Aufgrund dieser Referenzen kann für jede Untersuchungsstelle definiert werden, welche Organismen unter guten Bedingungen zu erwarten wären. Die tatsächlich vorgefundenen Taxa werden dann mit den erwarteten Taxa verglichen und die Abweichung bewertet.

Seit 2010 wird mit den Daten auch der SPEAR-Index für Pestizidbelastungen berechnet. Diese Methode gruppiert die vorgefundenen Invertebraten in pestizidsensitive (**SPE**cies **At Risk**) und nicht-sensitive Klassen (Species not at risk) und berechnet aus dem Verhältnis der beiden Klassen einen Belastungsindex für Pestizide. Details zum SPEAR - Index sind im Internet abrufbar:

www.systemecology.eu/SPEAR/about.php

In der Zeitperiode zwischen 1995 und 2002 wurden insgesamt 125 Stellen untersucht. Zwischen 2004 und 2011 wurden dieselben 125 Probestellen plus 30 weitere Stellen untersucht. Die umfangreichen Untersuchungsdaten lassen erstmals einen Langzeitvergleich des Zustands und der Entwicklung der Makroinvertebratenbestände im Kanton Zürich zu.



BEURTEILUNG DER MAKROINVERTEBRATEN 2004–2011

In der Untersuchungsperiode 2004 bis 2011 zeigte die Kleintierfauna gemäss Beurteilung mit dem Referenzsystem Zürich in nur 43% der 155 untersuchten Probestellen einen guten bis sehr guten Zustand an. Mehrheitlich in gutem Zustand war die Makroinvertebratenfauna im Töss- und im Jura und in den Einzugsgebieten von Jona, Reppisch und Sihl. Diese Gebiete zeichnen sich durch einen hohen Anteil wenig belasteter und ökomorphologisch naturnaher oder wenig beeinträchtigter Gewässer aus. Besonders an den wenig genutzten Talflanken befinden sich viele intakte Fließgewässer, die als Refugien wirken können und einen stetigen Eintrag von Organismen in die grösseren Hauptgewässer liefern. Dadurch können auch allfällige Verluste durch Belastungsstöße in den grösseren Gewässern der Talsohlen rasch wieder kompensiert werden.

In mehrheitlich unbefriedigendem bis schlechtem Zustand war die Wirbellosenfauna hingegen im Einzugsgebiet der Glatt unterhalb des Greifensees und im Furttal. Hier belas-

ten hohe Anteile an gereinigtem Abwasser und zum Teil bedenklich hohe Pestizideinträge aus Landwirtschaft und Siedlung die Gewässer. Erschwerend hinzu kommt in dicht besiedelten und in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten ein oft über weite Strecken schlechter ökomorphologischer Zustand der Gewässer. Dadurch fehlen biologische «Hotspots» und Rückzugsgebiete für Wassertiere, was auch die Wiederbesiedlung von revitalisierten Gewässerabschnitten erschwert. Obwohl beispielsweise am Furtbach vor einigen Jahren grössere Revitalisierungsarbeiten ausgeführt wurden, hat sich die Wirbellosenfauna hier noch nicht markant verbessert. Da am ganzen Furtbach höchstens noch kleine Restbestände empfindlicher Wasserinsekten vorkommen dürften, fehlen die Besiedlungsquellen für die revitalisierten Abschnitte. Bis eine Wiederbesiedlung aus weiter entfernten Populationen stattfindet, dauert es länger. Zudem verhindert gerade im Furtbach auch die hohe Pestizidbelastung eine erfolgreiche Wiederbesiedlung mit anspruchsvollen Wasserorganismen.



Ohrschlamm Schnecke (*Radix auricularia*)



Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*)

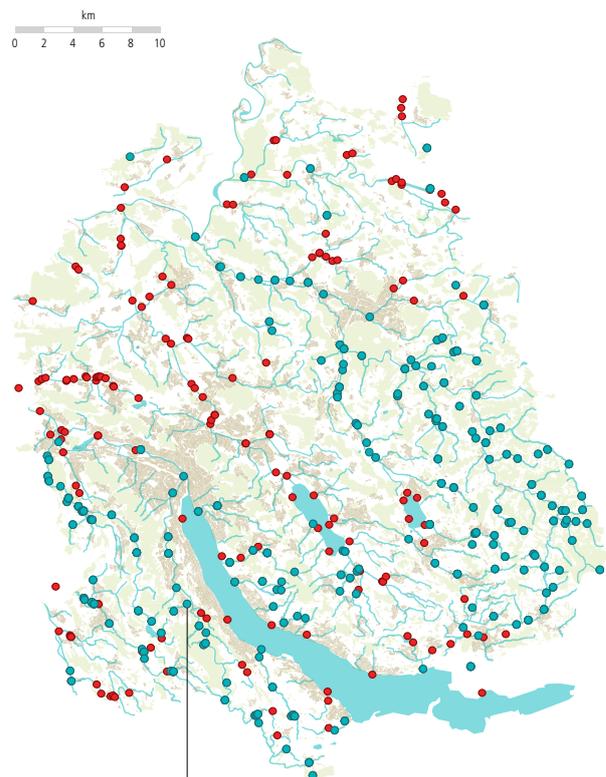
GROSSE BESIEDLUNGSLÜCKEN

Das grossräumige Fehlen von Populationen empfindlicher Wasserorganismen lässt sich gut am Beispiel der Steinfliegengattung *Leuctra* aufzeigen. Diese Tiere verbringen wie alle Wasserinsekten ihre Larvenstadien im Wasser und fliegen als erwachsene Tiere aus. Steinfliegen gelten als besonders sensibel für Beeinträchtigungen der Wasserqualität und der Lebensraumstruktur, und sie gehören zu den ersten Arten, die beim Auftreten von Belastungen verschwinden. Viele Steinfliegenarten haben natürlicherweise beschränkte Vorkommen, da sie schnell fliessende, kühle Gewässer in höheren Lagen benötigen.

Die Gattung *Leuctra* jedoch enthält innerhalb der Steinfliegen die am wenigsten empfindlichen Arten und auch solche, die in langsam fliessenden oder gar stehenden Gewässern leben. Arten der Gattung *Leuctra* sollten daher in allen einigermaßen intakten Gewässern vertreten sein. Die Verbreitungskarte von *Leuctra* im Kanton Zürich zeigt jedoch eine auffällige, grosse Lücke in den Einzugsgebieten von Glatt und Furtbach. An keiner einzigen der rund 40 Probestellen in diesen Gebieten wurden im Zeitraum von 1995 bis 2011 *Leuctra*-Larven gefunden. Obwohl unter den untersuchten Stellen sicher mehrere geeignete Gewässer wären, konnten sie wahrscheinlich aufgrund der grossräumig fehlenden Bestände nicht besiedelt werden.

Verbreitung der Gattung *Leuctra* 1995–2011

- Probestellen mit *Leuctra* sp.
- Probestellen ohne *Leuctra* sp.

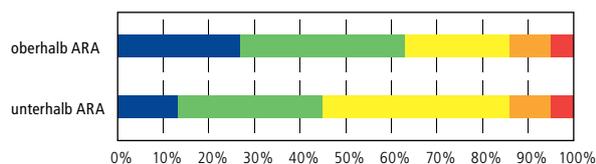


Wasserskorpion (*Nepa cinerea*)Blutegel (*Hirudo medicinalis*)

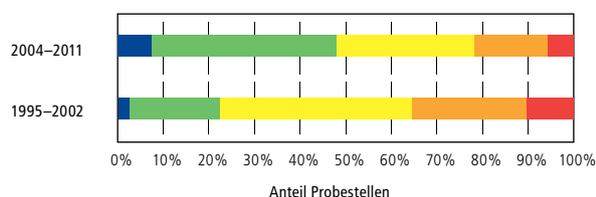
MIKROVERUNREINIGUNGEN SCHÄDIGEN DIE KLEINTIERFAUNA

Die zunehmende Belastung der Gewässer durch Mikroverunreinigungen ist nicht nur für Steinfliegen problematisch, auch viele andere Wassertiere reagieren darauf sehr empfindlich, insbesondere auf Pestizide. In 43% aller untersuchten Gewässer im Kanton Zürich zeigte der SPEAR-Pestizidindex eine mässige bis starke Beeinträchtigung der Invertebratenfauna. Hohe Pestizidbelastungen treten nicht nur in landwirtschaftlich genutzten Gegenden, sondern auch in Siedlungsgebieten auf. Hier werden Pestizide auf Privatgrundstücken eingesetzt und sind auch in Baumaterialien (z.B. Holzschutzmittel, Farbanstriche) enthalten. Durch Auswaschung bei Regen oder durch unsachgemässe Entsorgung gelangen die Chemikalien direkt in die Gewässer oder in die Kanalisation. In der ARA können diese Stoffe nur ungenügend abgebaut werden und fließen oft in viel zu hohen Konzentrationen in die Gewässer. Unterhalb von ARA-Einleitungen war die Wirbellosenfauna gemäss SPEAR-Index in 8 von 22 untersuchten Stellenpaaren in schlechterem Zustand als oberhalb der jeweiligen Einleitung. Dies ist ein deutliches Indiz für die schädlichen Effekte von Pestiziden in ARA-Abwässern.

Beurteilung der Makroinvertebraten mit dem SPEAR-Index oberhalb und unterhalb von 22 ARA zwischen 2004–2011



Beurteilung der Makroinvertebraten mit dem Referenzsystem Zürich für die Jahre 2004–2011 im Vergleich zu 1995–2002 (n = 125)



ZUSTAND DER MAKROINVERTEBRATEN IM VERGLEICH ZUR VORPERIODE 1995–2002

Obwohl der Zustand der Makroinvertebraten in den Jahren 2004 bis 2011 an 57% der 155 untersuchten Stellen nur mässig, unbefriedigend oder gar schlecht war, kann dennoch im Vergleich zur Vorperiode 1995 bis 2002 eine Verbesserung in der Beurteilung gemäss dem Referenzsystem Zürich festgestellt werden. Von den 125 Stellen, die in beiden Perioden untersucht wurden, stieg der Anteil der als sehr gut oder gut bewerteten Stellen von 28 (22%) auf 60 (48%). Bessere Beurteilungen konnten in allen Einzugsgebieten über den ganzen Kanton verteilt festgestellt werden. Verschlechterungen gab es nur an 11 Stellen. Zwei dieser 11 Stellen liegen unterhalb von ARA-Einleitungen. In den übrigen Fällen konnten keine konkreten Gründe für die festgestellte Verschlechterung angegeben werden.

Es ist zu beachten, dass mit den verwendeten Methoden eine allfällige Banalisierung der Fauna nur ungenügend erfasst werden kann. Darunter versteht man die Ausbreitung von anspruchslosen, weit verbreiteten Arten an Stellen, die zuvor hauptsächlich spezialisierte und anspruchsvolle Arten beherbergten. Durch die Ausbreitung solcher «Allerweltsarten» kann sich die Artenzahl an einer Probestelle zwar erhöhen, und die Bewertung kann z.B. von mässig auf gut springen. Wenn aber gleichzeitig mit der Zunahme der anspruchslosen Arten seltene, empfindliche Arten abnehmen, dürfte auch bei höherer Gesamtartenzahl nicht von einer Verbesserung gesprochen werden. Trotz dieser Einschränkung kann die hohe Anzahl Probestellen mit besseren Beurteilungen sowie Verbesserungssprünge von zwei Beurteilungsklassen an einigen Stellen sicher nicht nur auf Banalisierungseffekte zurückgeführt werden. Es müssen tatsächliche Verbesserungen im Vergleich zur ersten Untersuchungsperiode stattgefunden haben.



BIOLOGISCHER ZUSTAND

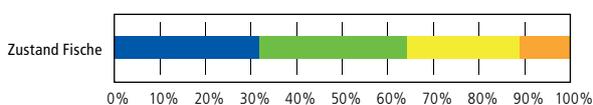
FISCHE

ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG UND UNTERSUCHUNG

Fische kommen in den meisten Schweizer 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. Durch ihre hohen Ansprüche an den Lebensraum weisen sie 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. Allerdings erschweren die in den meisten Fließgewässern durchgeführten Besatzmassnahmen die Beurteilung der natürlicherweise vorhandenen Fischpopulationen. Zudem werden in der angewandten Beurteilung die Bachforellen sehr stark gewichtet, so dass Gewässer, in denen natürlicherweise keine Bachforellen vorkommen manchmal unverschuldet schlechte Bewertungen erhalten.

Die Erhebung und anschliessende Datenauswertung erfolgte gemäss dem BAFU-Modul Fische Stufe F [18]. Die Gewässerabschnitte wurden mittels Elektrofängergerät abgefischt und die gefangenen Fische auf Artniveau bestimmt. Zusätzlich wurde die Körperlänge der Fische gemessen und allfällige Deformationen oder Anomalien festgehalten.

Beurteilung der Fische 2004–2011 (n=98)

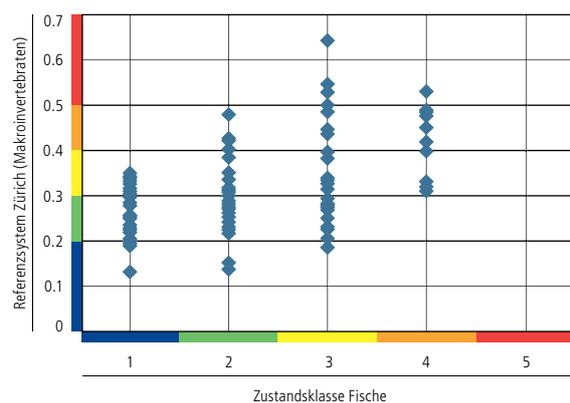


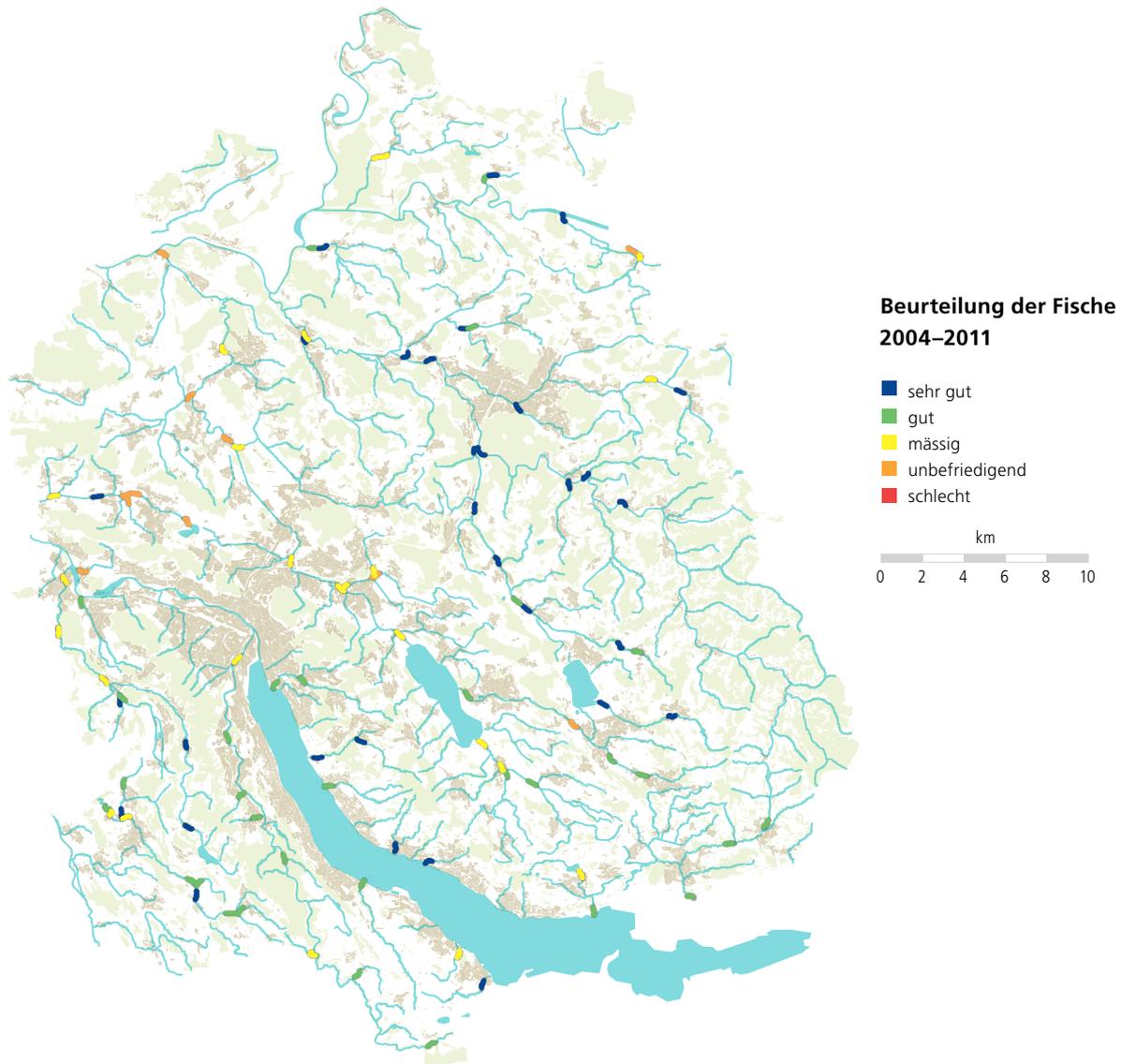
BEURTEILUNG

Von insgesamt 98 untersuchten Stellen befanden sich im Zeitraum zwischen 2004 und 2011 63 Stellen in gutem oder sehr gutem Zustand. Von den übrigen 35 Stellen wurden 24 als mässig und 11 als unbefriedigend beurteilt.

Überwiegend sehr gut waren die Fischbestände im Einzugsgebiet der Töss. Im Sihltal und im Einzugsgebiet von Jonen und Reppisch waren die Beurteilungen mehrheitlich gut. Im Einzugsgebiet der Glatt und im Furttal fielen die Bewertungen mit wenigen Ausnahmen nur mässig bis unbefriedigend aus. Das räumliche Muster in der Beurteilung der Fischbestände deckt sich weitgehend mit den Befunden bei den Wirbellosen. Auch hier schnitten das Furttal und das Glatttal am schlechtesten und das Tösstal am besten ab. Die Gründe sind nahliegend, da bei den Fischen ähnliche Belastungsfaktoren wirken wie bei den Invertebraten. Ein schlechter ökomorphologischer Zustand bietet den Fischen keine geeigneten Unterstände und Laichplätze und für die Jungfische keine Verstecke. Beein-

Zusammenhang zwischen der Beurteilung der Fische und der Makroinvertebraten





trüchtigungen der Wasserqualität können sich entweder direkt auf die Fische auswirken oder auch indirekt über ein mangelhaftes Nahrungsangebot, wenn die Makroinvertebratenfauna aufgrund unzureichender Wasserqualität nur spärlich vertreten ist. Zwischen der Beurteilung der Fischfauna und derjenigen der Invertebraten mit dem Referenzsystem Zürich lässt sich eine tendenzielle Übereinstimmung erkennen.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Eignung eines Gewässers für Fische ist die Durchgängigkeit. Viele Fische ziehen im Laufe ihres Lebens von kleinen Oberläufen und Seitenbächen in unterliegende grössere Fließgewässer oder Seen und umgekehrt. Abstürze und Eindolungen behindern den Aufstieg der Fische oder verhindern ihn ganz. Nur grosse Bachforellen können Abstürze bis etwa 70 cm

überspringen, sofern vor dem Absturz eine ausreichend tiefe Kolke liegt. Für andere Fischarten sind die Oberläufe oft nicht erreichbar und die allenfalls noch im Oberlauf lebenden Fischbestände sind von den unterliegenden Populationen abgeschnitten.

Im Sommer können auch Erhöhungen der Wassertemperatur infolge zu geringer Restwassermengen, Wärmeeinleitungen oder fehlender Uferbestockung für kälteliebende Fischarten wie die Bachforellen eine Belastung darstellen.

In den Einzugsgebieten von Glatt und Furtbach wirken all diese Faktoren in unterschiedlicher Ausprägung auf die Fischpopulationen ein und führen zu den festgestellten Defiziten.

SYNTHESE UND HANDLUNGSBEDARF



QUALITÄT

NÄHRSTOFFE

Die Belastung der Fliessgewässer mit Nährstoffen hat weiter abgenommen. Von den untersuchten Gewässerabschnitten befinden sich 1% bezüglich Ammonium und 3% bezüglich Nitrit in einem mässig bis schlechten Zustand. Die Phosphatbelastung muss wie die Nitratbelastung in rund einem Drittel aller Abschnitte als mässig bis schlecht beurteilt werden. Die Nitratkonzentrationen haben sich in den letzten 25 Jahren kaum verändert.

Erhöhte Konzentrationen an Nährstoffen treten vor allem unterhalb von ARA mit ungenügendem Verdünnungsverhältnis von gereinigtem Abwasser zu Bachwasser oder in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten auf. Im Winter, bei eingeschränkter Nitrifikation, kann es dadurch zu Ammonium- und Nitritkonzentrationen kommen, welche Wasserorganismen gefährden können. Vereinzelt führen auch Betriebsstörungen auf ARA oder reduzierter Betrieb während Bauphasen zu erhöhten Nährstoffkonzentrationen.

Eine Reduktion der Nährstoffbelastung durch Massnahmen auf der ARA ist nur noch vereinzelt möglich. Alle ARA werden regelmässig überprüft und die meisten ARA erfüllen die geltenden Einleitungsbedingungen. Um diesen hohen Stand zu halten und die ARA laufend dem technischen Fortschritt anzupassen, sind weiterhin grosse Anstrengungen erforderlich. ARA mit ungenügender Reinigungsleistung müssen innerhalb vorgegebener Fristen erweitert oder saniert werden.

Zwei Drittel aller ARA verfügen im Kanton Zürich bereits über eine Denitrifikationsstufe, müssen aber bezüglich Stickstoffelimination keine Anforderungen erfüllen. In Zusammenhang mit Erweiterungen von ARA werden vom AWEL in Zukunft vermehrt Anforderungen an die Stickstoffelimination gestellt. Betroffen sind vor allem grosse Anlagen und ARA im Glatt- und Furttal. Dadurch soll die Nitratkonzentration und die Stickstofffracht stark belasteter Gewässer weiter reduziert werden.



Bei anstehenden Erneuerungen oder Erweiterungen ist der Standort von ARA, die an kleinen Gewässern liegen, kritisch zu hinterfragen. Durch die Aufhebung einer ARA kann allenfalls ein längerer Gewässerabschnitt nachhaltig von chronischer Belastung befreit werden. Bei kleinen Bächen kann aber das gereinigte Abwasser einen grossen Anteil am Gesamtabfluss ausmachen, was bei Aufhebung einer ARA während Trockenperioden zu einer ungenügenden Wasserführung im Bach führen kann. Beschlossen oder bereits ausgeführt ist der Anschluss an eine grössere Anlage und die Aufhebung der ARA in Fischenthal, Ottenbach, Maschwanden, Riferswil und Hittnau.

Im Gegensatz zu den ARA, wo das Reduktionspotential weitgehend ausgeschöpft ist, gibt es im Bereich Siedlungsentwässerung verschiedene Möglichkeiten, um die Nährstoffbelastung weiter zu reduzieren. Durch Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenereignissen gelangen ebenfalls beachtliche Nährstoffmengen in die Gewässer. Mit einer grosszügigen Dimensionierung der Regenrückhaltebecken kann die Nährstoffbelastung weiter verringert werden. Durch eine vermehrte Abtrennung oder Versickerung von nicht verschmutztem Abwasser kann die Reinigungsleistung auf der ARA verbessert und die Entlastungshäufigkeit reduziert werden. All

diese Massnahmen sind im Rahmen der generellen Entwässerungsplanung auf Stufe Gemeinde (GEP) oder Zweckverband einer ARA zu planen. Die Planung muss mittels GEP-Check regelmässig überprüft und allfällige Defizite behoben werden. So wurde durch Ausbau des Regenwasserrückhalts beispielsweise in Dübendorf, Bülach und Uster die Entlastungsmengen weiter reduziert.

Durch Abschwemmung und Erosion landwirtschaftlich intensiv genutzter Böden gelangen zusätzlich Nährstoffe in die Gewässer. Drainagen werden nach wie vor meist von Flurgenossenschaften unterhalten und befinden sich je nach Gemeinde und Zeitpunkt seit der letzten Melioration in einem unterschiedlichen Zustand. In Bezug auf den Unterhalt besteht in einzelnen Gemeinden Handlungsbedarf. 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 und Erosion aus landwirtschaftlich genutzten Gebieten reduziert werden. Das konsequente Ausscheiden von Pufferstreifen entlang der Gewässer und das Einhalten des Düngerverbots tragen ebenfalls zur Nährstoffreduktion bei. Der landwirtschaftlichen Schulung und Beratung kommt dabei eine Schlüsselstellung zu.



SCHWERMETALLE

Die Belastung der Fliessgewässersedimente mit Blei, Quecksilber, Nickel und Chrom ist in den letzten 10 Jahren zurückgegangen und kann heute in mehr als 95% aller Untersuchungsabschnitte als gut oder sehr gut beurteilt werden. Die Konzentrationen von Cadmium sind tendenziell gestiegen, erfüllen aber mit Ausnahme von zwei Gewässerabschnitten die Zielvorgabe. Deutlich gestiegen sind als Folge der zunehmenden Siedlungsflächen die Kupfer- und Zinkkonzentrationen. In knapp 40% aller Untersuchungsabschnitte können sie die Zielvorgaben nicht erfüllen.

Im Abrieb von Bremsen und Reifen sind Kupfer, Zink und Cadmium vorhanden, die mit dem Niederschlagswasser von entwässerten Verkehrswegen in die Fliessgewässer gelangen können. Zur Reduktion der Schwermetallbelastung muss das Strassenabwasser deshalb vermehrt gereinigt werden. Mit verschiedenen Projekten werden zurzeit offene Fragen geklärt und Massnahmen zur Verringerung des Schadstoffeintrages in die Fliessgewässer und Seen erarbeitet.

Im Rahmen des Projektes «Massnahmenplan Strassenentwässerung» wurden Strassenabschnitte bezeichnet, an welchen Massnahmen zur Verringerung des Schadstoffaustrages oder der zu hohen hydraulischen Belastung eines Gewässers durch die Strassenabwassereinleitung prioritär umzusetzen sind. Derzeit wird die Strategie entwickelt, wie die Massnahmen umzusetzen sind und welche standardisierten Anlagen zur Behandlung des

Strassenabwassers an Staatsstrassen zum Einsatz gelangen sollen. Im Rahmen des Projektes «Leistungsbeurteilung von Strassenwasserbehandlungsanlagen» wurde die Wirksamkeit der Reinigungsleistung einzelner Anlagen miteinander verglichen. Im Projekt «Belastung des Zürichsees durch die Strassenentwässerung» wurde der Schadstoffeintrag aus der Strassenentwässerung, Regenüberläufen, ARA und weiteren Quellen in den Zürichsee modelliert. Zudem wurden Massnahmen zur Reduktion der Schadstoffeinträge aus der Strassenentwässerung ansatzweise vorgeschlagen.

Kupfer und Zink werden mit dem Regen auch aus Baumaterialien ausgewaschen und gelangen über die Mischwasserkanalisation in die ARA, wo rund 90% der Schwermetalle im Klärschlamm zurückgehalten werden. Durch Versickerung von Meteorwasser kann die Schwermetallbelastung der Fliessgewässer weiter reduziert werden. Durch eine grosszügige Dimensionierung der Regenbecken kann zudem stark belastetes Meteorwasser («First Flush») zurückgehalten und später zur Behandlung auf die ARA abgeleitet werden. Über die Trennkanalisation gelangen die Schwermetalle dagegen direkt in die Gewässer.

In einzelnen Gewässerabschnitten wurden Schwermetallkonzentrationen gemessen, die vom durchschnittlichen Kupfer-Zinkverhältnis abweichen. Diese deuten auf zusätzliche Belastungsquellen wie belastete Standorte, Industriebetriebe oder Rebbauf Flächen hin. Um die Herkunft der erhöhten Belastungen abzuklären, sind in diesen auffälligen Gewässerabschnitten weitergehende Untersuchungen geplant.



ORGANISCHE MIKROVERUNREINIGUNGEN

Herbizide und Insektizide sind organische Mikroverunreinigungen, die aus dem Siedlungsgebiet und der Landwirtschaft in die Fließgewässer gelangen. In knapp 15 resp. 49% aller untersuchten Gewässerabschnitten treten sie in Konzentrationen auf, die Wasserlebewesen gefährden können.

Allgemein wird damit gerechnet, dass die Belastung der Gewässer 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 bedingt. Verstärkt werden könnte die Problematik durch die Klimaerwärmung. 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 in den Fließgewässern.

Um die Belastung mit Mikroverunreinigungen in den Gewässern zu reduzieren, stehen drei Arten von Massnahmen im Vordergrund. Es handelt sich dabei um Massnahmen an der Quelle, dezentrale Massnahmen und zentrale Massnahmen.

Massnahmen an der Quelle

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 gesetzgeberische Massnahmen, die Information und Beratung zur Verwendung von Produkten, die umweltgefährliche Chemikalien enthalten, sowie die Einführung von Anreizsystemen.

1. Gesetzgeberische Massnahmen

Gesetzgeberische Massnahmen, z.B. im Rahmen des Chemikalien- oder des Gewässerschutzrechts, sind geeignet, einzelne Stoffe oder Stoffgruppen zu verbieten oder deren Verwendungen 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.



2. Information und Beratung

Über Information und Beratung sollen sowohl private als auch 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 zweijährige Kampagne «Stopp den Giftzwerg», die mit Unterstützung von Bund und Kantonen entwickelt und im Jahr 2012 schweizweit lanciert wurde, ist ein Beispiel dafür, wie die Bevölkerung für einen sorgfältigen Umgang mit Chemikalien sensibilisiert werden kann. Auch bei der landwirtschaftlichen Beratung wird dem Schutz der Gewässer vor Mikroverunreinigungen eine grosse Bedeutung zugemessen.

3. Anreizsysteme

Anreizsysteme wie z.B. Lenkungsabgaben oder Pfandsysteme sowie Produktlabels könnten ebenfalls dazu beitragen, die Belastung der Gewässer mit Mikroverunreinigungen zu reduzieren.

Dezentrale Massnahmen

Dezentrale Massnahmen betreffen die Verbesserung der Siedlungsentwässerung sowie eine allfällige Vorbehandlung des Abwassers an Orten, die wichtige Quellen für Mikroverunreinigungen sind.

Ein Schwachpunkt der heutigen Siedlungsentwässerung ist, dass Mischwasserkanäle bei starken Regenfällen direkt in Flüsse, Bäche und Seen entlasten. Dadurch gelangt ungereinigtes Abwasser und mit ihm Mikroverunreinigungen in die Gewässer. Auch aus undichten Abwasserkanälen kann permanent ungeklärtes Abwasser in die unter- und oberirdischen Gewässer eindringen. Verringern lassen sich diese Einträge durch den Bau grösserer Regenrückhaltebecken und durch die Sanierung undichter Kanäle.

Eine weitere dezentrale Massnahme besteht darin, dass man das Abwasser am Ort, wo es anfällt, vorbehandelt. Die Vorbehandlung bietet sich dort an, wo im grossen Massstab Stoffe ins Abwasser gelangen, die in den Gewässern schliesslich als Mikroverunreinigungen enden. In der Landwirtschaft können z.B. Plätze für die Aussenreinigung von Feldspritzen eingerichtet werden, wo das mit Pestiziden verunreinigte Wasser aufgefangen und anschliessend über einem Substrat, das aus Erde, Kompost und Stroh besteht, filtriert wird. Bei der Passage durch dieses Substrat werden die Pestizide durch Mikroorganismen abgebaut. Weiter sind Industriebetriebe, Spitäler oder Altersheime Orte, bei denen es sinnvoll sein kann, das Abwasser vorzubehandeln, sofern sie einen massgeblichen Anteil zur gesamten Abwasserfracht beitragen.



Zentrale Massnahmen

Unter diesem Ansatz werden diejenigen Massnahmen verstanden, welche die Reinigungsleistung der ARA verbessern. Mit zusätzlichen Reinigungsstufen sollen die Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser entfernt werden, bevor sie in die Gewässer gelangen. Da ein Grossteil der Mikroverunreinigungen ihren Weg in die Gewässer über die Siedlungsentwässerung findet, kommt der weitergehenden Reinigung des Abwassers eine grosse Bedeutung zu.

Zurzeit werden insbesondere zwei Verfahren diskutiert, nämlich die Adsorption an Pulveraktivkohle und die Behandlung mit Ozon. Labor- und Pilotversuchen haben gezeigt, dass beide Technologien gut geeignet sind, eine Vielzahl von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Eine Studie des BAFU rechnet mit rund hundert ARA, welche in der Schweiz mit einem der beiden Systeme nachgerüstet werden müssen. Um eine möglichst grosse Wirkung zu erzielen, sollen grosse ARA zur Reduktion der Frachten und ARA an Gewässerabschnitten mit ungenügender Verdünnung des eingeleiteten gereinigten Abwassers zum Schutz der Gewässer ausgebaut werden. Mit dieser Massnahme kann die gesamte Fracht der Mikroverunreinigungen schweizweit um etwa die Hälfte reduziert werden.

Eine weitere Verbesserung der Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung lässt sich aber auch erreichen, wenn kleine ARA an moderne Anlagen angeschlossen werden. Diese Massnahme verbessert nicht nur die Reinigung, sondern ermöglicht oft auch noch die Einleitung des gereinigten Abwassers in ein grösseres Gewässer mit einem besseren Verdünnungsverhältnis. Sie kann realisiert werden, indem kleine Gemeindeanlagen an eine zentrale ARA anschliessen. Grössere Einzugsgebiete erlauben ein effizienteres Einzugsgebietsmanagement und erleichtern die Professionalisierung der Siedlungsentwässerung. Dadurch wird nicht nur die Reinigungsleistung der ARA optimiert, sondern gleichzeitig eine Reduktion der Kosten bewirkt.



QUANTITÄT/DYNAMIK UND LEBENSRAUM

WASSERFÜHRUNG

In einzelnen Gewässerabschnitten sind die natürlichen Abflussverhältnisse beeinträchtigt. Als Folge von Wasserkraftnutzungen treten sprunghafte Veränderungen der Abflussmengen auf (Schwall/Sunk) oder die Restwassermengen sind so gering, dass die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer nicht mehr gewährleistet ist. Wasserentnahmen zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen können ebenfalls zu geringe Restwassermengen zur Folge haben.

Das Betreiben von Wasserkraftanlagen ist konzessionspflichtig und an Auflagen gebunden. Während Konzessionen früher teilweise unbefristet erteilt wurden, werden heute nur noch befristete Konzessionen ausgesprochen. Eine Anpassung der Restwassermengen an die geltenden Restwasservorschriften des GSchG ist im Falle befristeter Konzessionen erst mit einer Neukonzessionierung durchsetzbar. Die Restwasservorschriften haben zum Ziel, die Wasserentnahmen so zu begrenzen, dass ganzjährig ein Mindestabfluss erhalten bleibt, der ein Minimum an ökologischen Funktionen gewährleistet.

Weitere Ziele der Revision des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung im Jahr 2011 sind die Reduktion der negativen Auswirkungen von Schwall/Sunk sowie die Wiederherstellung der Fischwanderung bei Wasserkraftwerken. Neu werden die Inhaber von Wasserkraftwerken verpflichtet, wesentliche Beeinträchtigungen der einheimischen Tiere und Pflanzen sowie ihrer Lebensräume durch Schwall und Sunk mittels baulicher Massnahmen zu beseitigen und die Fischwanderung zu ermöglichen. Die Kosten werden durch einen Sonderfonds der Netzwerkgesellschaft Swissgrid finanziert. Die Kantone

sind verpflichtet, die notwendigen Sanierungsmassnahmen bei bestehenden Anlagen zu veranlassen und die Fristen für deren Umsetzung festzulegen. Die Dringlichkeit der Sanierung richtet sich nach dem Grad der Beeinträchtigungen und dem ökologischen Potential des betroffenen Gewässers. Die Kantone legen die Planung zur Prüfung dem Bund vor und reichen den definitiven Massnahmenplan bis Ende 2014 ein. Darauf folgt eine Umsetzungsfrist von 16 Jahren.

In den letzten Jahren wurden Projekte in Angriff genommen, um Defizite in der Wasserführung zu beheben. Im Furtbach müssen die Konzessionen zur Wasserentnahme für Bewässerungszwecke 2013 erneuert werden. In diesem Zusammenhang wird der Bau einer Leitung für den Bezug von Wasser aus der Limmat geprüft. Damit könnte auch bei längeren Trockenperioden die Versorgung mit qualitativ einwandfreiem Wasser zur Bewässerung sichergestellt und gleichzeitig der Furtbach entlastet werden.

Im Rahmen der Sanierung der historischen Kraftwerkskette am Aabach ist die Planung zur Umstellung von Schwall-/Sunkbetrieb auf einen kontinuierlichen Betrieb mit höheren Restwassermengen bereits weit gediehen. Innerhalb der nächsten fünf Jahre sollen die Massnahmen umgesetzt werden und das Abflussregime des Aabachs wieder natürlicheren Verhältnissen angenähert werden.



ÖKOMORPHOLOGIE

Der ökomorphologische Zustand als Indikator für die Lebensraumqualität ist in rund 50% der Fliessgewässerabschnitte ungenügend. Zusätzlich behindern Durchgängigkeitsstörungen wie z.B. Abstürze und Verrohrungen die Wanderung der Fische und Makroinvertebraten. In den letzten 10 Jahren hat sich die Situation leicht verbessert, wobei vor allem der Anteil eingedolter Abschnitte und Bäche in naturfremd/künstlichem Zustand zugunsten von naturnahen und nur wenig beeinträchtigten Abschnitten gesunken ist.

Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte und dem starken Nutzungsdruck wurden im Kanton Zürich in der Vergangenheit viele Fliessgewässer begradigt und ausgebaut. 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. Seit 1990 haben Kanton und Gemeinden rund 40 Kilometer Bäche ausgedolt und rund 60 Kilometer Bäche revitalisiert.

Bisher kam es meist nur in Zusammenhang mit anderen Massnahmen, z.B. Hochwasserschutzprojekten, zur Revitalisierung von einzelnen Gewässerabschnitten. Ein wichtiges Ziel der Revision des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung von 2011 ist die Förderung von Revitalisierungen. Neu müssen die Kantone Revitalisierungen strategisch planen und damit aufzeigen, bei welchen der Nutzen für Natur und Landschaft im Verhältnis zum Aufwand am grössten ist. Dies dürfte vor allem dort der Fall sein, wo morphologisch möglichst naturnahe Gewässerstrecken mit einer gewässertypischen Eigendynamik geschaffen und mit bestehenden Biotopen mit standorttypischen Lebensgemeinschaften vernetzt werden können.

Die Umsetzung der Planung – d.h. die Revitalisierung prioritärer Gewässerabschnitte mit finanzieller Unterstützung durch den Bund – ist eine auf 80 Jahre ausgelegte Mehrgenerationenaufgabe. Die vom Bund bis Ende 2018 geforderte Ausscheidung des Gewässerraums, der die natürlichen Funktionen des Gewässers, den Hochwasserschutz und die Gewässernutzung gewährleistet, ist bereits bei der Teilrevision des kantonalen Richtplans im Kapitel Landschaft verankert worden. Zurzeit werden im Kanton Zürich im Rahmen eines Umsetzungsprojekts die nötigen Grundlagen für die Ausscheidung des Gewässerraums und die Planungen in den Bereichen Revitalisierung, Geschiebe, Schwall/Sunk sowie Fischgängigkeit erarbeitet.

Massnahmen, die zu einer Verbesserung der Gewässerstruktur und damit des Lebensraums Fliessgewässer führen, können auf unterschiedlichen Ebenen ansetzen.

Unterhaltsmassnahmen und Gewässerrevitalisierungen zielen darauf ab, die natürliche Strukturvielfalt im Gewässer und angrenzenden Umland zu erhöhen sowie die natürliche Durchgängigkeit wieder herzustellen. Im Rahmen des Unterhalts sollen defekte harte Uferverbauungen durch Lebendverbau ersetzt oder Totholz und Wasserpflanzen nicht vollständig von der Bachsohle entfernt werden. Mit Revitalisierungen können Bäche ausgedolt, Aufstiegshindernisse beseitigt oder die Linienführung naturnäher gestaltet werden. Dadurch entstehen wieder vielfältige und vernetzte Lebensräume für Tiere und Pflanzen.

Neben Unterhaltsmassnahmen und Revitalisierungen tragen auch der planerische Schutz der Gewässer und die Schulung der für Unterhalt und Revitalisierung zuständigen Fachleute zur Verbesserung der Lebensraumqualität an den Gewässern bei. Das AWEL hat in Zusammenarbeit mit der Jagd- und Fischereiverwaltung in den letzten Jahren verschiedene Schulungsveranstaltungen für die Gemeinden im Kanton Zürich durchgeführt. Dabei wurde aufgezeigt, wie ein angepasster Unterhalt zur Aufwertung des Lebensraumes Fliessgewässer beitragen kann.



Edelkrebs (*Astacus astacus*)

BIOLOGISCHER ZUSTAND

Die biologischen Indikatoren belegen die Verbesserung der Wasserqualität, die in den letzten Jahren insbesondere durch eine sinkende Nährstoffbelastung erzielt werden konnte. Die Befunde zeigen aber auch, dass viele Fließgewässer heute noch keine funktionsfähigen Lebensräume für Tiere und Pflanzen darstellen.

Kieselalgen können als biologische Zeiger für die Wasserqualität verwendet werden. Sie weisen unterhalb von ARA mit schlechtem Verdünnungsverhältnis vereinzelt auf einen ungenügenden Zustand der Wasserqualität hin. Aber auch in Bächen, die kein gereinigtes Abwasser aufnehmen, führen Entlastungen aus der Siedlungsentwässerung oder Strassenabwasser zu Kieselalgengemeinschaften, die typisch sind für nährstoffreiche Gewässer. Im Vergleich zu den Untersuchungen in den Neunzigerjahren haben Kieselalgengemeinschaften zugenommen, die weniger nährstoffreiche Gewässer bevorzugen und somit die Verbesserung der Wasserqualität belegen.

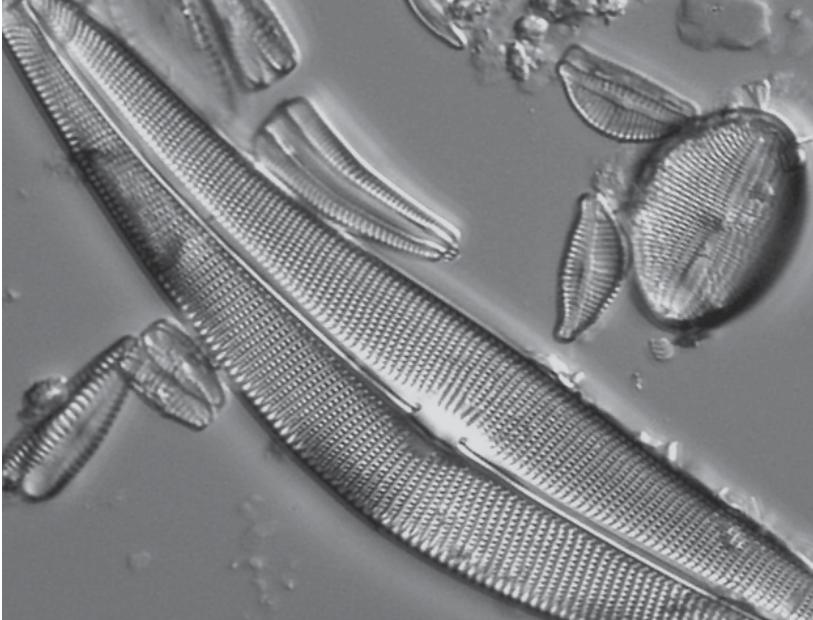
Wasserpflanzen sind ein natürlicher Bestandteil von wenig beschatteten Bächen und Flüssen mit gemächlicher Strömung. In rund der Hälfte aller untersuchten Gewässerabschnitte ist die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften nicht standorttypisch oder weist eine eingeschränkte Vielfalt auf. Dafür verantwortlich ist unter anderem die häufig stark veränderte Gewässerstruktur. So befinden sich die Gemeinschaften der Wasserpflanzen in Abschnitten mit stark beeinträchtigter bis naturfremd/künstlicher Gewässerstruktur deutlich häufiger in einem mässig bis schlechten Zustand als in Abschnitten mit wenig beeinträchtigter bis naturnaher Struktur. Durch den Verbau von Sohle und Ufer wird der natürliche Lebensraum der Wasserpflanzen, die häufig im Uferbereich wurzeln, komplett zerstört.

Durch Revitalisierungen kann die Vielfalt von Wasserpflanzen in Fließgewässern erhöht werden. Von der Wiederherstellung naturnaher Uferzonen mit einem fließenden Übergang vom Wasser zum Land profitieren einerseits Helophyten, die im wenig tiefen Wasser ihre Hauptverbreitung haben und in stark kanalisiertem Bächen heute häufig kaum vorkommen. Im Furttal ist die Vielfalt der Helophyten in vor 20 Jahren revitalisierten Abschnitten des Furtbachs deutlich höher als in verbauten Abschnitten. Allerdings haben bisher nur weit verbreitete Arten zugenommen. In einem Abschnitt des Würerbachs, der demnächst vom AWEL revitalisiert wird, soll eine Untersuchung zeigen, wie sich die Pflanzenzusammensetzung nach der Revitalisierung verändert.

In Bächen mit natürlich strukturierten Ufern sind die Strömungsverhältnisse und die Substratzusammensetzung variabler als in kanalisiertem Bächen. Von Revitalisierungen dürften daher auch Submerse profitieren, die in etwas tieferem Wasser ihre Hauptverbreitung haben. Untersuchungen am Chriesbach in Dübendorf, der in naher Zukunft revitalisiert wird, sollen zeigen, ob die Vielfalt der Submersen durch die Revitalisierung zunimmt.

Wie stark sich die Vielfalt nach einer Revitalisierung ändert, wird nicht nur von der Strukturverbesserung beeinflusst, sondern hängt auch davon ab, ob geeignete Arten den Weg in den revitalisierten Abschnitt finden. 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 Pflanzenzusammensetzung. Durch die Überdüngung der Gewässer sind Arten, die ihre



Mikroskopisches Bild präparierter Kieselalgen ohne Zellinhalt

Flutender Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*)

Hauptverbreitung in nährstoffarmen Gewässern haben, stark zurückgegangen [13, 15]. Trotz des starken Rückgangs der Nährstoffbelastung in den letzten 30 Jahren sind auch heute noch kaum Arten mit geringen Nährstoffansprüchen in Fließgewässern anzutreffen.

Makroinvertebraten und Fische gelten als biologische «Gesamtindikatoren» für Beeinträchtigungen des Gewässerraums, der Wasserführung und der Wasserqualität. Im Einzugsgebiet der Töss und im Einzugsgebiet der Jone befinden sich die Makroinvertebraten und auch die Fische überwiegend in einem guten Zustand. In allen übrigen Einzugsgebieten können die Zielvorgaben nicht erfüllt werden und die Fauna weist zum Teil beträchtliche Defizite auf. Auch wenn zwischen der ersten Untersuchungsperiode von 1995 bis 2002 und der zweiten Kampagne 2004 bis 2011 insgesamt eine klare Verbesserung festgestellt werden kann, so befinden sich die Makroinvertebraten und auch die Fische insbesondere in den Einzugsgebieten von Furtbach und Glatt/Greifensee nach wie vor in einem unbefriedigenden bis schlechten Zustand. Diese Einzugsgebiete weisen einen deutlich höheren Siedlungsanteil und schlechtere Beurteilungen bezüglich ökomorphologischem Zustand, Abflussverhältnissen und Wasserqualität auf als die anderen untersuchten Einzugsgebiete. Verbesserungen in den Bereichen Wasserqualität und Ökomorphologie führen leider oft nur sehr verzögert und nicht in erhofftem Ausmass zu einer Verbesserung der Fauna. Vor allem wenn die Fauna grossräumig stark dezi-

miert ist und kaum mehr Besiedlungsquellen in der Umgebung existieren, lässt der Wiederbesiedlungserfolg in revitalisierten Strecken oft lange auf sich warten. Eine geschickte Revitalisierungsstrategie sollte 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 Areal kleiner Restpopulationen ausgedehnt und über die kritische Grösse gebracht werden. Dieser Vernetzung bestehender intakter Regionen muss bei der anstehenden Revitalisierungsplanung grosse Beachtung geschenkt werden.

Mit der Verbesserung der Wasserqualität, der Gewässermorphologie und der Abflussverhältnisse sollte sich der biologische Zustand der Fließgewässer weiter verbessern. Allerdings können sich auch neue stoffliche Belastungen durch Zulassung neuer Stoffe und Produkte oder durch verstärkte Anwendung bereits zugelassener, besonders kritischer Produkte negativ auf die Lebensgemeinschaften der Pflanzen und Tiere auswirken. 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.

SEEN



- 62 Messprogramm und Beurteilung
- 64 Phosphor
- 66 Sauerstoff
- 68 Plankton
- 70 Synthese und Handlungsbedarf



Die Bevölkerungsentwicklung und der wirtschaftliche Aufschwung sowie die Intensivierung der Landwirtschaft und die Massenproduktion von synthetisch hergestellten Chemikalien führten ab Ende des 19. Jahrhunderts zu einer zunehmenden Belastung der Seen.

Die Sanierung der Siedlungsentwässerung, der Ausbau der Abwasserreinigung sowie Massnahmen in der Landwirtschaft führten ab den Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts zu einer massiven Verbesserung der Wasserqualität.

Seeinterne Massnahmen wie Belüftungs- und Zirkulationshilfen haben in einigen Seen die positive Entwicklung der Wasserqualität beschleunigt. Um den Erfolg dieser Massnahmen zu dokumentieren und neue Belastungen frühzeitig zu erkennen, unterhält der Kanton Zürich ein langjähriges Überwachungsprogramm und informiert regelmässig über den Zustand der Gewässer.



MESSPROGRAMM UND BEURTEILUNG

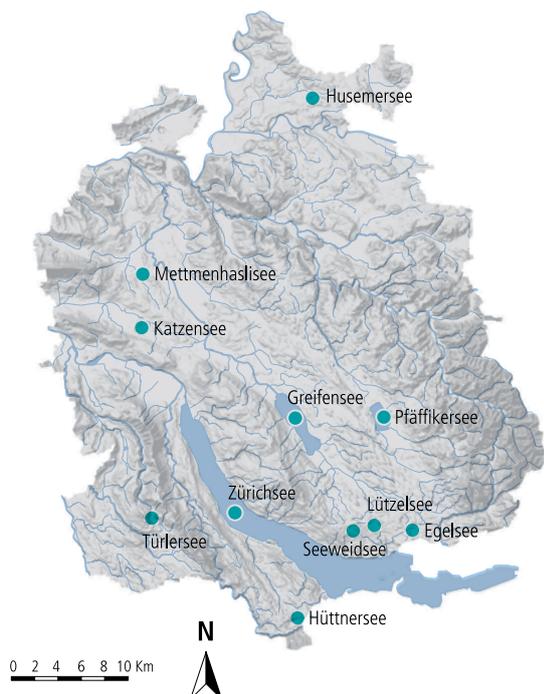
Die Wasserqualität des Zürich-, Greifen-, Pfäffiker-, Türl- und Hüttnersees wird monatlich erfasst. Zusätzlich wird seit 1988 im Zweijahresrhythmus abwechselungsweise die Wasserqualität des unteren Katzenses, Lützelsees und Mettmenhaslises oder des grossen Husermersees, Egelsees und Seeweidsees gemessen.

Mit diesen regelmässigen Untersuchungen wird überprüft, ob die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV) eingehalten werden. Es können Belastungsquellen identifiziert, nachteilige Entwicklungen frühzeitig erkannt und Massnahmen zur Reduktion der Gewässerbelastung veranlasst werden. Zudem dienen die Untersuchungen dazu, den Betrieb der Zirkulationsanlagen im Türl- und Hüttnersee sowie die Belüftungsanlage im Greifensee zu steuern und zu überwachen.

An der tiefsten Stelle des Sees werden verschiedene physikalische, chemische und biologische Parameter erfasst.

Mit einer Multi-Parameter-Sonde misst man den Sauerstoffgehalt, die Temperatur, den pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Trübung in unterschiedlichen Seetiefen. Mit einer Schöpfflasche entnimmt man Proben für die chemischen Untersuchungen aus verschiedenen Tiefenstufen und transportiert sie gekühlt zur Analyse ins Labor.

Für die Bestimmung des Phytoplanktons wird eine Mischprobe aus den oberflächennahen Wasserschichten geschöpft. Als Mass für die Algenmenge dient das Algenfrischgewicht oder die Chlorophyllkonzentration. Die Probenahme für das Zooplankton erfolgt mit vertikalen Netzzügen vom Grund des Sees bis zur Oberfläche. Als Mass für die Menge an Zooplankton wird das Trockengewicht der Tiere bestimmt.



PARAMETERLISTE (* in Kleinseen nicht gemessen)

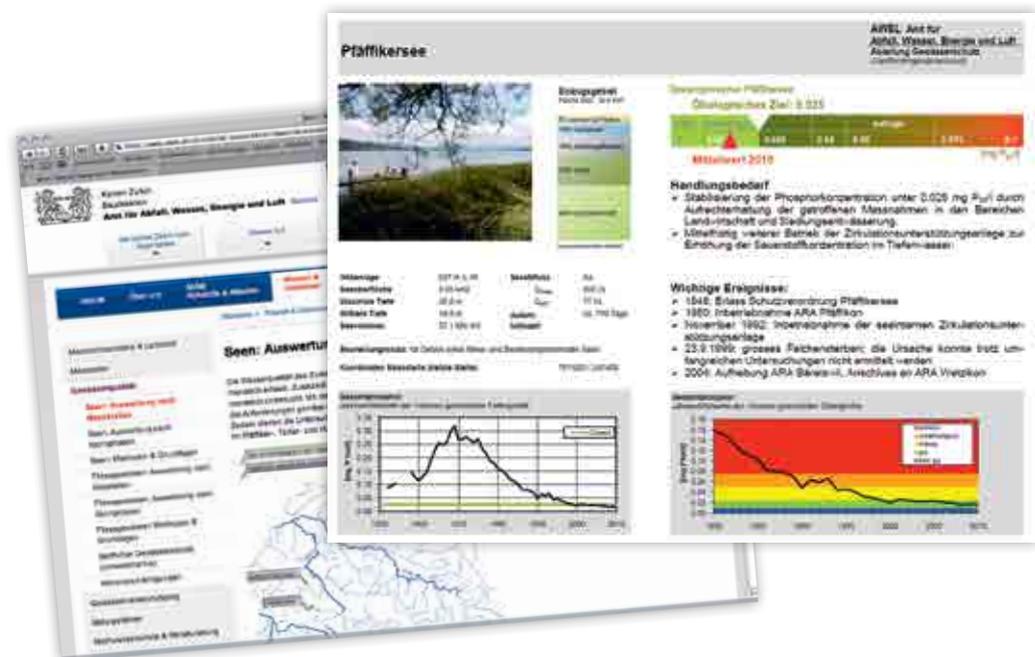
Temperatur	Phosphat
Sauerstoff	Gesamtphosphor
Leitfähigkeit	partikul. Phosphor
pH-Wert	gelöster Phosphor
Trübung*	Chlorid *
Secchi-Tiefe	Sulfat*
	Schwefelwasserstoff*
Ammonium	Methan*
Nitrit	Chlorophyll
Nitrat	Zooplankton*
Gesamtstickstoff*	Phytoplankton*



PUBLIKATION DER RESULTATE

Basis für die Beurteilung der Wasserqualität sind die ökologischen Ziele und die Anforderungen der GSchV. 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 die qualitativen Anforderungen präzisiert. 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). Weitergehende Informationen zum Messprogramm und zu den Beurteilungsmethoden sind auf unserer Homepage zu finden.

Um die Öffentlichkeit über den Zustand der Seen zu informieren, werden die Messdaten aus der Umweltbeobachtung jährlich ausgewertet und die Ergebnisse zusammen mit Resultaten aus weiterführenden Studien beurteilt. Damit stehen für jeden See, in Abhängigkeit der vorhandenen Datengrundlagen, aktuelle Informationen zur Entwicklung der Wasserqualität und des Planktons sowie Tiefenprofile aus verschiedenen Jahren zu Verfügung. Weiterführende Fachberichte und Informationen zu den einzelnen Anlagen zur Zirkulationsunterstützung oder Belüftung sind ebenfalls vorhanden unter: www.gewaesserqualitaet.zh.ch





Fädige Grünalgen als Folge erhöhter Phosphorbelastung



PHOSPHOR

PHOSPHOR BESTIMMT DAS ALGENWACHSTUM

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 in Seen unerwünscht, weil dichte Algenteppiche als unschön wahrgenommen werden und bei deren Abbau Geruchsbelastungen entstehen können. Problematisch ist vor allem der Sauerstoffverbrauch beim Abbau der abgestorbenen Algen, weil dieser in den tieferen Wasserschichten zu einem Sauerstoffmangel führen kann. Fehlt Sauerstoff am Seegrund, kommt es zur Rücklösung von abgelagertem Phosphor aus dem Sediment. Zusätzlich zum Phosphoreintrag aus externen Quellen düngt sich der See damit selbst.

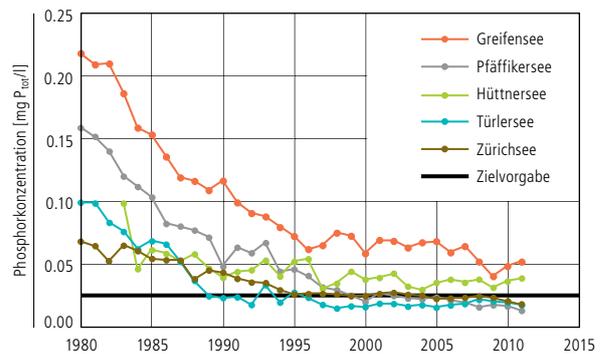
Gemäss Anhang 2 GSchV darf der Nährstoffgehalt im See höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulassen, falls nicht besondere natürliche Verhältnisse vorliegen.

ENTWICKLUNG DER PHOSPHORKONZENTRATION

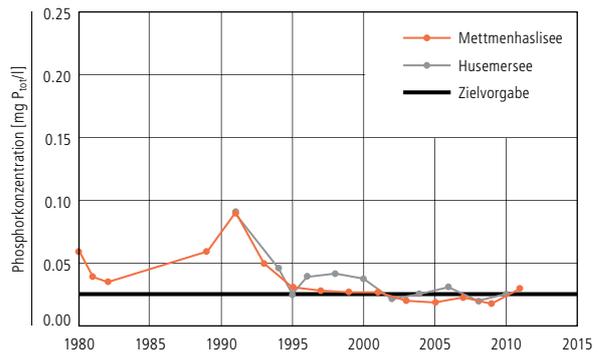
In den vergangenen Jahrzehnten wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Phosphorbelastung zu reduzieren und damit den Zustand der Seen zu verbessern. Dazu wurde die Siedlungsentwässerung ausgebaut sowie die Reinigungsleistung der ARA kontinuierlich verbessert. Für Haushalte wurden phosphathaltige Waschmittel verboten, und die Landwirtschaft wurde verstärkt auf integrierte oder biologische Produktion ausgerichtet. Als Folge dieser Massnahmen sanken die Phosphorkonzentrationen in den grossen Seen seit Beginn der Siebzigerjahre rasch ab. In den letzten 15 Jahren gingen die Phosphorkonzentrationen jedoch nur noch langsam zurück oder stagnierten, da in den letzten Jahrzehnten der Nutzungsdruck und die Bevölkerung in den Einzugsgebieten vieler Seen stark zunahmen.

Gesamtphosphorkonzentration seit 1980

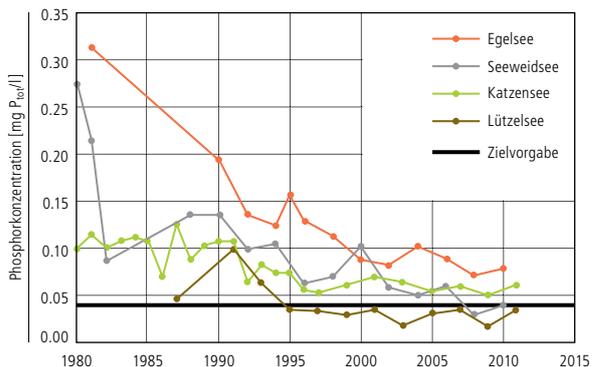
Jahresmittelwerte der Volumen gewichteten Tiefenprofile
 Natürlicherweise wenig bis mässig nährstoffreiche grosse Seen (Zielvorgabe: 0.025 mg P_{tot}/l)



Natürlicherweise wenig bis mässig nährstoffreiche Kleinseen (Zielvorgabe: 0.025 mg P_{tot}/l)



Natürlicherweise nährstoffreiche Kleinseen (Zielvorgabe: 0.04 mg P_{tot}/l)





Der Zürich-, Türl- und Pfäffikersee wären unter natürlichen Bedingungen nährstoffarme Seen mit Phosphorkonzentrationen unter $0.01 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$ und relativ geringem Algenwachstum. Die heutigen Phosphorkonzentrationen erfüllen zwar die Zielvorgaben ($0.025 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$) bezüglich des Gesamtphosphorgehaltes seit 1999, resp. 1989 und 1999, liegen aber über den natürlichen Hintergrundkonzentrationen. Seit Mitte der Neunzigerjahre sank die Phosphorkonzentration in allen drei Seen nur noch zögerlich.

Auch der Greifensee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer See mit Phosphorkonzentrationen unter $0.02 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$. Die mittlere Phosphorkonzentration konnte zwischen 1969 und 2011 von 0.5 mg auf rund $0.05 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$ gesenkt werden. Der See weist damit immer noch deutlich höhere Nährstoffkonzentrationen auf, als unter natürlichen Bedingungen zu erwarten wären. Erfreulich ist jedoch, dass die Phosphorkonzentration trotz starkem Wachstum der Siedlungen in den letzten vier Jahren weiter gesunken ist.

Der Hüttnersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer bis mässig nährstoffreicher See. Mit der aktuellen Phosphorkonzentration, die seit rund 15 Jahren bei zirka $0.037 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$ liegt, wird das Ziel bezüglich des Gesamtphosphorgehaltes noch nicht erfüllt.

Auch in den Kleinseen nahm die Phosphorbelastung seit Beginn der ersten Messungen ab, allerdings reichen die Messreihen nicht so weit zurück wie bei den grossen Seen. Während die grossen Seen unter natürlichen Verhältnissen höchstens mässige Nährstoffkonzentrationen aufweisen würden, gibt es bei den Kleinseen auch solche, die natürlicherweise einen hohen Nährstoffgehalt haben und deshalb in Bezug auf den Phosphorgehalt weniger streng beurteilt werden.

Im natürlicherweise mässig nährstoffreichen Mettmensli- und Husermersee sind die Gesamtphosphorkonzentrationen seit 1990 deutlich zurückgegangen. Seit 2001 schwanken sie im Bereich der Zielvorgabe von $0.025 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$.

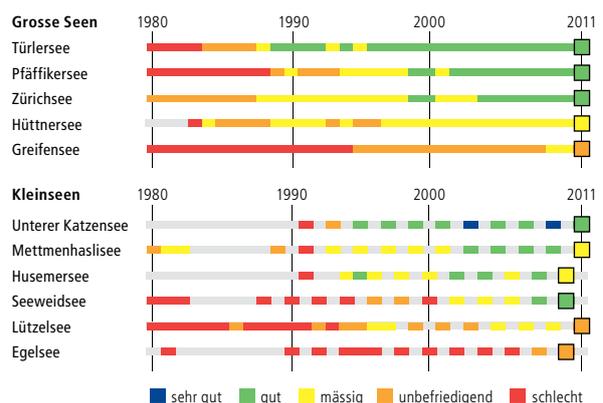
Im natürlicherweise nährstoffreichen Egelsee, Seeweidsee, Lützelsee und Katzenssee gingen die Phosphorkonzentrationen seit Beginn der Messungen ebenfalls stark zurück. Seit Mitte der Neunzigerjahre erfüllt der Katzenssee und seit 2008 erstmals der Seeweidsee die Zielvorgabe von $0.04 \text{ mg P}_{\text{tot}}/\text{l}$.

BEURTEILUNG DER PHOSPHORBELASTUNG

Die Phosphorkonzentrationen im Türl-, Pfäffiker- und Zürichsee können heute als gut beurteilt werden. Im Hüttner- und im Greifensee sind die Konzentrationen nach wie vor zu hoch und werden als mässig resp. knapp unbefriedigend beurteilt.

Von den Kleinseen weisen der Katzen- und der Seeweidsee einen guten Zustand auf. Im Mettmensli- und noch stärker im Husermersee schwankt der Zustand seit dem Jahr 2001 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 unbefriedigend hoch.

Beurteilung der Gesamtphosphorkonzentration seit 1980





Fischeier benötigen für die Entwicklung viel Sauerstoff.

SAUERSTOFF

Der gelöste Sauerstoff im Wasser ist für die Lebewesen im Gewässer von grösster Bedeutung. In den Seen begrenzt ein zu niedriger Sauerstoffgehalt den Lebensraum der Fische, Krebse und anderen Wassertiere. Als Qualitätsziel für stehende Gewässer fordert die GSchV, dass der Sauerstoffgehalt zu keiner Zeit und in keiner Tiefe weniger als 4 mg O₂/l betragen soll. Diese Konzentration reicht für ein Überleben der natürlicherweise vorkommenden Tiere aus. Tiefere Sauerstoffkonzentrationen können in Seen vorkommen, die nicht regelmässig zirkulieren oder von Natur aus nährstoffreich sind. Tiere und Pflanzen, die in solchen Gewässern heimisch sind, können mit den dort herrschenden Lebensbedingungen umgehen.

Die Sauerstoffverhältnisse im See werden einerseits beeinflusst durch die Photosynthese der Algen, bei der als Nebenprodukt Sauerstoff freigesetzt wird. Andererseits kommt es durch den Abbau von organischem Material zu einem Sauerstoffverbrauch. Unterscheiden sich die Sauerstoffkonzentrationen zwischen Wasser und Luft, wird so lange Sauerstoff zwischen den beiden Kompartimenten ausgetauscht, bis die Konzentrationsunterschiede ausgeglichen sind.

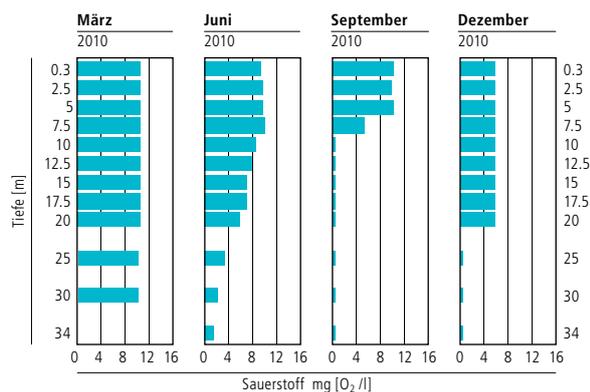
In einem See zeigen die Sauerstoffkonzentrationen aufgrund der sich ändernden Licht- und Temperaturverhältnisse einen charakteristischen Jahresverlauf.

Im Spätwinter, bei einheitlichen Wassertemperaturen von der Seeoberfläche bis zum Seegrund (Zirkulationsphase), sind die Sauerstoffkonzentrationen in den verschiedenen Tiefenstufen weitgehend ausgeglichen.

Im Frühling beginnen sich die oberen Wasserschichten durch die Sonneneinstrahlung zu erwärmen. Die Algen vermehren sich und geben durch Photosynthese Sauerstoff ins Wasser ab, was zu erhöhten Sauerstoffkonzentrationen im oberflächennahen Wasser führt. Weil mit zunehmender Erwärmung im Sommer der See immer stabiler geschichtet wird (Stagnationsphase), gelangt kein Sauerstoff in tiefere Wasserschichten. Abgestorbene Algen sinken nach unten, ihr Abbau verbraucht Sauerstoff, was zu einem Rückgang der Sauerstoffkonzentrationen im tieferen Wasser führt.

Zudem führt der Abbau von in früheren Jahren abgelagerten Tieren und Pflanzen am Seegrund zu einem weiteren Sauerstoffverbrauch. Je nach Algenwachstum, der Tiefe des Sees und dem darin vorhandenen Sauerstoff breitet sich in nährstoffreichen Seen vom Grund her eine sauerstofffreie Zone immer weiter gegen die Seeoberfläche hin aus. Während der herbstillischen Abkühlung werden die Temperatur- und Dichteunterschiede zunehmend geringer, so dass die Wassermassen, angeregt durch Herbststürme, 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, wodurch die Konzentrationsunterschiede zwischen dem oberflächennahen Wasser und dem Tiefenwasser ausgeglichen werden.

Sauerstoffkonzentrationen in einem nährstoffreichen See im Jahresverlauf

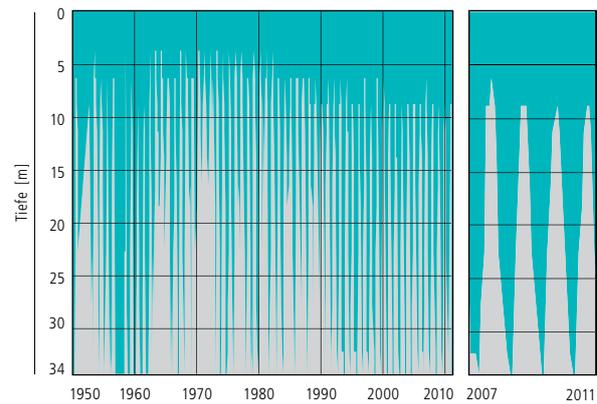




Bei hohen Wassertemperaturen kommt es im Sommer regelmässig zu kritischen Situationen für Fische.

Sauerstoffkonzentration im Pfäffikersee seit 1950

Ausdehnung der sauerstoffarmen (< 4 mg O₂/l, graue Flächen) und sauerstoffreichen (> 4 mg O₂/l, blaue Flächen) Bereiche im See seit 1950



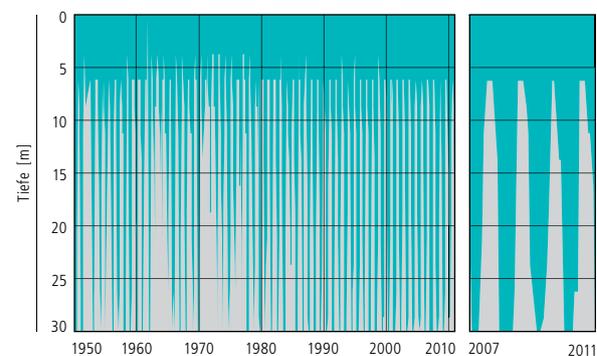
BEURTEILUNG DER SAUERSTOFFKONZENTRATION

Trotz Rückgang der Phosphorkonzentrationen und dem dadurch verminderten Algenwachstum können in allen grossen Seen die gesetzlichen Anforderungen für Sauerstoff von 4 mg O₂/l in allen Tiefen nicht ganzjährig eingehalten werden. Grosse Bereiche aller Seen sind während mehrerer Monate sauerstofffrei und können deshalb nicht von Fischen und anderen Tieren besiedelt werden. Natürliche Sauerstoffverhältnisse werden sich in allen Seen noch lange nicht einstellen, auch wenn sich die Situation in allen Seen verbessert hat. Dies soll am Beispiel von Pfäffiker- und Greifensee gezeigt werden.

Mitte der 50-er bis Ende der 70-er Jahre dehnte sich im Pfäffiker- und Greifensee die sauerstofffreie Zone im Sommer regelmässig vom Grund bis 3.5 m unter die Seeoberfläche aus. Den Fischen und anderen Lebewesen standen deshalb nur die obersten 3.5 m der Seen als Lebensraum zu Verfügung. Weil der Pfäffikersee natürlicherweise nur etwa jeden zweiten Winter bis zum Grund vollständig durchmischt, blieb das Tiefenwasser über mehrere Jahre sauerstofffrei. Aus diesem Grund wurde 1992 im Pfäffikersee eine Anlage zur Unterstützung der Zirkulation in Betrieb genommen, die bewirkte, dass der See jährlich vollständig zirkulierte und das Tiefenwasser mit Sauerstoff angereichert wurde. Diese Massnahme führte, zusammen mit dem Rückgang der Phosphorbelastung, in den letzten 10 Jahren zu einer genügend hohen Sauerstoffkonzentration in den obersten 8.5 m des Sees. Die Zirkulationsanlage wurde im Frühling 2011 ausser Betrieb genommen. Aufgrund der aktuellen Phosphoreinträge in den See und der jährlich gebildeten Algenmenge wird mit keiner wesentlichen Verschlechterung der Sauerstoffsituation in der für Felchen wichtigen Wasserschicht von 5–8.5 m Tiefe gerechnet.

Auch im Greifensee hat sich die Sauerstoffsituation verbessert. Im Vergleich zum Pfäffikersee standen den Fischen

Sauerstoffkonzentration im Greifensee seit 1950



im Greifensee in den letzten 10 Jahren im Hochsommer aber nur die obersten 6 m des Sees als Lebensraum zu Verfügung. Bei hohen Wassertemperaturen kommt es deshalb im Sommer regelmässig zu kritischen Situationen für Fische, insbesondere Felchen. In den oberflächennahen Wasserschichten mit genügend Sauerstoff ist die Wassertemperatur für die Felchen zu hoch, in den tieferliegenden Wasserschichten mit geringeren Wassertemperaturen ist dagegen die Sauerstoffkonzentration zu tief. Um in den kritischen Sommermonaten ein örtlich begrenztes Fischrefugium mit erhöhten Sauerstoffkonzentrationen zu schaffen, wurde im Frühling 2009 eine Belüftungsanlage in Betrieb genommen, deren Wirkung im Sommer 2012 nachgewiesen werden konnte.

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

Phytoplankton: Wimperkugel (*Volvox sp.*)Zooplankton: Wasserfloh (*Daphnia sp.*)

PLANKTON

PHYTOPLANKTON

Unter Phytoplankton versteht man im Wasser frei schwimmende Algen. In dieser vielgestaltigen Gruppe kommen einzellige und mehrzellige fädige Organismen sowie Zellkolonien vor. Einige davon können sich aktiv fortbewegen. Das 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). Je mehr Nährstoffe in einem See vorhanden sind, desto mehr Algen können darin wachsen.

ZOOPLANKTON

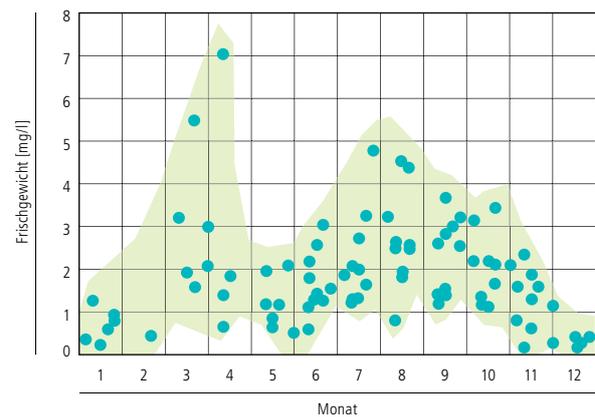
Unter Zooplankton versteht man mikroskopisch kleine Tiere, die im Wasser schweben. Das Zooplankton ist ein wichtiger Bestandteil der Nahrungskette im Ökosystem See. Die algenfressenden Zooplankter reduzieren die Biomasse des Phytoplanktons, während die Zooplankter ihrerseits von räuberischen Zooplankter und verschiedenen Fischarten gefressen werden. Insbesondere als Nahrungsgrundlage vieler Jungfische kommt dem Zooplankton grosse Bedeutung zu.

PLANKTONENTWICKLUNG IM JAHRESVERLAUF

Bei steigendem Sonnenstand und beginnender Temperaturschichtung des Wasserkörpers setzt in nährstoffreichen Seen im Frühjahr ein explosionsartiges Wachstum der Algenpopulationen ein (Frühjahrsblüte). Algenfressende Zooplankter beginnen sich aufgrund des guten Nahrungsangebotes ebenfalls stark zu vermehren. Nach wenigen Wochen nimmt die Algenbiomasse durch die intensive Nahrungsaufnahme des Zooplanktons wieder ab. Der See durchläuft das Klarwasserstadium. Wegen fehlender Nahrung sterben nun auch die Zooplankter ab, was erneut ein verstärktes Algenwachstum erlaubt. Dieses Wechselspiel kann sich im Sommer und Herbst noch mehrmals in abge-

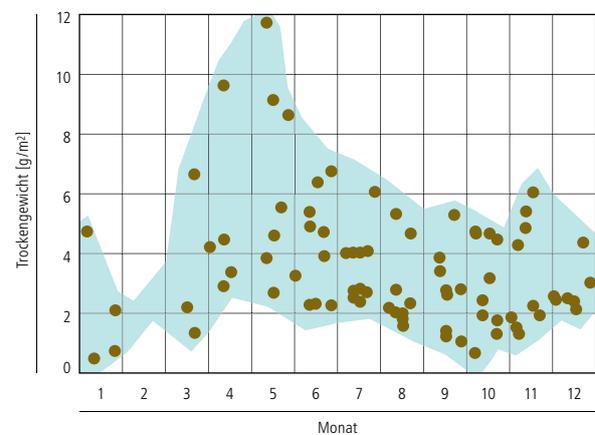
Algenbiomasse im Türlerse

89 Proben zwischen 1982 und 1991



Zooplanktonbiomasse im Türlerse

84 Proben zwischen 1982 und 1991



schwächer Form wiederholen. Sind in dieser Zeit genügend Nährstoffe vorhanden, können einzelne Algenarten innert wenigen Tagen sehr hohe Dichten erreichen. Algenblüten sind bei Badegästen unbeliebt und können auch für Fische ein Problem darstellen, da es Algenarten gibt, die toxische Substanzen ausscheiden können.



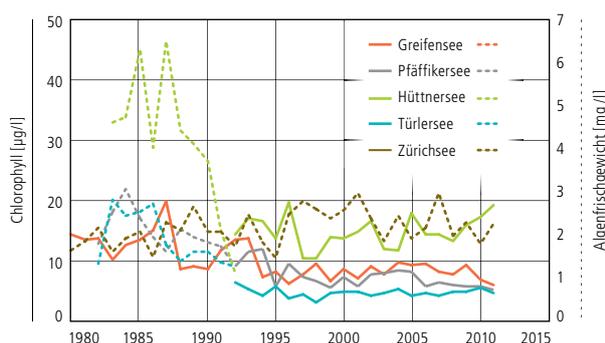
ENTWICKLUNG DER ALGENMENGE

Mit der Reduktion der Phosphorbelastung ist die Algenmenge in allen grossen Seen ausser im Zürichsee bis Mitte der Neunzigerjahre gesunken. Seither ist die Algenmenge, ähnlich der Phosphorkonzentration, nicht mehr wesentlich zurückgegangen.

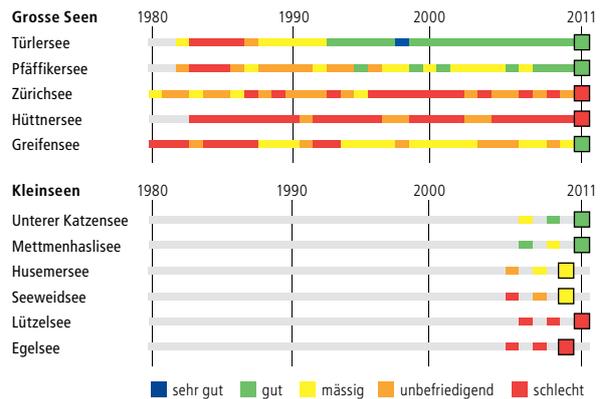
Kieselalgen besitzen eine Schale aus Kieselsäure, die in Sedimentablagerungen erhalten bleiben. Aus Sedimentkernen lässt sich daher die Zusammensetzung der Kieselalgenarten vergangener Zeiten rekonstruieren. Aufgrund der Artenzusammensetzung kann auf die zu Lebzeiten der Algen herrschenden Nährstoffverhältnisse geschlossen werden. In allen untersuchten Seen dominierten anfangs des 18. Jahrhunderts Kieselalgen, die wenig bis schwach nährstoffreiche Gewässer bevorzugen. Heute dominieren in allen Seen noch immer nährstoffliebende Arten. Im Türlersee, wo die Phosphorkonzentration bereits seit Anfang der Neunzigerjahre einen guten Zustand aufweist, ist der Anteil an nährstoffliebenden Arten allerdings bereits zurückgegangen und bestätigt damit die Gesundung des Sees [19].

Entwicklung der Algenmengen seit 1980

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



Zustand Algenmenge seit 1980



BEURTEILUNG DER ALGENMENGE

Im Türlersee konnte die Algenmenge bereits Mitte der Neunzigerjahre, im Pfäffikersee seit 2008 regelmässig als gut beurteilt werden. Im Greifensee befand sich die Algenmenge erstmals 2011 in einem guten Zustand. Gleichzeitig traten im Sommer 2011 hohe Algendichten an der Seeoberfläche auf. Zusammen mit der aktuellen Phosphorkonzentration im Greifensee deutet alles darauf hin, dass sich der Zustand des Sees zwar deutlich verbessert, aber noch nicht auf tiefem Niveau stabilisiert hat. Auch im Hüttnersee gingen die Algenmengen seit Anfang der Achtzigerjahre massiv zurück, müssen aber noch immer als schlecht beurteilt werden. Sporadisch können unansehnliche Algenansammlungen an der Seeoberfläche und im Uferbereich beobachtet werden.

Im Zürichsee hat 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. Es wird vermutet, dass sie sich u.a. auch aufgrund der durch die Klimaerwärmung veränderten Mischungsverhältnisse im See gegenüber anderen Arten durchsetzen konnte. Da die Burgunderblutalge in grösserer Tiefe lebt, sind Massentwicklungen dieser Art weniger offensichtlich. Ihr Abbau aber führt genauso zu einem unerwünschten Sauerstoffverbrauch im Tiefenwasser.

Die Algenmengen in den Kleinseen werden erst seit 2006 überwacht. Die bisherigen Resultate deuten darauf hin, dass die Algenentwicklung in allen Seen so verläuft, wie aufgrund der sinkenden Phosphorkonzentrationen zu erwarten ist. Im Katzen- und Mettmenhaslisee wird die Algenmenge als gut, im Husemer- und Seeweidsee als mässig und im Egel- und Lützelsee als schlecht beurteilt.

SYNTHESE UND HANDLUNGSBEDARF



ZÜRICHSEE

Der See weist heute einen guten Zustand bezüglich des Phosphors, aber weiterhin einen schlechten bezüglich der Algenmenge auf.

Die Dichte der Algen ist zwar zurückgegangen, aber weil die Algen in grössere Tiefen vordringen, blieb die Biomasse pro m² Seeoberfläche unverändert. Im Winter zirkuliert der See regelmässig bis in eine Tiefe von 80 m, alle paar Jahre bis zum Grund. Dies führt zusammen mit den hohen Algenmengen und dem am Seegrund abgelagerten organischen Material dazu, dass die untersten 35 m des Sees regelmässig sauerstoffarm sind. Aufgrund der grossen Seetiefe ist diese sauerstoffarme Tiefenzone weniger negativ zu bewerten als in flacheren Seen, entspricht aber nicht dem natürlichen Zustand.

Unter natürlichen Verhältnissen wäre der Zürichsee ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum und Sauerstoff bis zum Seegrund.

Zur Erreichung von sauerstoffhaltigem Tiefenwasser ist auch im Zürichsee eine weitere Reduktion der Phosphorkonzentration anzustreben. Die ARA im Einzugsgebiet des Zürichsees sind mit Phosphatfällung und Flockungsfiltration ausgerüstet und erfüllen die verschärften Anforderungen für Gesamtphosphor, die im Einzugsgebiet von Seen gelten. Allerdings gelangt bei Entlastungsereignissen ungeklärtes Abwasser mit hohen Phosphorkonzentrationen in den See. Mit einer Reduktion der Häufigkeit von Entlastungsereignissen könnte der Phosphoreintrag in den See weiter vermindert werden. Um den aktuellen Zustand zu halten, müssen die Anlagen in ihrem Wert erhalten, dem technischen Fortschritt und der Bevölkerungsentwicklung angepasst werden. Die Entwicklung der im See dominierenden Burgunderblutalge wird massgeblich durch das Zirkulationsverhalten gesteuert und wird damit von der Klimaerwärmung beeinflusst. Da der See als Trinkwasserreservoir dient, wird auch in Zukunft, neben dem chemischen Zustand, die Entwicklung der Algenmenge und -zusammensetzung in Zusammenarbeit mit der Wasserversorgung Zürich intensiv überwacht.

GREIFENSEE

Die Phosphorkonzentration wird zurzeit als knapp unbefriedigend, die Algenmenge als knapp gut beurteilt. Im Sommer ist ab einer Tiefe von 6 m nicht mehr genügend Sauerstoff für Fische vorhanden.

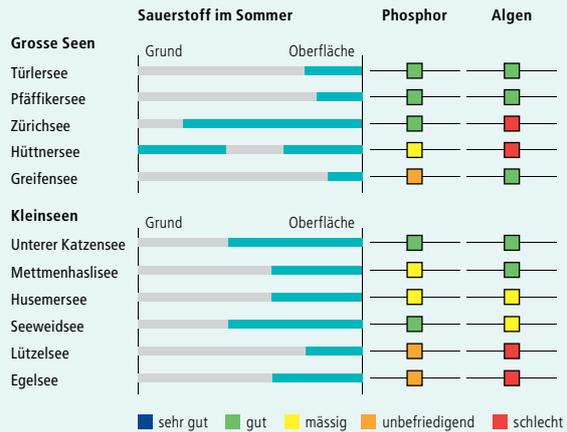
Mit der im Frühling 2009 in Betrieb genommenen Belüftungsanlage wird in den kritischen Sommermonaten ein örtlich begrenztes Fischrefugium mit erhöhten Sauerstoffkonzentrationen geschaffen. Die Sauerstoffverhältnisse im gesamten See können dadurch aber nicht wesentlich beeinflusst werden.

Unter natürlichen Verhältnissen wäre auch der Greifensee ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum. In drei von vier Wintern zirkuliert er bis zum Grund und hat danach im Frühling sauerstoffgesättigtes Wasser bis zum Grund.

Erfreulich ist, dass die Phosphorkonzentration im Greifensee weiter abnimmt. Seit Beginn der Messungen wurden noch nie so tiefe Phosphorkonzentrationen gemessen wie in den letzten vier Jahren. Da der Nutzungsdruck im Einzugsgebiet stetig steigt, kann bereits ein Halten des aktuellen Zustandes als Erfolg gewertet werden. Aufgrund der kürzlich abgeschlossenen Erweiterung der ARA Uster und der sich noch in Bau oder Planung befindenden Anlagen (ARA Hinwil, ARA Egg-Oetwil, ARA Gossau) gehen wir davon aus, dass dieser Trend noch weiter anhält. Eine Studie der Eawag zeigt, dass zur Erreichung von sauerstoffhaltigem Wasser in allen Seetiefen die Phosphorkonzentration von aktuell 0.052 mg P_{tot}/l auf weniger als 0.030 mg P_{tot}/l gesenkt werden muss [20]. Dieses Ziel – vor einigen Jahren noch in weiter Ferne – scheint inzwischen längerfristig nicht mehr unerreichbar. Dazu müssen die Anstrengungen zur weiteren Reduktion der Phosphoreinträge allerdings in allen Bereichen weiter fortgesetzt werden.

Aktueller Zustand der Seen im Vergleich

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



Bei den aktuellen Phosphorkonzentrationen kann es bei ungünstigen klimatischen Bedingungen nach wie vor zu Massentwicklungen von Algen kommen. Das geschah im Spätsommer 2011, als eine Massentwicklung von Blaualgen im Greifensee eine starke Trübung des Wassers verursachte und grossflächig Schaum auf dem See und im Uferbereich auftrat. Selbst in der Glatt, dem Abfluss des Greifensees, war während zwei Monaten regelmässig Schaum sichtbar. Dieser Schaum, wie auch andere sichtbare Beeinträchtigungen der Wasserqualität, werden von der Bevölkerung meistens stärker wahrgenommen als die erzielten Verbesserungen der Wasserqualität, die langsam vor sich gehen und deshalb kaum Aufmerksamkeit erregen.

PFÄFFIKERSEE

Aktuell weist der See einen guten Zustand bezüglich Phosphor und Algenmenge auf, dennoch ist im Sommer ab 8.5 m Tiefe nicht mehr genügend Sauerstoff vorhanden.

Auch der Pfäffikersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum. Bis 1900 dürfte das Tiefenwasser aufgrund der tiefen Phosphorkonzentrationen nahezu durchgehend sauerstoffhaltig gewesen sein. Ohne Zirkulationsanlage wird der See zirka alle zwei Jahre vollständig zirkulieren.

Zur Erreichung von sauerstoffhaltigem Wasser in allen Seetiefen muss der Phosphorgehalt im See nochmals um zirka 10% reduziert werden, zeigt eine Studie der Eawag [20]. Dieses Ziel dürfte mittelfristig erreichbar sein. Aufgrund dieser positiven Perspektive wurde der Betrieb der Anlage zur Unterstützung der Zirkulation im Frühjahr 2011 eingestellt, da der erforderliche Neubau der Kompressoranlage nicht mehr gerechtfertigt war.

TÜRLERSEE

Die Phosphorkonzentrationen und Algenmengen im See werden heute als gut beurteilt. Die Zusammensetzung der Kieselalgencommunity bestätigt, dass sich der Seezustand stark verbessert hat. Dennoch ist im Sommer ab 6 m Tiefe nicht mehr genügend Sauerstoff vorhanden.

Der Türlersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein nährstoffarmer See mit geringem Algenwachstum. Aufgrund seiner windgeschützten Lage würde er unter natürlichen Verhältnissen höchstens alle paar Jahre im Winter vollständig zirkulieren. Da der See bis 1900 sehr geringe Phosphorkonzentrationen aufwies, hat der vorhandene Sauerstoff trotz schwacher Mischung ausgereicht, um das absinkende organische Material abzubauen. Das Tiefenwasser des Sees dürfte ursprünglich immer knapp sauerstoffhaltig gewesen sein.

Seit 1987 wird im See eine Anlage zur Unterstützung der Zirkulation betrieben, die im Winter dafür sorgt, dass der See vollständig zirkuliert. Eine Studie der Eawag zeigt, dass auch bei vollständiger Zirkulation im Winter der vorhandene Sauerstoff im See nicht ausreicht, das absinkende organische Material abzubauen [20]. Allerdings ist die Algenmenge im See inzwischen soweit zurückgegangen, dass die obersten 6 m des Sees heute als Lebensraum für Fische wieder ganzjährig zu Verfügung stehen. Auch bei einer unvollständigen Zirkulation werden diese oberflächennahen Schichten jeden Winter vollständig gemischt und mit Sauerstoff angereichert. Ein weiterer Betrieb der Zirkulationsanlage ist deshalb nicht mehr nötig, erhöht aber die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser. Dort sind positive Sauerstoffkonzentrationen erst zu erwarten, wenn die Phosphorkonzentration im See längerfristig unter 0.01 mg P_{tot}/l liegt, wie dies um 1900 der Fall war. Dazu müsste der Phosphoreintrag in den See nochmals um zirka 40% reduziert werden, was in Anbetracht des bereits relativ guten Seezustandes, kaum umsetzbar ist.



HÜTTNERSEE

Heute weist der See einen mässigen Zustand bezüglich Phosphor und einen schlechten bezüglich der Algenmenge auf. Die seit 1983 betriebene Zirkulations- und Belüftungsanlage sorgt für eine ganzjährige Erhöhung der Sauerstoffkonzentration. Trotzdem führen die absinkenden Algen jeden Sommer zu einer sauerstoffarmen Zone in einer Tiefe von 4–7 m.

Durch die Belüftung im Sommer steigen zudem die Temperaturen in den tieferen Wasserschichten an, was unerwünscht ist. Aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung im Einzugsgebiet mit einer Bewirtschaftung von teilweise steilen Hängen kann mittelfristig nicht mit einer Verbesserung des Seezustandes gerechnet werden.

Der Hüttnersee wäre unter natürlichen Verhältnissen ein mässig nährstoffreicher See mit mittlerem Algenwachstum, der jeden Winter vollständig zirkulieren würde. Unsere Kenntnisse über den natürlichen Zustand des Hüttnersees sind jedoch weniger gut abgesichert als in anderen Seen, da der See vor Inbetriebnahme der Belüftungsanlage nicht intensiv untersucht wurde und keine Sedimentuntersuchungen vorliegen.

Im Jahr 2013 sollen deshalb Sedimentuntersuchungen durchgeführt werden, die Auskunft über den früheren Nährstoffgehalt, die Sauerstoffverhältnisse und die Kieselalgenzusammensetzung im See geben werden. Zudem soll mittels einer Studie geklärt werden, ob die Zirkulations- und Belüftungsanlage im See weiterhin betrieben werden muss. Basierend auf diesen Auswertungen soll das Sanierungsziel für den See neu diskutiert und die Stossrichtung zukünftiger Massnahmen festgelegt werden.

KLEINSEEN

Der Katzen- und Seeweidsee werden in Bezug auf den Phosphorgehalt als gut, der Mettmehasl- und Husemersee als mässig beurteilt. Die Algenmenge reagiert verzögert auf den Phosphorrückgang und wird im Katzen- und Mettmehaslsee als gut, in den anderen beiden Seen als mässig beurteilt. Der Lützel- und der Egelsee weisen nach wie vor hohe Phosphorkonzentrationen und Algenmengen auf.

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 Katzen-, Seeweid-, Lützel- und Egelsee weisen im Sommer natürlicherweise sauerstoffarmes Tiefenwasser auf. Der Mettmehasl- und grosse Husemersee zirkulieren nicht jeden Winter und können aus diesem Grund verminderte Sauerstoffkonzentrationen aufweisen.

Der Zustand der Kleinseen kann nur mit weitergehenden Massnahmen im Bereich Landwirtschaft verbessert werden, da keine gereinigten häuslichen Abwässer in die Kleinseen eingeleitet werden.

Unser Wissen über den ursprünglichen Zustand der Kleinseen ist gering, da weder langjährige Messresultate noch Sedimentuntersuchungen vorliegen. Im Jahr 2013 sollen deshalb an ausgewählten Kleinseen Sedimentuntersuchungen durchgeführt werden, die Auskunft über den ursprünglichen Nährstoffzustand, die Sauerstoffverhältnisse und die Kieselalgenzusammensetzung geben werden. Diese neuen Erkenntnisse sollen helfen, das Sanierungsziel für die untersuchten Seen genauer als bisher festzulegen.



WASSER GUT – ALLES GUT?

Mit den bisher ergriffenen Gewässerschutzmassnahmen konnte die Nährstoffbelastung der Seen mit ihren unerwünschten Folgen erfolgreich reduziert werden. Der Zustand aller untersuchten Seen ist heute viel besser als zu Beginn der Achtzigerjahre. Zwar konnte das Sanierungsziel noch in keinem See vollständig erreicht werden, die Entwicklung geht aber überall in die richtige Richtung. Um diese Richtung beizubehalten, müssen die getroffenen Massnahmen weitergeführt und in einzelnen Einzugsgebieten verstärkt werden. Neben der Wasserqualität sollte in Zukunft aber auch der Bedeutung der Seen als natürlicher Lebensraum mehr Beachtung geschenkt werden. Damit unsere Seen eine natürliche Vielfalt an heimischen Pflanzen und Tieren aufweisen, braucht es neben sauberem Wasser mit genügend Sauerstoff und natürlichen Temperaturverhältnissen auch natürlich strukturierte Ufer.

Die Temperaturverhältnisse in den Seen werden zunehmend durch die Klimaerwärmung beeinflusst. Die Wassertemperatur auf fünf Meter Tiefe ist heute, je nach See, im Sommer durchschnittlich 0.5–2 °C höher als seit Beginn der Messungen um 1940.

Anlagen zu Heiz- und Kühlzwecken, die hauptsächlich am Zürichsee, vereinzelt aber auch an anderen Seen in Betrieb sind, beeinflussen die Temperaturverhältnisse ebenfalls. Allerdings führen solche Nutzungen aufgrund des grossen Verdünnungsverhältnisses von ungenutztem zu thermisch genutztem Wasser höchstens lokal zu einer Veränderung der Temperatur. Bisher konnten keine messbaren Veränderungen der natürlichen Temperaturverhältnisse durch diese Nutzungen festgestellt werden. Der Bedarf an

erneuerbaren Energien wird in Zukunft weiter ansteigen und die Verwendung von Seewasser als Wärme- und Kältequelle ist ökologisch sinnvoll. Um die Seen vor einer zukünftigen Übernutzung zu schützen, muss in den nächsten Jahren das Potential für die Nutzung der Seen als Wärme- und Kältequellen überprüft werden. Vordringlich sind diese Abklärungen insbesondere für den Zürichsee, wo bereits verschiedene Nutzungen vorhanden sind.

Die Nutzung der Seen als Quelle für Wärme und Kälte ist konzessions- und bewilligungspflichtig. Für eine Konzession müssen eine Reihe von Bedingungen erfüllt werden, die dafür sorgen, dass es auch lokal nicht zur Schädigung der Lebensgemeinschaften durch Temperaturveränderungen, Bauten und Leitungen kommt.



Intakte Seeufer sind für das gesamte Ökosystem des Sees von Bedeutung, da sie u.a. als Laichgebiet für verschiedene Fischarten dienen.



Zürichsee: Eine Aufwertung von verbauten Uferabschnitten wäre wünschenswert.

Intakte Seeufer, insbesondere Flachufer, sind mit ihrer natürlicherweise hohen Vielfalt an Pflanzen und Tieren für das gesamte Ökosystem des Sees von Bedeutung, da sie u.a. als Laichgebiet für verschiedene Fischarten dienen.

Bereits 1941 erliess der Regierungsrat eine Schutzverordnung für den Greifensee, mit der die Seeufer grösstenteils vor der Überbauung und anderen Eingriffen geschützt werden konnten. Mit dem gleichen Ziel wurden 1944 für den Türlensee, 1945 für den Hüttnersee und 1948 für den Pfäffikersee Schutzverordnungen erlassen. Aufgrund der starken Bevölkerungszunahme seit den Sechzigerjahren, der Intensivierung der Landwirtschaft und dem erhöhten Erholungsdruck mussten die Schutzverordnungen stetig den aktuellen Anforderungen angepasst werden. Dank diesen weitsichtig geplanten Schutzmassnahmen sind die Ufer dieser Seen auch heute noch weitgehend unverbaut.

Im Gegensatz dazu sind unverbaute Ufer am Zürichsee selten. Im Rahmen des Leitbilds Zürichsee 2050 wurde u.a. der Zustand der Ufer erhoben. Rund ein Drittel der Seeufer sind künstlich und z.B. mit Hafenanlagen oder Mauern verbaut. Diese Befestigungen verhindern die Erosion der Ufer, haben aber zu einer mehr oder weniger starken Beeinträchtigung der natürlichen Ufer geführt. Nur 6% der Ufer auf Kantonsgebiet sind noch naturnah.

Im Gegensatz zu den Fließgewässern gibt es bisher keine einheitlich erhobene Übersicht über den morphologischen Zustand der Zürcher Seeufer. Das revidierte GSchG, das seit 1. Januar 2011 in Kraft ist, verstärkt den Schutz für bisher unverbaute Uferabschnitte weiter. Wie bei den Fließgewässern muss bis Ende 2018 der Gewässerraum auch für

stehende Gewässer ausgeschieden werden. Zudem ist dem Bund bis 2018 eine Planung mit prioritär zu revitalisierenden Seeuferabschnitten einzureichen. Eine Aufwertung von verbauten Uferabschnitten wäre insbesondere am Zürichsee wünschenswert. Das Leitbild Zürichsee 2050 zeigt auf, wo Aufwertungspotential vorhanden ist [21]. Aufgrund des starken Nutzungsdruckes im Siedlungsgebiet erfordern solche Aufwertungen eine breit abgestützte und sorgfältige Planung. Dem Schutz der wenigen unverbauten Uferabschnitte mit ihren Lebensgemeinschaften kommt deshalb grosse Bedeutung zu.

Weitaus schwieriger als die morphologische Kartierung der Seeufer ist die Beurteilung des Zustandes der natürlicherweise in unseren Seen vorkommenden Pflanzen und Tieren. Einerseits fehlen schweizweit akzeptierte Methoden zur Beurteilung der verschiedenen Lebensgemeinschaften, und auch für den Kanton Zürich liegen nur vereinzelt aktuelle Untersuchungen vor. Andererseits wurden die historischen Daten für Zürcher Seen, die für die Beurteilung der aktuellen Befunde hilfreich wären, bisher nicht systematisch aufgearbeitet.

Eine Ausnahme davon stellen die Lebensgemeinschaften der Kieselalgen einiger Zürcher Seen dar, die mit Hilfe von Sedimentuntersuchungen bis zirka 1700 rekonstruiert werden konnten [19, 22, 23]. Dank diesen Untersuchungen kann die aktuelle Kieselalgenzusammensetzung besser beurteilt und der Fortschritt der Sanierungsmassnahmen verfolgt werden. Wie weit der Zustand der Lebensgemeinschaften des Phyto- und Zooplanktons, der Fische sowie der Algen und höheren Wasserpflanzen von einem natürlichen Zustand entfernt ist, kann dagegen zurzeit nur ungenügend beurteilt werden.



Neozoen können mit Booten verschleppt werden.



Viele aquatische Neozoen sind sehr klein und vermehren sich rasch: ihre Bekämpfung ist deshalb schwierig bis unmöglich.

Mit Aufmerksamkeit verfolgt wird die Ausbreitung gebietsfremder Tiere (Neozoen) in Zürcher Gewässern. Neozoen, die sich in neuen Regionen zu Land und zu Wasser ansiedeln, stellen weltweit ein zunehmendes Umweltproblem dar.

Seit der Öffnung des Rhein-Main-Donau-Kanals im Jahr 1992 erleben die Gewässer Mitteleuropas eine regelrechte Invasion von wirbellosen Wassertieren aus der Region der Donaumündung. Daneben schaffen auch immer mehr Organismen aus Übersee und aus dem mediterranen Raum den Sprung in mitteleuropäische Gewässer. Die meisten invasiven Neozoen im Wasser gehören zu den Weichtieren (Muscheln und Schnecken) oder zu den Krebstieren. Beide Gruppen vermehren sich über winzige Larvenstadien, die besonders leicht und unbemerkt verschleppt werden können. Da Süßwassertiere natürliche Barrieren wie Ozeane, Wasserscheiden und Landmassen nicht aus eigener Kraft überwinden, erfolgt die Ausbreitung in der Regel durch menschliche Hilfe (Verschleppung durch Schiffe, Wassersportgeräte, Frachtgut oder Freisetzung aus Aquarien und Weihern). Im Kanton Zürich sind typischerweise die am meisten von Menschen frequentierten Gewässer Zürichsee und Greifensee auch am stärksten von Neozoen besiedelt [24, 25].

Seit 1992 wurden in Zürcher Gewässern acht wirbellose Neozoen neu nachgewiesen. Der Höckerflohkrebs (*Dikergammarus villosus*) ist eine räuberische Art mit grossem ökologischen Gefährdungspotential, da er ähnliche Lebensräume wie einheimische Arten besiedelt und zudem sehr gefräßig ist. Verschiedene Arten von eingeschleppten Grosskrebsen sind Überträger der Krebspest und gefährden dadurch die einheimischen Krebsarten.

Eine Bekämpfung der aquatischen Neozoen ist schwierig bis unmöglich, da die meisten Arten nur wenige Millimeter bis Zentimeter gross sind und explosionsartig Bestände von Hunderten bis Tausenden von Tieren pro Quadratmeter bilden. Das Hauptaugenmerk muss deshalb bei der Prävention liegen: Durch konsequentes Reinigen und Trocknen von Booten und Wassersportgeräten vor dem Versetzen in ein anderes Gewässer könnten viele unbeabsichtigte Neozoen-Verschleppungen verhindert werden. Freisetzungen von Tieren aus Aquarien und Gartenteichen in öffentliche Gewässer sind gesetzlich verboten und auf jeden Fall zu unterlassen.

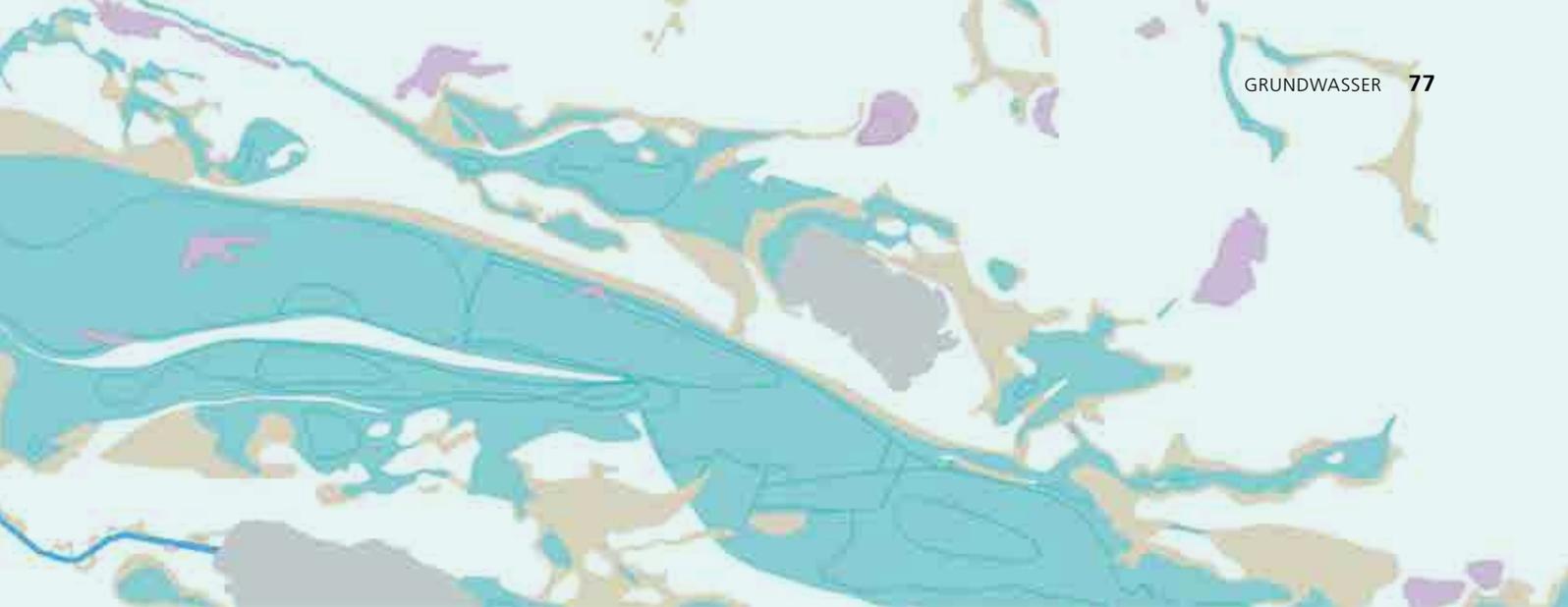
GRUNDWASSER



- 78 Bedeutung und Schutz
- 82 Quantitative Überwachung

- 84 Qualitative Überwachung
 - 87 Temperatur
 - 88 Bakteriologische Beschaffenheit
 - 88 Gesamthärte
 - 89 Chlorid
 - 90 Nitrat
 - 92 Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte
 - 94 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)
 - 96 Schwermetalle
 - 97 Weitere Mikroverunreinigungen

- 98 Synthese und Handlungsbedarf



Das Grundwasser und damit das aus ihm gewonnene Trinkwasser weisen im Kanton Zürich trotz hoher Siedlungsdichte und der damit einhergehenden zunehmenden Gefährdung durch die zahlreichen anthropogenen Tätigkeiten nach wie vor eine meist gute Qualität auf. Das erfreuliche Gesamtbild darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass es durchaus auch Problembereiche gibt, so zum Beispiel die teils zu hohen Nitratwerte oder die in Spuren nachweisbaren Mikroverunreinigungen.

Durch eine umsichtige Vergabe der Nutzungskonzessionen und mit der Überwachung der wichtigen Grundwasservorkommen wird sichergestellt, dass keine Übernutzung der Grundwasserressourcen stattfindet. Im Weiteren gilt es, bei Tiefbauten ins Grundwasser (z. B. Infrastrukturbauten oder Untergeschossen von Gebäuden) wesentliche Speicher- und Durchflusskapazitätsverluste zu vermeiden.

Ein besonderes Augenmerk erfordert zudem die in zunehmendem Mass erfolgende Wärme- und Kältenutzung des Grundwassers, damit es nicht zu einer unzulässigen thermischen Beeinträchtigung kommt.

60% des Trinkwassers stammen aus den unterirdischen Gewässern. Um den erreichten Standard bei der Wasserversorgung halten und wo nötig verbessern zu können, ist weiterhin eine sorgfältige Wassernutzungsplanung, ein umfassender Schutz des Grundwassers und eine repräsentative Grundwasserbeobachtung in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht unumgänglich.



BEDEUTUNG UND SCHUTZ

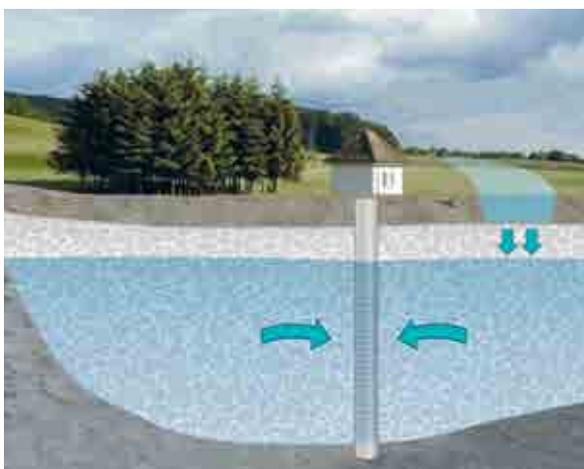
DIE GRUNDWASSERVORKOMMEN DES KANTONS ZÜRICH

Die ergiebigen und für die Trinkwassernutzung wichtigen Grundwasservorkommen des Kantons Zürich sind in den eiszeitlichen Schotterfüllungen der grossen Flusstäler von Limmat, Sihl, Glatt, Töss, Eulach, Thur und Rhein anzutreffen. Sehr häufig steht das im kiesigen Untergrund zirkulierende Grundwasser in einer engen wechselseitigen Beziehung zu den Oberflächengewässern. Die Infiltration von Flusswasser trägt neben der Niederschlagsversickerung in vielen Gebieten massgebend zur Grundwasserneubildung bei.

Die fluvioglazialen Schotter stellen hoch permeable Grundwasserleiter dar und weisen in der Regel grosse nutzbare Mächtigkeiten auf. Diese hydrogeologisch günstigen

Voraussetzungen erlauben den Bau von Filterbrunnen mit hoher Entnahmeleistung, weshalb diese Grundwasservorkommen für die Trinkwassernutzung von vorrangiger Bedeutung sind.

Neben den verbreitet anzutreffenden Schottervorkommen in den Talsohlen sind in höheren Lagen Relikte älterer Schotter vorhanden. Diese stellen meist wichtige Quellsammler auf Plateaus dar. Entlang dem Rand der hoch liegenden Schotter tritt das Grundwasser der Schwerkraft folgend in Form von Quellen zu Tage und bildet eigentliche Quellhorizonte. Für die Nutzung in vertikalen Fassungen sind diese Grundwasservorkommen wegen der beschränkten Grundwassermächtigkeit hingegen nur selten geeignet.



Grundwasserfassung in einem Schotter-Grundwasserleiter mit Infiltration von Flusswasser

Anteile von Quell-, Grund- und Seewasser an der Trinkwasserversorgung





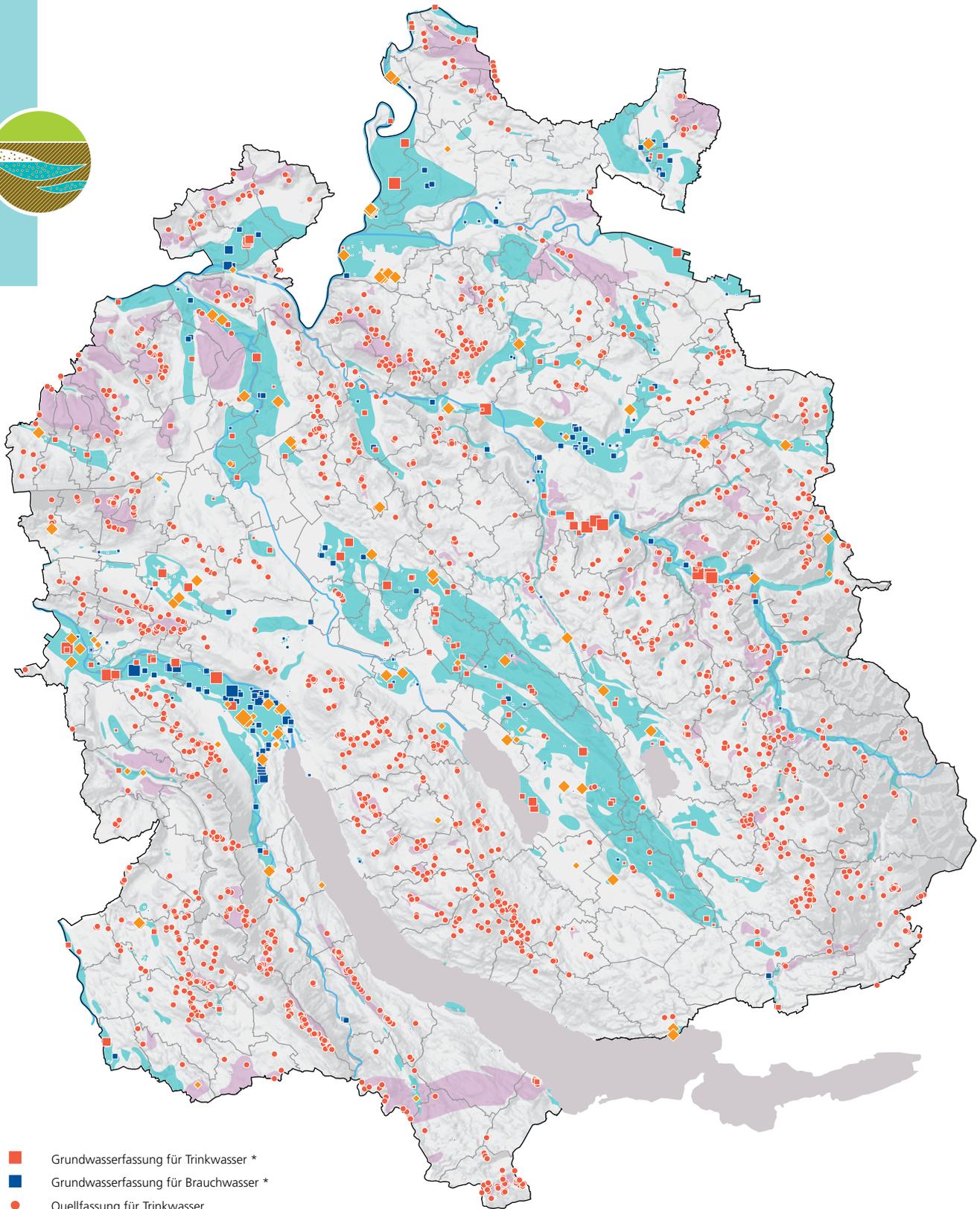
ROHSTOFF FÜR UNSER TRINKWASSER UND WICHTIGER BESTANDTEIL DES ÖKOSYSTEMS

Mit einem Anteil von etwa 60% tragen das Grund- und das Quellwasser massgeblich zu einer einwandfreien Trinkwasserversorgung der ca. 1.4 Millionen Einwohner im Kanton Zürich bei. Täglich werden rund 250 Millionen Liter Grundwasser gefördert und in naturnaher Qualität, weitgehend ohne jegliche Aufbereitung, direkt in das Leitungsnetz eingespeist. Wie selbstverständlich sprudelt es in jedem Haushalt und zu jeder Zeit als erfrischendes Trinkwasser aus dem Wasserhahn.

Grundwasser ist aber nicht nur eine wichtige Ressource für die Trinkwasserversorgung. Als Teil des natürlichen Wasserkreislaufs erfüllt es auch bedeutende ökologische Funktionen, z.B. um Feuchtgebiete zu erhalten oder um in Bächen bei Trockenheit eine minimale Wasserführung zu ermöglichen.

GEFÄHRDUNGEN

Im Vergleich zu oberirdischen Gewässern ist das im Untergrund zirkulierende Grundwasser vor anthropogenen Verunreinigungen besser geschützt. In den vergangenen Jahrzehnten haben aber die Gefährdungen durch Siedlungen, Verkehr, Industrie und Landwirtschaft – insbesondere in dicht besiedelten Gebieten wie dem Kanton Zürich – stark zugenommen. Zumeist sind es diffuse Einträge von Schadstoffen, die das Grundwasser belasten und welche sich oftmals nur langsam bemerkbar machen. Als jüngstes Beispiel sind die organischen Spurenstoffe im Grundwasser zu nennen, welche dank neuester Analysetechnik seit einigen Jahren nachweisbar sind. Diese Mikroverunreinigungen treten zwar nur in geringsten Konzentrationen auf, ihre Entwicklung und allfällige von ihnen ausgehende Gefährdungen müssen aber sorgfältig beobachtet werden.



- Grundwasserfassung für Trinkwasser *
- Grundwasserfassung für Brauchwasser *
- Quelfassung für Trinkwasser
- ◆ Grundwasserfassung für thermische Nutzung

- nutzbare Schotter-Grundwasservorkommen, meistens in Talsohlen
- z.T. nutzbare Schotter-Grundwasservorkommen, über den Talsohlen (Quellsammler)

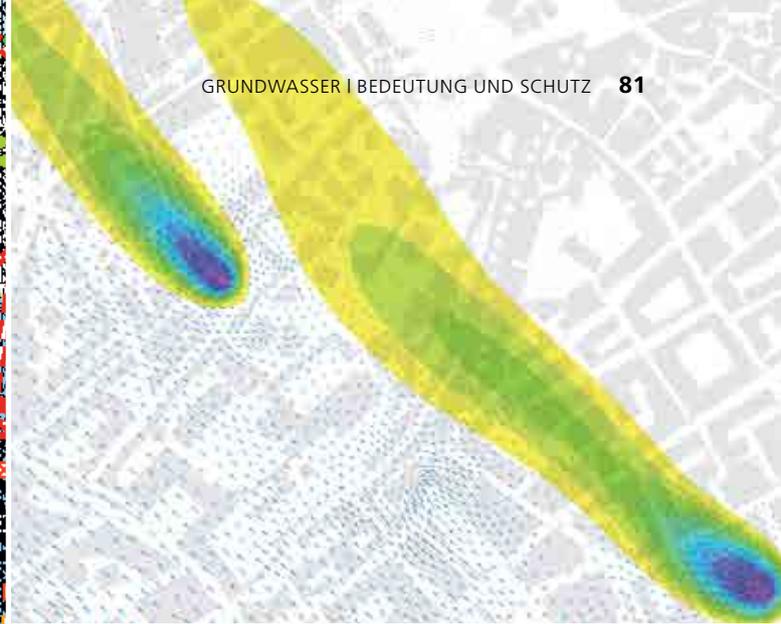
* Symbolgrösse skaliert nach konzessionierter Fördermenge

0 2 4 6 8 10 Km





Ausschnitt aus Wärmenutzungsatlas (www.grundwasser.zh.ch)



Modellierung von thermischen Grundwassernutzungen

GRUNDWASSERSCHUTZ

Undichte Heizöltanks, Versickerungen von belastetem Abwasser, Bauvorhaben im Grundwasser, Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen, Altlasten, Pflanzenschutzmittel und andere Risiken aus menschlichen Aktivitäten können unser Trinkwasser gefährden. Wegen der grossen Bedeutung der unterirdischen Gewässer für die Trinkwasserversorgung hat der vorsorgliche Schutz des Grundwassers oberste Priorität. Der Schutz des Grundwassers ist auch in quantitativer Hinsicht erforderlich. 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 das Grundwasser auch künftigen Generationen in einwandfreier Qualität und in ausreichender Quantität zur Verfügung steht und jederzeit eine sichere Trinkwasserversorgung möglich ist.

Das entscheidende Instrument für den planerischen Schutz der unterirdischen Gewässer ist die Gewässerschutzkarte. Sie stellt zusammen mit der Grundwasserkarte und den einschlägigen Gesetzen die Grundlage für den nachhaltigen Schutz der Wasserressourcen und damit für die Versorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser dar. Bei sämtlichen Massnahmen des qualitativen und quantitativen Grundwasserschutzes steht dabei der Präventionsgedanke im Vordergrund.

Eine intensive Überwachung und laufende Kontrolle der Grundwasserquantität und -qualität ist die Voraussetzung dafür, dass allfällige negative Beeinflussungen infolge anthropogener Tätigkeiten erkannt und rechtzeitig die notwendigen Gegenmassnahmen ergriffen werden können. Aus diesem Grund betreibt der Kanton Zürich seit vielen Jahren eine systematische Überwachung des Grundwassers sowohl bezüglich Menge als auch Güte.

THERMISCHE NUTZUNG

Die im Grundwasser und Untergrund gespeicherte Wärme stellt eine umweltschonende und nachhaltige Energiequelle dar. Durch deren Nutzung können der Verbrauch an fossilen, nicht erneuerbaren Energieträgern wie Erdöl oder Erdgas und die damit verbundene CO₂-Emission reduziert werden.

In jüngster Vergangenheit ist eine markante Zunahme von Anlagen für die energetische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes zu Heiz- oder Kühlzwecken festzustellen. Diese Form der CO₂-freien, umweltschonenden und nachhaltigen Kälte- und Wärmegewinnung wird in Zukunft noch weiter an Bedeutung gewinnen.

Eine Abkühlung oder Erwärmung des Grundwassers innerhalb der gesetzlich zulässigen Grenzen von maximal 3°C führt zu keinen nachteiligen Veränderungen der Grundwasserqualität. Mit jeder neuen Anlage nimmt aber die Gefahr von unerwünschten Auswirkungen auf das Grundwasser zu. Der Kanton Zürich hat daher frühzeitig die energetische Planung der Kälte- und Wärmenutzung aus dem Untergrund an die Hand genommen. Mit dem «Wärmenutzungsatlas» steht heute ein Planungsinstrument zur Verfügung, das aufzeigt, welche thermische Nutzung des Untergrundes (mittels Grundwasser-Wärmepumpen oder Erdwärmesonden) in welchen Gebieten möglich ist. Dabei wird der Trinkwasserschutz prioritär berücksichtigt. Neben einer sorgfältigen Planung ist es wichtig, dass Anlagen für thermische Nutzungen des Grundwassers und des Untergrundes fachgerecht ausgeführt werden und deren Betrieb systematisch kontrolliert wird.



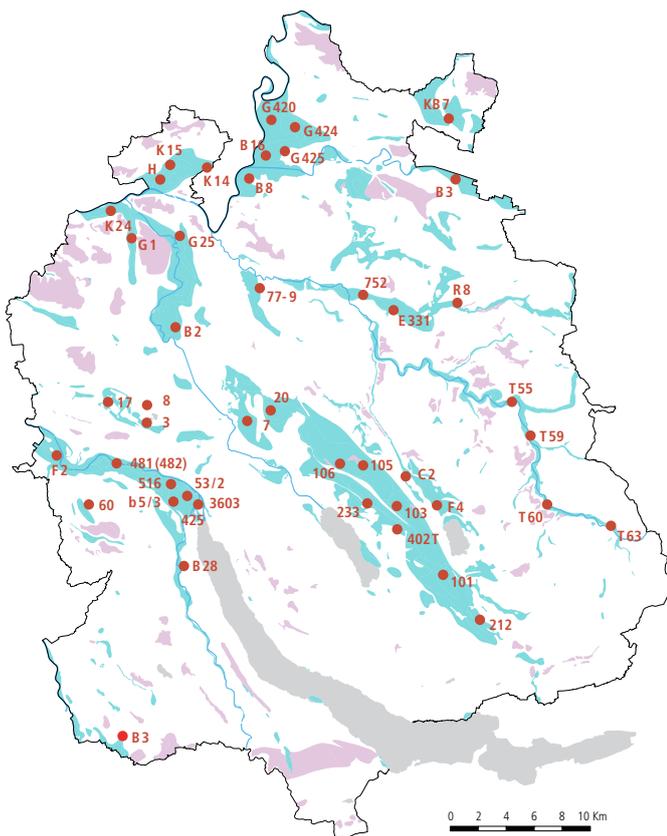
QUANTITATIVE ÜBERWACHUNG

MESSTELLENNETZ

Um über das Grundwasserdargebot im Bild zu sein und diesbezügliche Entwicklungstendenzen frühzeitig erkennen zu können, werden die Grundwasserstände an insgesamt 47 Standorten mit Hilfe kontinuierlich registrierender Pegel gemessen. Dank diesen Messungen sind die langjährigen Schwankungen des Grundwasserspiegels der bedeutenden Grundwasservorkommen gut bekannt. Die Daten werden monatlich ausgewertet und jährlich im «Hydrographischen Jahrbuch» zusammengestellt und auf dem Internet unter www.grundwasser.zh.ch publiziert. Dort können die Jahresblätter der einzelnen Messstationen mit numerischen Angaben und grafischen Auswertungen der Grundwasserstandsdaten abgerufen werden. Das AWEL plant, die analogen Schreibpegel durch digitale Messstationen, grösstenteils mit Fernübertragung, zu ersetzen. Damit werden künftig die laufend aktualisierten Grundwassermessdaten der wichtigsten Pegel öffentlich einsehbar sein.

Die kontinuierlichen Grundwasserspiegelmessungen der kantonalen Pegelstationen werden durch Wasserstandsmessungen in den Grundwasserpumpwerken ergänzt, welche wöchentlich durch die jeweiligen Konzessionsinhaber durchzuführen sind. Sämtliche Messdaten werden vom AWEL in einer Datenbank erfasst. Diese bildet eine wichtige Grundlage für eine koordinierte, nachhaltige Nutzung der unterirdischen Gewässer.

Auf nationaler Ebene existiert – in Ergänzung des kantonalen Überwachungsprogramms – noch das Monitoringprogramm NAQUA_{quant}, welches der quantitativen Grundwasserbeobachtung über die ganze Schweiz dient.



Übersicht kantonale Grundwasserpegel

- F4 Grundwasserpegel
- nutzbare Schotter-Grundwasservorkommen, meistens in Talsohlen
- z.T. nutzbare Schotter-Grundwasservorkommen, über den Talsohlen (Quellsammler)



Digitale Grundwasser-Pegelstation:
Die Messdaten werden direkt
mittels Funk übertragen

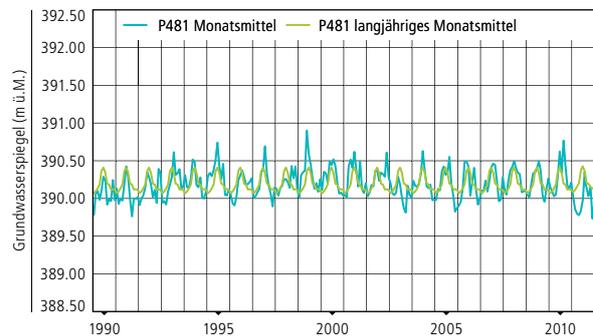
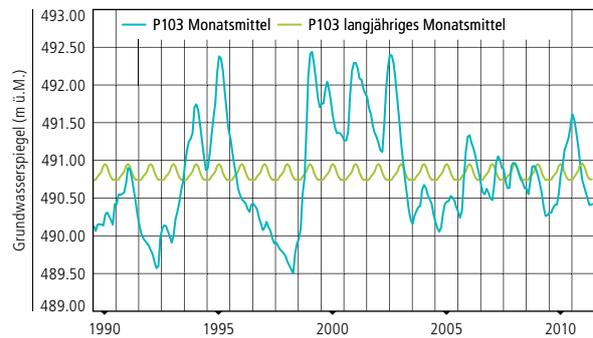
MESSERGEBNISSE UND BEWERTUNG

Die natürliche Grundwasserneubildung durch versickernde Niederschläge ist durch einen jahreszeitlichen Rhythmus geprägt. Grundwasservorkommen, welche ausschliesslich oder überwiegend durch Niederschläge gespeist werden, zeichnen sich daher vielfach durch vergleichsweise grosse Grundwasserspiegelschwankungen aus. Lang anhaltende Trockenperioden, insbesondere aber auch mehrere niederschlagsarme Jahre in Folge mit nur geringer Grundwasserneubildung, können in diesen Gebieten zu einem sukzessiven Absinken des Grundwasserspiegels und damit verbunden zu einem ausgeprägten Grundwasserdefizit bzw. zu Engpässen in der Wasserversorgung führen. Am Beispiel der Ganglinie eines Grundwasserpegels im oberen Glatttal (vgl. Grafik Pegel 103) sind die Auswirkungen von nassen bzw. trockenen Perioden auf die Schwankungen und die langfristige Entwicklung der Grundwasserstände in einem ausschliesslich durch Niederschlagsversickerung bestimmten Gebiet deutlich erkennbar.

Dort, wo die Speisung des Grundwassers überwiegend durch Infiltration aus Fließgewässern erfolgt, werden die Schwankungen des Grundwasserspiegels im Wesentlichen durch das Abflussregime von Bächen und Flüssen bestimmt. In Flussgebieten mit höher gelegenen Einzugsgebieten werden die höchsten Grundwasserstände in der Regel im Frühling und Frühsommer nach der Schneeschmelze und entsprechend hoher Wasserführung der Oberflächengewässer beobachtet. Generell zeichnen sich Grundwasservorkommen mit vorherrschend durch Flusswasserinfiltration erfolgreicher Speisung und enger wechselseitiger Beziehung zum Oberflächengewässer durch vergleichsweise meist geringe Schwankungen des Grundwasserspiegels aus (vgl. Grafik, Pegel 481 im Limmattal). Selbst extreme Trockenperioden wie im Sommer 2003 führen hier zu keinem markanten Absinken des Grundwasserspiegels resp. zu keinem ausgeprägten Grundwasserdefizit.

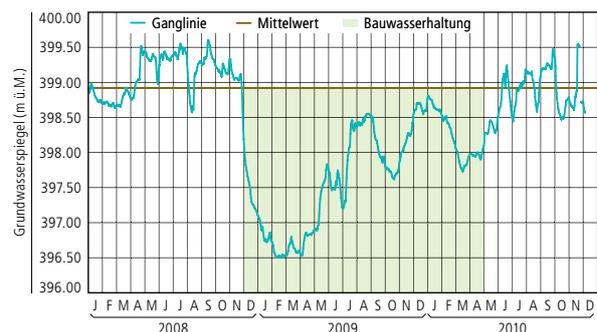
Charakteristische Grundwasserspiegel-Ganglinien:

Grundwasserneubildung ausschliesslich durch Niederschlagsversickerung (Pegel 103) und mit dominanter Flusswasserspeisung (Pegel 481)



Falls die Grundwasserentnahmen die verfügbare Felder giebigkeit eines Grundwasservorkommens übersteigen, führt dies zu einem steten Absinken des Grundwasserspiegels. Dank der vorausschauenden Vergabe der Konzessionen konnten bisher Übernutzungen infolge von Entnahmen zur Trinkwasser- oder Brauchwassergewinnung vermieden werden.

Einfluss von Bauwasserhaltungen im Limmattal



Im Zusammenhang mit grossen Bauvorhaben im stadt-zürcherischen Limmattal sind in den vergangenen Jahren verschiedene Bauwasserhaltungen betrieben worden. Damit die quantitativen Auswirkungen dieser temporären Grundwasserabsenkungen minimiert und grössere Wasserdefizite verhindert werden können, muss abgepumptes, sauberes Grundwasser nach Möglichkeit wieder in den gleichen Aquifer zurückgegeben werden. Dank dieser Massnahme und dank der Infiltration von Sihl- und Limmatwasser stellen sich nach Aufhebung der Wasserhaltung jeweils rasch wieder die normalen Grundwasserstände ein.



QUALITATIVE ÜBERWACHUNG

GESETZLICHE ANFORDERUNGEN

Die numerischen Anforderungen an Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt wird bzw. für diese Nutzung vorgesehen ist, sind in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) 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» (BUWAL, 2004) so genannte Indikatorwerte aufgeführt. Eine Überschreitung eines Indikatorwertes weist in der Regel auf eine anthropogen bedingte Belastung des Grundwassers hin und gibt Anlass zu Abklärungen über die mögliche Ursache der Wertüberschreitung.

Hinsichtlich der Verwendung des Grundwassers als Trinkwasser sind die Hygieneverordnung (HyV) vom 23. November 2005 sowie die Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) vom 26. Juni 1985 des Bundes massgebend. Die HyV legt die mikrobiologischen Anforderungen für Trinkwasser fest, und in der FIV sind die chemisch-physikalischen Anforderungen an die Trinkwasserqualität bei der Abgabe an die Konsumentinnen und Konsumenten definiert. Bei der Überschreitung eines FIV-Toleranzwertes gilt das Trinkwasser als verunreinigt oder sonst im Wert vermindert, bei der Überschreitung eines FIV-Grenzwertes gilt es als für die Ernährung von Menschen ungeeignet. Für die Kontrolle und Einhaltung der lebensmittelhygienischen Vorschriften ist das Kantonale Labor Zürich zuständig.

Weiter sind im Schweizerischen Lebensmittelbuch (SLMB) Erfahrungswerte für natürliches oder anthropogen wenig beeinflusstes Trinkwasser vorgegeben. Die entsprechenden Werte sind als Qualitätsziele zu verstehen.

MASSGEBENDE EINFLUSSFAKTOREN

Die Grundwasserqualität wird einerseits durch natürliche Faktoren bestimmt, andererseits kann sie durch zivilisatorische Einflüsse beeinträchtigt werden. Ohne detailliert auf Einzelfälle einzutreten, werden nachfolgend einige generelle Angaben zu den qualitativen Verhältnissen des Grundwassers gemacht.

Grundwasservorkommen, welche fast ausschliesslich durch die direkte Versickerung der Niederschläge und nicht oder nur in stark untergeordnetem Mass durch die Infiltration von Bächen und Flüssen gespeist werden, zeichnen sich durch einen hohen Mineralisierungsgrad (hohe Härte als Folge kalkreicher Böden) aus. Fassungen im Infiltrationsbereich grösserer Flüsse wie Limmat, Rhein, Thur oder Töss weisen demgegenüber weniger mineralisiertes, weiches Grundwasser auf. Hier treten oftmals besonders deutliche und von der Abflussmenge abhängige, z.T. jahreszeitliche Schwankungen im Grundwasserchemismus auf.

Anthropogen, d.h. durch menschliche Aktivitäten ins Grundwasser eingebrachte Stoffe wie Chlorid, Nitrat oder Sulfat können die natürlich bedingten hydrochemischen Grundwerte überlagern. Bewaldete Einzugsgebiete weisen diesbezüglich deutlich bessere Verhältnisse auf als überbaute oder intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen. Besonders in dicht besiedelten Gebieten oder in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft können im Grundwasser vielfach auch Mikroverunreinigungen nachgewiesen 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	

KANTONALES UND NATIONALES BEOBACHTUNGSNETZ

Die Grundwasserqualität wird im Kanton Zürich an mehr als 100 ausgewählten, repräsentativ über die Grundwassergebiete verteilte Messstellen überwacht. Bei deren Auswahl sind auch Kriterien wie unterschiedliche Grundwassertypen und Einzugsgebiete (z. B. Fassungen im Wald, im Landwirtschafts- oder Baugebiet) berücksichtigt worden. Als Beobachtungsstellen für die qualitative Grundwasserüberwachung dienen ausschliesslich Grund- und Quellwasserfassungen, welche zur Trinkwassergewinnung genutzt werden. Das Überwachungsnetz soll ein aussagekräftiges Bild über die Grundwasserbeschaffenheit ermöglichen.

http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasserwirtschaft/messdaten/gw_qualitaet.html

Auf Bundesebene liefert die nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA ein Bild über den Zustand und die Entwicklung der Grundwasserressourcen in der Schweiz. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) erfasst dabei die Grundwasservorkommen schweizweit an mehr als 500 Messstellen sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht. Rund 70 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 in den letzten Jahren zunehmend harmonisiert.

<http://www.bafu.admin.ch/grundwasser>

MESSPROGRAMME UND ANALYTIK

Für das qualitative Grundwassermonitoring werden systematisch periodische Wasseranalysen bei den Grund- und Quellwasserfassungen des kantonalen und nationalen Beobachtungsnetzes vorgenommen. Die Analysenprogramme für spezielle Messkampagnen werden jedes Jahr festgelegt.

Kantonale Grundwasserbeobachtung

Die physikalisch-chemischen und bakteriologischen Analysen erfolgen jeweils alternierend im Herbst und im Frühling. Die Analysen werden in enger Zusammenarbeit durch das Kantonale Labor Zürich, Bereich Trink- und Badewasser, und durch das Gewässerschutzlabor des AWEL vorgenommen. Dabei werden die klassischen physikalisch-chemischen Parameter und die bakteriologischen Analysen durch das Kantonale Labor und die Untersuchungen auf Mikroverunreinigungen durch das Gewässerschutzlabor des AWEL durchgeführt.

Nationale Grundwasserbeobachtung

Die im Kanton Zürich erhobenen Grundwasserproben des Moduls NAQUA_{spez} werden im Auftrag des BAFU durch das Gewässerschutzlabor des AWEL untersucht. Im Vordergrund stehen dabei Untersuchungen auf Nitrat, Pflanzenschutzmittel und VOC sowie neu ab 2012 auf Mikroverunreinigungen aus Abwasser.



SPEZIELLE MESSKAMPAGNEN UND PROJEKTE

Angesichts der zahlreichen zivilisationsbedingten, persistenten Schadstoffe, die in die Umwelt gelangen können, drängen sich neben Untersuchungen der wichtigsten natürlichen Wasserinhaltsstoffe vermehrt auch Spezialuntersuchungen bezüglich anthropogen bedingter Stoffe auf. Damit können Problemstoffe frühzeitig erkannt und deren Eintrag, Auftreten und Verbreitung im Grundwasser gezielt untersucht und beurteilt werden.

Messkampagnen auf Schwermetalle

In rund 5-jährlichen Zeitabständen werden die Grundwasserproben der kantonalen Beobachtungsstellen auf das Vorhandensein der als gesundheitsschädlich geltenden Schwermetalle wie z.B. Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg) oder Blei (Pb) untersucht. Die letzte Beprobung erfolgte im Jahr 2010.

Messkampagnen Nitrat

Ein besonderes Augenmerk wird seit vielen Jahren auf die Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser gelegt. Aus diesem Grund werden sämtliche Trinkwasserfassungen mit erhöhten Nitratgehalten einem speziellen Nitratbeobachtungsprogramm unterworfen. Dabei handelt es sich teils um Probenahmestellen des kantonalen Grundwasser-Beobachtungsprogramms, teils um zusätzliche Grund- und Quellwasserfassungen. Aktuell werden an rund 100 Messstellen monatlich Wasserproben durch die Fassungseigentümer entnommen und durch das Labor für Boden- und Umweltanalytik (Ibu) in Thun auf Nitrat analysiert.

Messkampagnen auf Pflanzenschutzmittel

Im Rahmen eines Projektes zur Überwachung von Verwendungsverboten und -einschränkungen gemäss Chemikalienrecht und Pflanzenschutzmittelverordnung werden seit 2010 jährlich 55 Grundwasserfassungen, deren Einzugsgebiet hauptsächlich im Landwirtschaftsgebiet liegt, umfassend auf Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten untersucht.

Messkampagnen auf Mikroverunreinigungen aus ARA

Mit einer breit angelegten Messkampagne wurden im Limmatthal das Auftreten und die Ausbreitungspfade von Mikroverunreinigungen aus Abwasserreinigungsanlagen im Jahre 2004 erstmals analysiert. Für eine vertiefte Untersuchung dieser Problematik wird 2012 und 2013 im Glatttal eine umfassende koordinierte Wasseruntersuchung auf Mikroverunreinigungen durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes werden der Eintrag von Mikroverunreinigungen über Abwasserreinigungsanlagen in die Glatt und die anschliessende Infiltration in Grundwasser detailliert untersucht.



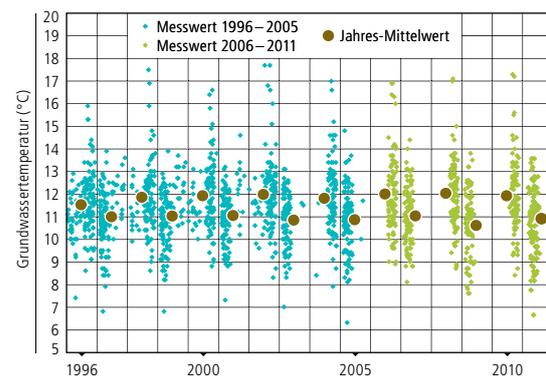
TEMPERATUR

NATÜRLICHE VERHÄLTNISSE

Ab etwa 10 m unter der Erdoberfläche herrschen im Grundwasser weitgehend homotherme Verhältnisse. Im Mittelland betragen die natürlichen Grundwassertemperaturen in der Regel etwa zwischen 10 und 12 °C und entsprechen damit etwa der Jahresmitteltemperatur der Luft. Die relativ tiefe Wassertemperatur zählt zu den Qualitätsmerkmalen unserer Grund- und Quellwasservorkommen. Unter dicht überbauten Gebieten ist die Grundwassertemperatur in der Regel anthropogen um 1–3 °C erhöht, bedingt z.B. durch beheizte Untergeschosse, Abwasseranlagen oder die Versickerung von erwärmtem Dach- und Platzwasser. Stärkere jahreszeitliche Temperaturschwankungen treten im Nahbereich infiltrierender Oberflächengewässer auf.

Seit einigen Jahren kommt der Grundwassertemperatur eine vermehrte Bedeutung im Zusammenhang mit der Wärmeabgewinnung aus dem Grundwasser zu. Aufgrund seiner relativ konstanten Temperatur eignet sich Grundwasser ideal für die Nutzung mittels Wärmepumpen. Eine Abkühlung des Grundwassers um höchstens 3 °C (gesetzliche Vorgabe) ist grundsätzlich unproblematisch, so dass entsprechende Anlagen in der Regel bewilligt werden können. Um das Havarierisiko und die Eingriffe in die schützenden Deckschichten zu minimieren, sollen jedoch in für die Trinkwassergewinnung nutzbaren Grundwasservorkommen möglichst nur Grossanlagen erstellt werden. Grundwassernutzungen zu Kühlzwecken mit Rückgabe von erwärmtem Wasser werden im Normalfall nur als Kombination von Heizen und Kühlen zugelassen und nur dann, wenn im Jahresverlauf der Entzug von Wärme gegenüber deren Eintrag überwiegt.

Grundwassertemperatur im Zeitraum 1996–2011



BEURTEILUNG

Die gemessenen Grundwassertemperaturen liegen mit wenigen Ausnahmen im normalen Wertebereich (Erfahrungswert SLMB 8–15 °C). Die Jahresmittelwerte der untersuchten Wasserproben schwanken zwischen 10.6 und 12.0 °C. Bedingt durch den atmosphärischen Wärmeinput an der Erdoberfläche weisen die im Frühjahr entnommenen Wasserproben gegenüber den Herbstmessungen durchschnittlich etwa 1 °C tiefere Wassertemperaturen auf.

Aktuell sind in den Grund- und Quellwasserfassungen keine grösseren anthropogen bedingten Temperaturveränderungen feststellbar. Die steigende Zahl an Grundwassernutzungen zu Heiz- und Kühlzwecken in Siedlungsgebieten erfordert aber eine sorgfältige Überwachung der thermischen Auswirkungen auf das Grundwasser.



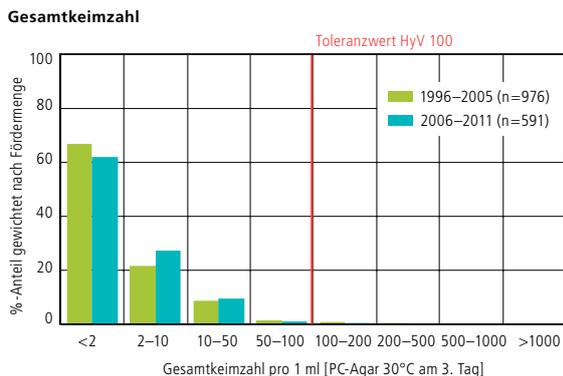
BAKTERIOLOGISCHE BESCHAFFENHEIT

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Für die Beurteilung der Qualitätsveränderung eines Grundwasservorkommens über lange Zeiträume werden in erster Linie die chemischen Parameter herangezogen. Die Bakteriologie ist dazu weniger geeignet, weil die Ursache einer mikrobiellen Beeinflussung – im Gegensatz zu einer chemischen – meist im nahen Umfeld einer Trinkwasserfassung liegt und zudem die bakteriellen Belastungen in der Regel deutlich kurzlebiger sind. Coliforme Keime und Enterokokken (Darmbakterien) dürfen im Trinkwasser nicht vorhanden sein. Die Anzahl der aeroben mesophilen Keime (Gesamtkeimzahl) soll gemäss HyV bei der Fassung unter 100 Keimen pro 1 ml Wasser liegen. Erhöhte Gesamtkeimzahlen weisen auf Beeinträchtigungen durch z. B. ungenügend filtriertes Oberflächenwasser hin und bedeuten auch ein erhöhtes Potenzial für das Vorhandensein von Krankheitserregern.

BEURTEILUNG

In bakteriologischer Hinsicht weist das als Trinkwasser genutzte Grundwasser eine gute bis sehr gute Qualität auf. Die Gesamtkeimzahl ist in der Regel sehr niedrig und liegt weit unter dem Toleranzwert nach HyV. Nur in wenigen Einzelfällen konnten coliforme Keime oder Enterokokken im Rohwasser nachgewiesen werden, was zu Beanstandungen der Wasserproben führte.



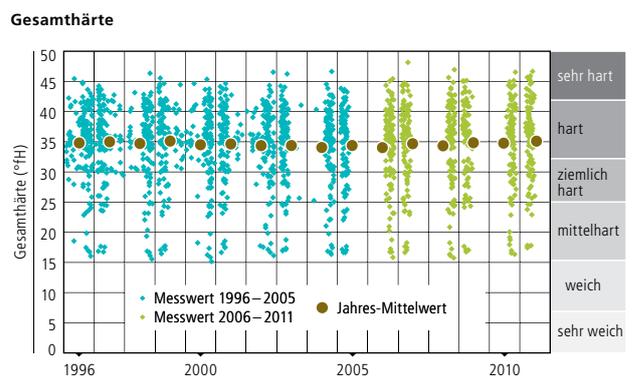
GESAMTHÄRTE

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Die Gesamthärte eines Wassers entspricht der Gesamtkonzentration an Erdalkali-Ionen (Härtebildner). Es handelt sich dabei vorwiegend um die Gehalte an Calcium und Magnesium (als Karbonate, Bikarbonate, Sulfate, Nitrate und Chloride). Die Härte wird weitgehend durch natürliche geochemische Prozesse (Kalklösung) bestimmt. Sie kann aber auch durch Verschmutzungen beeinflusst sein. In der Schweiz wird die Gesamthärte in so genannten französischen Härtegraden angegeben (1° fH = 10 mg CaCO₃/l). Weder eine hohe noch eine tiefe Wasserhärte sind für den Menschen schädlich. Allerdings führt eine hohe Wasserhärte zu unerwünschten Kalkausscheidungen im Haushalt, z.B. im Warmwasserboiler, in der Waschmaschine oder beim Kochen.

BEURTEILUNG

Die Grundwässer im Kanton Zürich sind überwiegend als «ziemlich hart» bis «hart» zu beurteilen. Aus diesem Grund mischen viele Wasserversorgungen nach Möglichkeit «weiches» Seewasser bei. Einzig bei Fassungen im Nahbereich infiltrierender Oberflächengewässer sind «mittelharte» Wässer anzutreffen. Die Gesamthärte der untersuchten Grund- und Quellwasserproben liegt im Mittel der vergangenen Jahre praktisch unverändert bei knapp 35°fH. Signifikante Veränderungen der Gesamthärte-Verhältnisse sind nicht zu beobachten.



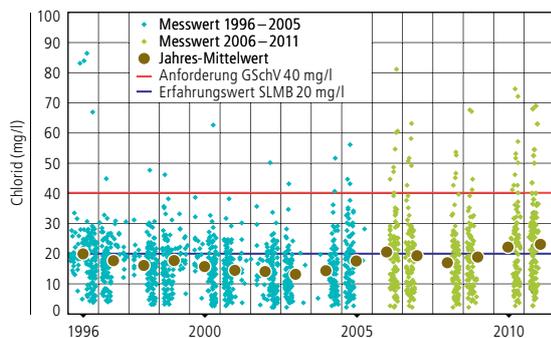


CHLORID

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Die meisten natürlichen Gewässer enthalten recht geringe Mengen an Chlorid (Cl). Erhöhte Chloridgehalte zeigen in der Regel eine Verunreinigung des Grundwassers an, verursacht beispielsweise durch Versickerung häuslicher oder industrieller Abwässer, durch Deponie-Sickerwässer, durch Schmelzwässer mit Tausalzen oder durch Überdüngung. Gehalte über 80 mg/l können die Korrosion von verzinktem Leitungsmaterial fördern, solche über 200 mg/l machen sich im Geschmack bemerkbar.

Chlorid

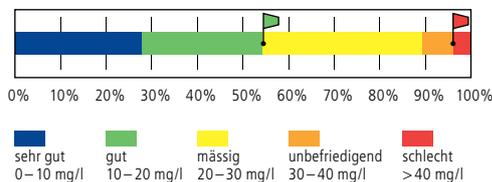


BEURTEILUNG

Mehr als die Hälfte des im Kanton Zürich geförderten Grundwassers weist in der Regel einen relativ niedrigen, unauffälligen Chloridgehalt unter 20 mg/l auf. Im Beobachtungszeitraum 2006–2011 sind im Vergleich zu den Vorjahren tendenziell etwas höhere Chloridkonzentrationen gemessen worden. Die beobachtete Zunahme der Chloridgehalte im Grundwasser dürfte im Wesentlichen auf den verstärkten Einsatz von Tausalzen in den extrem kalten Wintermonaten 2008/2009 und 2009/2010 zurückzuführen sein.

Bei wenigen Grundwasserfassungen waren deutlich erhöhte Chloridwerte zu beobachten. Knapp 4% des in Grund- und Quellwasserfassungen genutzten Grundwassers erfüllten die numerischen Anforderungen der GSchV (40 mg/l) nicht.

Beurteilung Chlorid 2006–2011



■ Erfahrungswert SLMB* 20 mg/l erfüllt: >54%

■ Anforderungen GSchV** 40 mg/l nicht erfüllt: <3.8%

* SLMB: Schweizerisches Lebensmittelbuch

** GSchV: Gewässerschutzverordnung



NITRAT

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

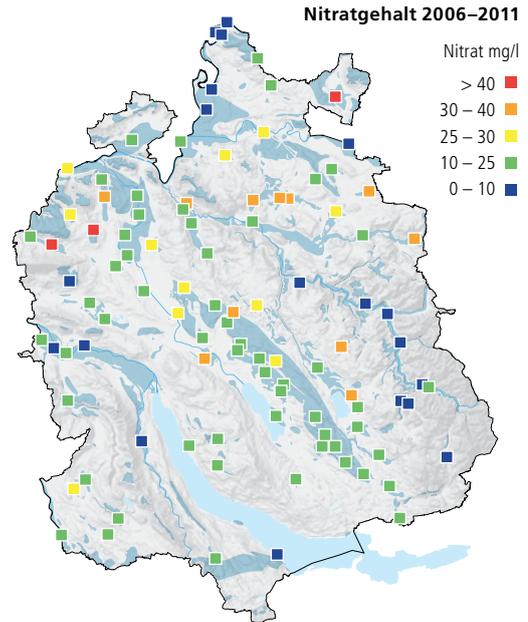
Nitrat (NO_3^-) ist eine für Pflanzen leicht verfügbare, wasserlösliche Form von Stickstoff. Dieser wird als Gülle, Mist, Kompost oder Mineraldünger ausgebracht und im Boden von Bakterien in Nitrat umgewandelt. Da das im Boden gebildete Nitrat von den Pflanzen nur unvollständig aufgenommen wird, kann das überschüssige Nitrat mit den versickernden Niederschlägen ins Grundwasser gelangen. Erhöhte Nitratgehalte im Grundwasser sind daher in erster Linie auf die Auswaschung landwirtschaftlich intensiv genutzter und gedüngter Ackerböden zurückzuführen.

Die Primärtoxizität von Nitrat ist gering. Selbst eine orale Aufnahme grosser Mengen führt lediglich zu Magen- und Darmreizungen. Nitrat wird im menschlichen Körper bakteriell zu Nitrit reduziert, was bei extrem hohen Nitratwerten vor allem bei Säuglingen zu einer Gesundheitsgefährdung führen kann (Methämoglobinämie resp. Blausucht). Daneben besteht der Verdacht, dass sich das sekundär gebildete Nitrit im Körper mit Aminen umsetzt und dabei Nitrosamine gebildet werden, die krebserregend sein können.

BEURTEILUNG

Während in den 1980er Jahren deutlich mehr als die Hälfte der untersuchten Grundwasserproben das Qualitätsziel gemäss Schweizerischem Lebensmittelbuch bzw. die Anforderungen der GSchV nicht zu erfüllen vermochten, zeichnet sich seit etwa 1990 eine sukzessive Entschärfung der Nitratsituation im Grundwasser ab und der Anteil der Wasserproben mit Nitratgehalten $< 25 \text{ mg/l}$ hat seither signifikant zugenommen. Diese deutliche Verbesserung ist im Wesentlichen auf erfolgte Bewirtschaftungsumstellung mit einem verstärkten Trend in Richtung einer umweltschonenderen Landwirtschaft (z. B. Ökologischer Leistungsnachweis ÖLN, biologische Produktion) zurückzuführen.

In der Beobachtungsperiode 2006–2011 erfüllten mehr als 84% des geförderten Grundwassers das Qualitätsziel. Der Grenzwert gemäss FIV bzw. der Toleranzwert gemäss GSchV (40 mg/l) wurde nur in wenigen Fassungen zeitweise überschritten. Allerdings können Spezialsituationen die Nitratverhältnisse vorübergehend massgebend beeinflussen. So hat beispielsweise der Jahrhundertssommer 2003 zu einer Nitratdepotbildung im Boden und damit kurzzeitig zu deutlich niedrigeren Nitratwerten geführt. Im Nachgang zu diesem Trockenjahr kam es dann aber zu massiven Ausschwemmungen dieser Nitratdepots, was in einigen Grundwasserfassungen wiederum einen markanten Anstieg der Nitratwerte zur Folge hatte. Zwischenzeitlich hat sich die Situation weitgehend beruhigt und die Nitratbelastung hat wieder Werte wie vor 2003 erreicht.

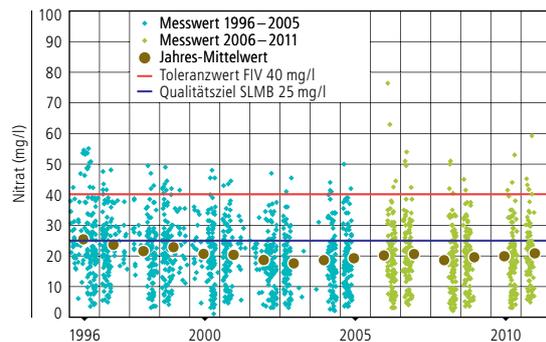


Allerdings gilt es zu beachten, dass Änderungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsvorschriften ungewollt einen Einfluss auf die Nitratauswaschung haben können. So bewirkt beispielsweise die seit 2004 geltende Lockerung der Vorschriften für den Ökologischen Leistungsnachweis in der Landwirtschaft (ÖLN), dass ein Umbruch der Felder bereits ab Mitte November statt wie vorher erst ab Mitte Februar erlaubt ist. Dies führt dazu, dass aus den im November meist noch warmen Böden sehr viel Stickstoff freigesetzt wird und die Nitratverluste über den Winter entsprechend ansteigen, was letztlich erhöhte Nitratwerte im Grundwasser zur Folge hat.

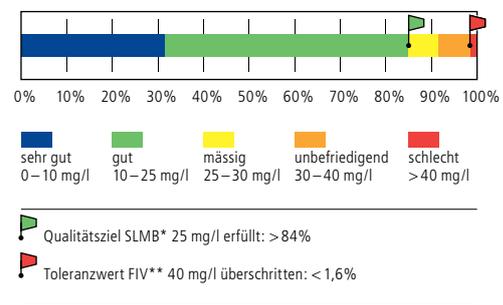
INDIKATORWERT

Zur Beurteilung der Nitratbelastung hat das AWEL einen Indikatorwert des Grundwassers (IGW) festgelegt. Dieser Wert berücksichtigt die Nitratgehalte der kantonalen Grundwasserbeobachtungsstellen während der letzten 3 Jahre, gewichtet nach der konzidierten Entnahmemenge der jeweiligen Fassung und den gemessenen Nitratgehalten. Hohe Nitratkonzentrationen (> 30 mg/l) werden bis zu 4 Mal höher gewichtet als niedrige Gehalte. Der IGW soll gemäss dem konsolidierten Entwicklungs- und Finanzplan (KEF) des Regierungsrates bis zum Jahre 2020 das Ziel von mindestens 90% erfüllen. Während der IGW im Jahr 2000 noch bei tiefen 64.6% lag, stieg dieser im Jahr 2005 auf 81.5% an. Für das Jahr 2010 ergibt sich ein praktisch identischer Wert von 81.1%. Im Jahr 2011 ist demgegenüber wieder ein deutlich niedrigerer IGW von 74.2% bestimmt worden. Es gilt bei der Interpretation dieser Werte allerdings zu beachten, dass es rein systembedingt zu deutlichen Schwankungen kommen kann.

Nitrat



Beurteilung Nitrat 2006–2011



* SLMB: Schweizerisches Lebensmittelbuch
 ** FIV: Fremd- und Inhaltsstoffverordnung



PFLANZENSCHUTZMITTEL UND BIOZIDPRODUKTE

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Pestizide sind biologisch hochwirksame chemische Substanzen, die als Wirkstoffe in Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie im Materialschutz zur Anwendung gelangen. Der Einsatz von Pestiziden in Pflanzenschutzmitteln ist weit verbreitet. In der Landwirtschaft kommen Pestizide zum Schutz der Pflanzen vor Schädlingen, Unkräutern und Krankheiten in praktisch allen Kulturen zum Einsatz. Pestizide werden auch ausserhalb der Landwirtschaft eingesetzt, wie beispielsweise auf Grünflächen, Sportplätzen, in Hausgärten und bei Unterhaltsarbeiten.

Zum Schutz von Materialien vor unerwünschten Einwirkungen werden zum Teil dieselben Pestizide verwendet. Der Einsatz von Biozidprodukten in Baumaterialien, wie zum Schutz von Fassaden und Dächern vor Algen und Pilzen, ist weit verbreitet und gewinnt zunehmend an Bedeutung. Der Verbrauch an Pestiziden für Biozidprodukte liegt in der gleichen Grössenordnung wie derjenige für Pflanzenschutzmittel.

Einzelne Pestizide können Oberflächengewässer bereits in kleinsten Konzentrationen verunreinigen und die aquatische Lebensgemeinschaft schädigen. Durch Infiltration gelangen sie auch ins Grundwasser. Die GSchV legt die Anforderungen für Pestizide im Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, auf 0.1 µg/l je Einzelstoff fest. Für Abbauprodukte (Metaboliten) fehlt eine einheitliche Regelung.

Das Gewässerschutzlabor des AWEL analysiert das Grundwasser bei rund 100 Grund- und Quellwasserfassungen auf Pestizide und deren Abbauprodukte. 2006 bis 2011 wurden etwa sechzig Pestizide und ausgewählte Abbauprodukte untersucht und hinsichtlich der Anforderungen der GSchV beurteilt.

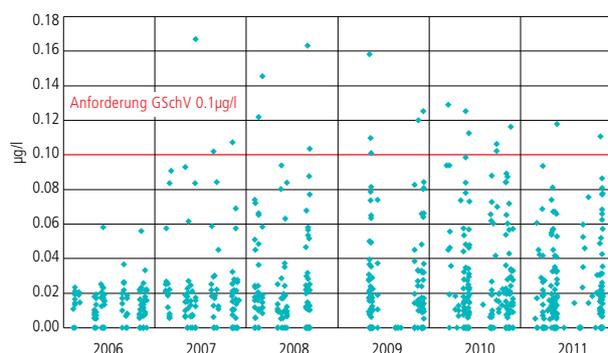
BEURTEILUNG

Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (Pestizide)

In den jährlich untersuchten Quell- und Grundwasserfassungen sind nur noch vereinzelt erhöhte Konzentrationen an Pestiziden nachweisbar. Zwischen 2006 und 2011 wurden bei 11% der untersuchten Fassungen die Anforderungen der GSchV von 0.1 µg/l je Einzelstoff nicht immer eingehalten. Erfreulicherweise sind von den mehr als sechzig untersuchten Pestiziden nur wenige Wirkstoffe im Grundwasser in erhöhten Konzentrationen nachweisbar.

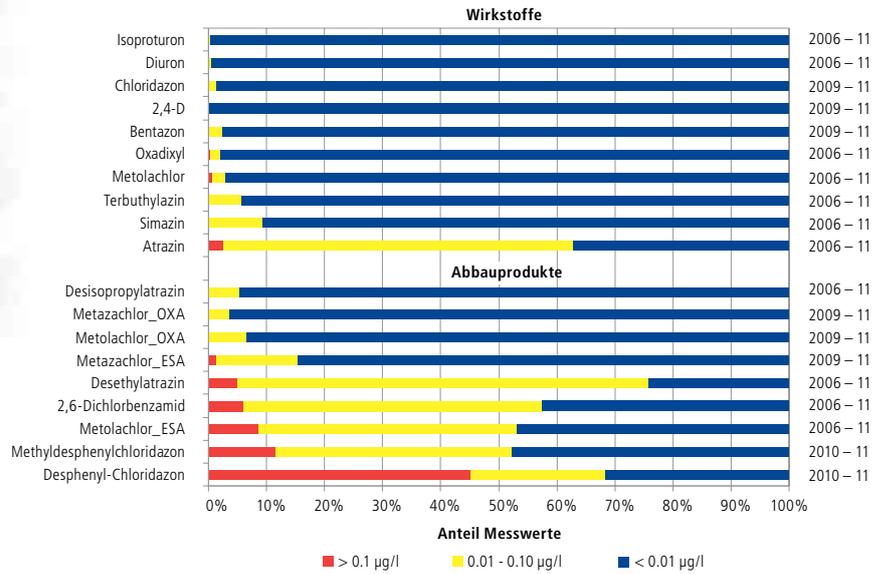
Mit Abstand am häufigsten in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen wurde das Herbizid Atrazin, das vor allem im Maisanbau eingesetzt wurde. 2007 wurde die Verwendung von Atrazin weiter eingeschränkt und die Zulassung aufgehoben. Seit Ablauf der Aufbauchfrist am 30. Juni 2011 ist die Verwendung von Atrazin auch in der Schweiz verboten. Wegen der schlechten Abbaubarkeit ist Atrazin weiterhin im Grundwasser in Spuren feststellbar. Die Anzahl Überschreitungen der Qualitätsanforderungen haben jedoch abgenommen. So wiesen im letzten Untersuchungsjahr erfreulicherweise nur noch zwei der insgesamt 116 untersuchten Quell- und Grundwasserfassungen einen Atrazingehalt von > 0.1 µg/l auf.

Zeitlicher Verlauf der Atrazin- Konzentrationen im Grundwasser von 2006 bis 2011





Belastungen von Pestiziden und Abbauprodukten in Grund- und Quellwasser



Weitere Wirkstoffe, welche in Einzelfällen zu erhöhten Grundwasserbelastungen führten, sind die in Pflanzenschutzmitteln eingesetzten Herbizide 2,4-D, Bentazon, Metolachlor und das Fungizid Oxadixyl. Im Rahmen der Grundwasserüberwachung werden auch Pestizide untersucht, die in Biozidprodukten in Baumaterialien wie Fassaden und Dächern eingesetzt werden. Diese Stoffe werden mit dem Regenwasser ausgewaschen und können in der Folge durch Versickern ins Grundwasser gelangen. Im Rahmen der jährlichen Messkampagnen wurden aber weder auffällige Befunde noch erhöhte Konzentrationen dieser Pestizide im Grundwasser festgestellt.

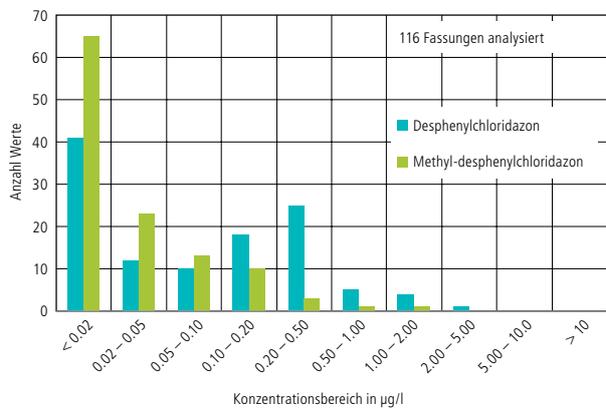
Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln (Metaboliten)

Mit Hilfe neuer, hochempfindlicher Analysemethoden sind im Grundwasser von landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten immer häufiger Abbauprodukte von Pestiziden, so genannte Metaboliten, nachweisbar. Im Gegensatz zu den Wirkstoffen selbst, die kaum im Grundwasser nachweisbar sind, findet man die Abbauprodukte einzelner Wirkstoffe in deutlich erhöhten Konzentrationen im Grundwasser. So wurden im letzten Untersuchungsjahr 2011 in mehr als der Hälfte aller untersuchten Grundwasserfassungen Metaboliten in Konzentrationen > 0.1 µg/l nachgewiesen. Insbesondere von Chloridazon, einem im Zuckerrübenanbau eingesetzten Herbizid, sind im Grundwasser in ländlichen Einzugsgebieten die stabilen Abbauprodukte Desphenylchloridazon und Methyl-desphenylchloridazon in zum Teil um mehr als das 10-fache über den für Pestizide massgeblichen Qualitätsanforderungen liegenden Konzentrationen feststellbar.

Auch die ESA- und OXA-Abbauprodukte von Metolachlor und Metazachlor sind zum Teil in Konzentrationen > 0.1 µg/l nachweisbar. Erwähnenswert sind auch die häufigen Nachweise von 2,6-Dichlorbenzamid, einem Abbauprodukt des Herbizidwirkstoffs Dichlobenil, welches in Unkrautvernichtungsmitteln auf Wiesen und Weiden sowie im Obst- und Gartenbau eingesetzt wird.

Die Befunde zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen des nationalen Netzes des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), welches im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA den Zustand und die Entwicklung der Grundwasserressourcen an mehr als 500 Messstellen in der ganzen Schweiz beurteilt.

Befunde von Chloridazon-Metaboliten im Grund- und Quellwasser 2010/2011





FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN (VOC)

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Als flüchtige organische Verbindungen (VOC: Volatile Organic Compounds) werden die organischen Kohlenstoffverbindungen bezeichnet, die einen hohen Dampfdruck aufweisen und einen Siedepunkt bis etwa 260 °C haben. Wichtigste Vertreter der VOC sind aliphatische, aromatische sowie halogenierte Kohlenwasserstoffe. VOC können das Grundwasser auf lange Zeit verunreinigen, da sich einige davon im Grundwasser nicht abbauen. Die wichtigsten Stoffgruppen, die im Rahmen der Grundwasserüberwachung untersucht und beurteilt werden, sind nachfolgend aufgeführt.

Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW)

FHKW sind flüchtige Kohlenwasserstoffe, in deren Molekül ein oder mehrere Wasserstoffatome durch Halogenatome (Hauptsächlich Chlor-, Fluor- oder Bromatome) ersetzt sind. Bedeutende Vertreter sind die chlorierten bzw. fluorierten Kohlenwasserstoffverbindungen wie Tetrachlorethylen (Perchlorethylen), 1,1,1-Trichlorethan, Chloroform und Freone. Der Einsatz dieser Stoffe als Lösungsmittel, Reinigungsmittel oder Kältemittel wurde in den letzten Jahrzehnten aufgrund ihrer schädlichen Wirkung auf die Umwelt stark eingeschränkt. Wegen ihrer schlechten Abbaubarkeit und Mobilität werden FHKW jedoch noch über Jahrzehnte im Grundwasser in Spuren nachweisbar sein. Als Anforderung für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, ist in der GSchV für FHKW der Wert von 1 µg/l je Einzelstoff festgelegt.

BETX

Unter der Abkürzung BETX werden die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylol zusammengefasst. Diese Verbindungen werden vor allem in Treibstoffen und als Lösungsmittel verwendet.

MTBE, ETBE

Seit bereits fast 30 Jahren wird MTBE (Methyltertiärbutylether) in der Schweiz als Benzinzusatz zur Erhöhung der Klopfestigkeit eingesetzt. ETBE (Ethyltertiärbutylether), eine dem MTBE nahe verwandte Substanz, wird seit einigen Jahren ebenfalls als Benzin-Additiv verwendet. MTBE und ETBE werden in grossen Mengen produziert. In der Schweiz liegt der Jahresverbrauch bei rund 100 000 Tonnen. Durch Unfälle, undichte Tanks und über das Regenwasser können die Stoffe ins Grundwasser gelangen, da sie im Untergrund kaum zurückgehalten werden. Die Verbindungen sind schlecht abbaubar und weisen eine geringe Toxizität auf. Gesetzlich vorgeschriebene Toleranz- oder Grenzwerte für MTBE/ETBE gibt es in der Schweiz keine. Die Wegleitung Grundwasserschutz des BAFU gibt für MTBE einen Richtwert von 2 µg/l an.

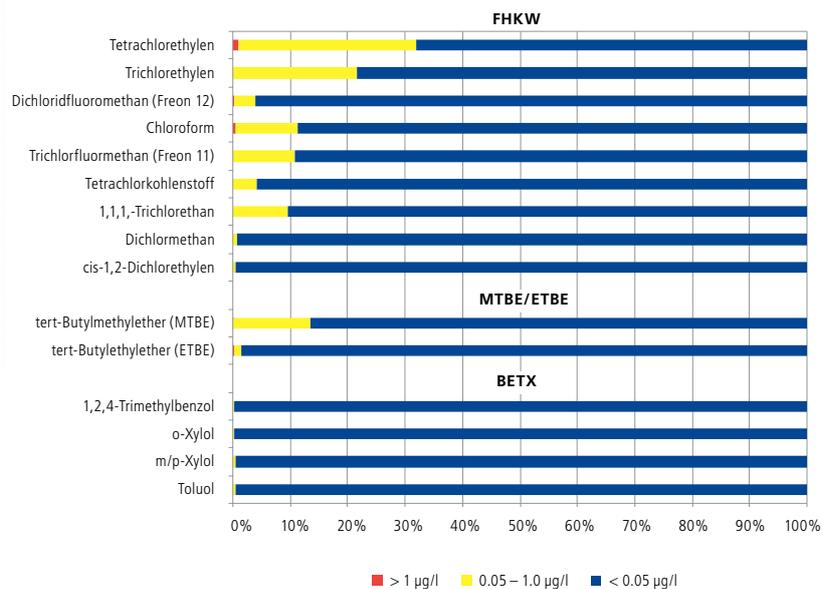
Das Gewässerschutzlabor des AWEL untersucht seit 2000 jährlich die Grundwasserfassungen, die der Trinkwassernutzung dienen, auf eine breite Palette von 62 leichtflüchtigen organischen Verbindungen im Spurenbereich. Die Auswahl orientiert sich an einer Liste der EPA (Environmental Protection Agency) und enthält auch MTBE und ETBE, die mitgemessen werden.

BEURTEILUNG

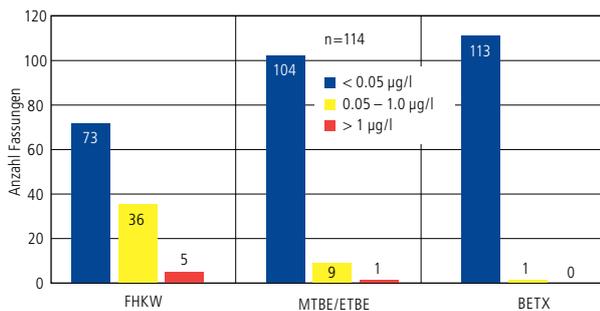
In den von 2006 bis 2011 jährlich untersuchten Proben aus den Quell- und Grundwasserfassungen konnten VOC – wenn überhaupt – nur vereinzelt und in Spuren nachgewiesen werden. Von den 62 untersuchten VOC waren 15 verschiedene Verbindungen mindestens zweimal in einer Probe nachweisbar. Die FHKW sind dabei die Stoffgruppe, die am häufigsten in Spuren im Grundwasser anzutreffen ist.



Belastungen von VOC in in Grund- und Quellwasser 2006–2011



Belastungen von VOC in Grund- und Quellwasserfassungen 2011



Flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (FHKW)

Während der gesamten Untersuchungsperiode 2006 bis 2011 wies der überwiegende Anteil der untersuchten Grundwasserproben keine nachweisbare Belastung mit FHKW auf. Bei den in einzelnen Grundwasserfassungen in Spuren nachweisbaren chlorierten Lösungsmitteln handelt es sich in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit um Tetrachlorethylen (Perchlorethylen), Trichlorethylen, Chloroform, 1,1,1-Trichlorethan und selten auch Tetrachlorkohlenstoff und cis-1,2-Dichlorethylen.

Bei den im letzten Untersuchungsjahr 2011 beprobten 114 Grund- und Quellwasserfassungen wiesen 36 Fassungen (32%) kleinste Spuren der vorgängig erwähnten FHKW-Verbindungen auf. In 5 Fassung (4%) wurden die Anforderungen der GSchV von maximal 1 µg/l je Einzelstoff überschritten. An einzelnen Messstellen im Limmat-tal sind seit Beginn der Untersuchungen erhöhte Konzentrationen von Tetrachlorethylen (Perchlorethylen) nachweisbar. Diese aus früheren Jahren stammende Verunreinigung zeigt anschaulich auf, wie lange ein Grundwasser mit chlorierten Lösungsmitteln verunreinigt bleibt.

BETX

Bei den 2004 bis 2011 jährlich überwachten Quell- und Grundwasserfassungen wurden die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylol nur in seltenen Einzelfällen gemessen. Im Untersuchungsjahr 2011 wurde nur gerade in einem von 114 Pumpwerken kleinste Spuren von BETX festgestellt.

MTBE, ETBE

Von den in den Jahren 2006 bis 2011 untersuchten Proben waren in 14% Spuren von MTBE und in 1% Spuren von ETBE nachweisbar. Konzentrationen > 1 µg/l waren nur in wenigen Einzelfällen feststellbar. Von den im letzten Untersuchungsjahr 2011 untersuchten 114 Grund- und Quellwasserfassungen sind in 9 Fassungen kleinste Spuren von MTBE und in 2 Fassungen kleinste Spuren von ETBE nachweisbar. Nur in einer Fassung wurde ein ETBE-Gehalt von > 1 µg/l festgestellt. Da in dieser Fassung auch der Indikatorwert von 2 µg/l kurzfristig überschritten wurde, konnte das Grundwasser eine kurze Zeit lang nicht mehr als Trinkwasser verwendet werden. In der Zwischenzeit haben die ETBE-Konzentrationen abgenommen und liegen wieder unter 1 µg/l ETBE. Dies weist auf einen einmaligen Eintrag hin.

Grundsätzlich kann die Belastung des Grundwassers mit MTBE und ETBE als konstant niedrig beurteilt werden. Es ist weder eine signifikante Zu- noch Abnahme der MTBE- und ETBE-Gehalte im Grundwasser feststellbar. Obwohl damit die Situation aktuell zu keinerlei Bedenken Anlass gibt, muss sie dennoch weiterhin beobachtet werden.



SCHWERMETALLE

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Das Auftreten von Schwermetallen im Grundwasser – wie z. B. Zink (Zn), Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg) oder Blei (Pb) – ist fast ausschliesslich auf anthropogene Ursachen zurückzuführen. Mögliche Schadstoffquellen stellen insbesondere ehemalige Deponieauffüllungen mit Industrieabfällen dar. Daneben treten punktuelle Schwermetallbelastungen in den obersten Bodenschichten auch infolge der Versickerung von Strassen-, Platz- und Dachabwässern auf. Das Ausbringen von Klärschlamm auf Acker- und Wiesland in früheren Jahren hat zu flächenhaften Belastungen mit Schwermetallen geführt. Seit Oktober 2006 gilt ein schweizweites Verbot für die Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft, so dass es seither von dieser Seite zu keinen weiteren Schwermetallbelastungen der landwirtschaftlich genutzten Böden mehr kommen konnte.

In unseren kalkhaltigen Böden werden die Schwermetalle im Ober- und Unterboden grösstenteils zurückgehalten und die Gefahr, dass Schwermetalle durch Auswaschungsprozesse zu erhöhten Belastungen im Grundwasser führen, ist wegen der geringen Mobilität vergleichsweise klein. Diese Feststellung ist umso bedeutender, da bekannt ist, dass sich Schwermetalle bei andauernder Aufnahme auch kleiner Mengen im Körper anreichern und mit der Zeit chronische Schädigungen bewirken können. Dabei können Schwermetalle lebensnotwendige Spurenelemente verdrängen, was langfristig zu pathologischen Veränderungen, insbesondere der Nieren (v.a. durch Blei, Cadmium, Quecksilber), der Knochen (v.a. durch Blei, Cadmium), des Blut bildenden Systems (v.a. durch Blei) oder des Nervensystems (v.a. durch Blei, Quecksilber), führen kann.

In den 1980-er Jahren sind umfangreiche Untersuchungen auf Schwermetalle im Grundwasser durchgeführt worden. Dabei konnten diese nur in seltenen Einzelfällen nachgewiesen werden. Seither wird die Situation bezüglich Schwermetalle vorsorglich ca. alle fünf Jahre ermittelt und neu beurteilt. Die letzte Beprobung von rund 90 Trinkwasserfassungen fand im Jahr 2010 statt. Die Analyse der Proben erfolgte mittels ICP-MS («Element-Screening») in der Abteilung Elementanalytik des Kantonalen Labors.

BEURTEILUNG

Die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen 2010 können wie folgt zusammengefasst werden: Antimon, Chrom, Nickel, Quecksilber und Silber konnten in keiner der untersuchten Grundwasserproben nachgewiesen werden. Von den übrigen Metallen (wie Aluminium, Blei, Cadmium, Uran und weitere) wurden teilweise Spurenkonzentrationen gemessen. Diese lagen jedoch durchwegs weit unterhalb der Anforderungswerte der FIV. Somit erfüllten alle untersuchten Grundwasserproben die gesetzlichen Vorgaben an die Trinkwasserqualität bezüglich Schwermetallen.



WEITERE MIKROVERUNREINIGUNGEN

HERKUNFT UND UNTERSUCHUNG

Weitere Mikroverunreinigungen – wie z.B. Rückstände von Arzneimitteln, Röntgenkontrastmittel und hormonaktive Stoffe – können über das Abwasser und die Abwasserreinigungsanlagen (ARA), wo sie nicht oder nur ungenügend entfernt werden, in die Fließgewässer und Seen gelangen. Einige dieser Mikroverunreinigungen können sich nachteilig auf die Gewässer und ihre Lebewesen auswirken und durch Infiltration aus den Fließgewässern in Spuren ins Grundwasser und damit ins Trinkwasser gelangen.

Mit den heutigen hochempfindlichen Analysemethoden lassen sich einzelne Mikroverunreinigungen in geringsten Konzentrationen im Grundwasser nachweisen. Mit diesen neu entwickelten Analyseverfahren ist es möglich, den Eintrag von Mikroverunreinigungen aus den Abwasserreinigungsanlagen in die Fließgewässer und weiter ins Grundwasser zu erfassen. Im Rahmen einer breit angelegten Untersuchungskampagne im Glatttal wird derzeit gezielt untersucht, welche Mikroverunreinigungen aus den Abwasserreinigungsanlagen in die Glatt und weiter ins Grundwasser gelangen.

BEURTEILUNG

Die bisher durchgeführten Einzelmessungen von ausgewählten Mikroverunreinigungen im Grundwasser ergaben keine auffälligen Befunde. Wenn Mikroverunreinigungen wie EDTA (Komplexbildner), Acesulfam (Süßstoff), Benzotriazole (Korrosionsschutzmittel), Carbamazepin (Arzneimittel), Sulfamethoxazol (Arzneimittel) im Grundwasser in Spuren nachgewiesen werden konnten, lagen die Befunde im erwarteten niedrigen Konzentrationsbereich. Die bisher gemessenen Konzentrationen waren alle derart gering, dass eine Auswirkung auf die menschliche Gesundheit nach heutigem Wissensstand ausgeschlossen werden kann.

SYNTHESE UND HANDLUNGSBEDARF



QUANTITÄT

Dank den langjährigen Grundwasserspiegelbeobachtungen an insgesamt 47 Pegelstationen sind die quantitativen Grundwasserverhältnisse gut bekannt. Die Messungen zeigen, dass eine Übernutzung der Grundwasservorkommen – was längerfristig zu einer Abnahme der Grundwasservorräte und damit verbunden zu Engpässen in der Wasserversorgung führen würde – bis anhin nirgends erkennbar ist.

Neben dem quantitativen Grundwassermonitoring wird zusätzlich auch eine aktive Wassernutzungsplanung verfolgt. Mit dem Konzept einer regionalen sowie überregionalen Vernetzung der Wasserversorgungen wird eine nachhaltige Nutzung der vorhandenen Wasserressourcen zu Gunsten der gesamten Bevölkerung sichergestellt. Damit bleibt die heutige hohe Versorgungssicherheit auch in Zukunft gewährleistet.

Ein umfassender quantitativer Grundwasserschutz ist auch künftig unerlässlich – die Bedeutung wird infolge anhaltenden Bevölkerungswachstums noch zunehmen. Entsprechend ist bei Tiefbauten unter den Grundwasserspiegel weiterhin darauf zu achten, dass bezüglich dem Grundwasser keine wesentliche Verminderung der Durchfluss- und Speicherkapazität resultiert, damit deren Nutzbarkeit auch für künftige Generationen gewährleistet ist.

Mit der anstehenden Festsetzung der Grundwasserschutzareale wird ein weiterer Meilenstein zur Sicherung der wichtigsten Grundwasserressourcen erreicht werden. Die Überwachung des Grundwasserdargebots und der -nutzung wird auch künftig erforderlich sein. Dies nicht zuletzt auch hinsichtlich der Klimaerwärmung, als Folge derer der Wasserbedarf im Sommer zunehmen wird, was bei gleichzeitiger regionaler Verknappung des Grundwasserdargebots ohne entsprechende Anpassungsstrategien zu Versorgungsengpässen führen würde.

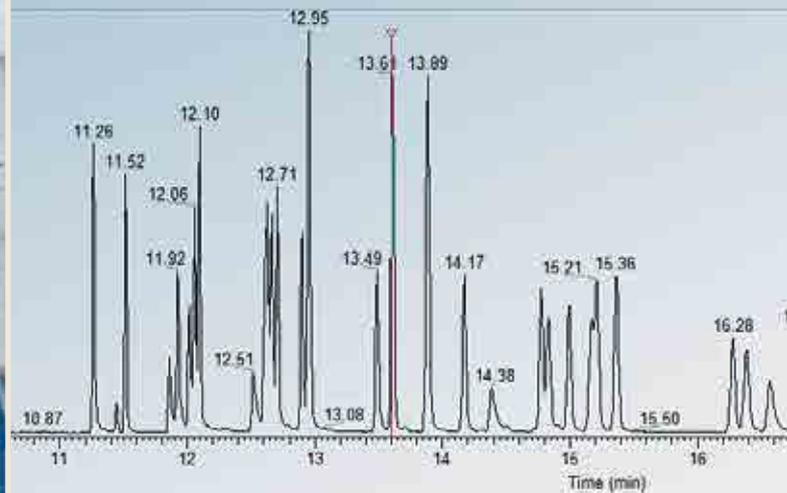
QUALITÄT

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 Wasserinhaltsstoffe nach wie vor Probleme.

Nitrat

Erhöhte Nitratgehalte im Grundwasser sind in erster Linie auf die Auswaschung landwirtschaftlich intensiv genutzter und gedüngter Ackerböden zurückzuführen. In den vergangenen Jahren hat sich die Nitratsituation dank verstärktem Trend in Richtung ökologischer Landwirtschaft vielerorts verbessert. Nach wie vor werden aber in einzelnen Trinkwasserfassungen Nitratgehalte gemessen, die über dem Toleranzwert für Trinkwasser von 40 mg/l liegen. Bei etwa rund einem Viertel der Grundwasserfassungen wurde in den letzten fünf Jahren das Qualitätsziel von 25 mg/l Nitrat nicht erfüllt.

Die Nitratsituation in überwiegend landwirtschaftlich genutzten Grundwassergebieten ist daher weiterhin sorgfältig zu überwachen. Bei Fassungen mit Nitratgehalten über dem Toleranzwert müssen – soweit nicht bereits erfolgt – die Zuströmbereiche Z_0 ausgeschieden und entsprechende Nitratsanierungsprojekte erarbeitet und die erforderlichen Massnahmen zur Verbesserung der Nitratsituation beim Grundwasser (z.B. gezielter Einsatz der Düngemittel, Extensivierung von Ackerland) konsequent umgesetzt werden. Nur so kann das Ziel, einen Indikatorwert (vgl. Seite 91) von 90% zu erreichen, mittelfristig erreicht werden.



Pflanzenschutzmittel und Abbauprodukte

Basierend auf den Ergebnissen der Messkampagnen kann die Qualität des Grundwassers hinsichtlich der Belastung mit Pflanzenschutzmitteln überwiegend als gut bezeichnet werden. Im Vergleich zu den Oberflächengewässern weist das Grundwasser eine sehr geringe Belastung mit Pestiziden aus Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten auf.

Eine neue Problematik zeichnet sich jedoch bei den Abbauprodukten der Pestizide, den Metaboliten, ab. Insbesondere in Quell- und Grundwasserfassungen in ländlichen Gebieten sind einzelne Metaboliten von Wirkstoffen weit verbreitet und in erhöhten Konzentrationen nachweisbar. Toxikologisch werden diese Abbauprodukte meist als nicht relevante Metaboliten eingestuft und stellen nach aktuellem Wissensstand keine Gefährdung für Mensch und Tier dar. Dennoch handelt es sich um eine unerwünschte Kontamination unseres Grund- und Trinkwassers, die im Sinne des Vorsorgeprinzips möglichst reduziert werden muss.

In der Schweiz fehlen zurzeit noch einheitliche Qualitätskriterien zur Beurteilung von Metaboliten aus Pflanzenschutzmitteln. Dies erschwert die Umsetzung von Massnahmen an der Quelle, um die Einträge dieser Metaboliten ins Grundwasser zu reduzieren. Um eine abschliessende Beurteilung der Grundwasserbelastung mit Metaboliten vornehmen zu können, müssen vom Bund in der Gewässerschutzgesetzgebung verbindliche Vorsorgewerte festgelegt werden. Dies ist bis anhin nicht der Fall. Hier besteht dringender Handlungsbedarf.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Die Belastungen mit flüchtigen organischen Stoffen (VOC) wie z.B. Lösungsmittel, halogenierte Kohlenwasserstoffe oder Benzinzusatzstoffe sind in den vergangenen Jahren auf einem niedrigen Niveau konstant geblieben, so dass sich keine generellen Massnahmen aufdrängen. Treten bei Einzelereignissen die Stoffe in erhöhten Konzentrationen im Grundwasser auf, werden die notwendigen Massnahmen direkt an der lokalen Verschmutzungsquelle getroffen. Eine Verunreinigung mit VOC kann dazu führen, dass das betreffende Grundwasser temporär nicht mehr als Trinkwasser verwendet werden kann.

Weitere organische Mikroverunreinigungen

Um die Belastungen des Grundwassers mit Mikroverunreinigungen noch genauer zu erfassen, baut das Gewässerschutzlabor des AWEL die Analytik mit hochempfindlichen Analysegeräten weiter aus und verstärkt die diesbezügliche Umweltbeobachtung. Ziel ist es, das Vorhandensein dieser Problemstoffe frühzeitig zu erkennen und deren zeitliche Entwicklung zu beobachten. Auch wenn die bisher gemessenen Konzentrationen noch keine Gefahr für die Trinkwasserversorgung darstellen, muss aus vorsorglichen Gründen dem Schutz der Trinkwasserressourcen und der Ökosysteme vor diesen Stoffen eine hohe Priorität eingeräumt werden. Dabei stehen regulatorische Massnahmen an der Quelle und technische Massnahmen bei den kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) im Vordergrund. Mit den dadurch erzielten Verbesserungen bei den Fliessgewässern wird automatisch auch eine Verbesserung beim Grundwasser erreicht, welches massgeblich durch Infiltration von diesen Oberflächengewässern gespeist wird.



TEMPERATUR

In den vergangenen Jahren hat die Zahl der Anlagen für eine thermische Nutzung der oberflächennahen Grundwasservorkommen stark zugenommen. Diese umweltfreundliche Art der Gewinnung von erneuerbarer Energie wird in Zukunft noch weiter an Bedeutung gewinnen.

Wärmeeintrag und -entzug führen zu lokalen Temperaturanomalien im Grundwasser. Gemäss Gewässerschutzverordnung sind Änderungen der natürlichen Grundwassertemperatur um maximal ± 3 °C zulässig. Bei einer Anlagenkonzipierung ist auch zu berücksichtigen, dass in grossen Agglomerationsgebieten das Grundwasser durch anthropogene Einflüsse (Kellergeschosse, Tiefgaragen, Abwasserleitungen etc.) gegenüber dem natürlichen Zustand bereits eine gewisse Erwärmung erfahren hat.

Eine thermische Beeinflussung des Grundwassers innerhalb der gesetzlichen Vorgabe ist grundsätzlich unproblematisch und führt zu keinen nachteiligen Auswirkungen

auf das Grundwasser. Allerdings müssen die Temperaturen sorgfältig überwacht werden, da eine gegenseitige Beeinflussung von Anlagen zur thermischen Nutzung des Grundwassers vermieden werden muss. Neue Anlagen werden nur bewilligt, wenn nach eingehender Prüfung und aufgrund einer sorgfältigen Abschätzung der thermischen Auswirkungen sichergestellt werden kann, dass die gesetzlichen Vorgaben eingehalten und bestehende Anlagen möglichst geringfügig beeinträchtigt werden. Eine Beeinflussung bestehender Anlagen könnte insbesondere in Gebieten mit einer hohen Anlagendichte wie zum Beispiel im Limmattal erfolgen, wo bereits heute zahlreiche, teils grosse Anlagen zur thermischen Nutzung des Grundwassers vorhanden sind. Um künftige Gesuche in dieser Hinsicht besser beurteilen zu können und um die energetische Grundwassernutzung zu optimieren, erstellt das AWEL derzeit ein hydraulisch-thermisches Grundwassermodell des Limmattals. Dieses Modell wird ein wichtiges Beurteilungsinstrument für die thermische Nutzung des Limmattgrundwasserstromes bilden.

ANHANG



102 [Glossar](#)

105 [Literaturverzeichnis](#)

GLOSSAR

Abwasser Das durch häuslichen, industriellen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch veränderte Wasser, ferner das von bebauten oder befestigten Flächen abfliessende Niederschlagswasser

Adsorption Anlagerung gelöster Stoffe an der Oberfläche fester Körper

aerob In Gegenwart von Sauerstoff

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

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

anaerob In Abwesenheit von Sauerstoff

Anomalie Abweichung vom Normalzustand

anorganisch Zum unbelebten Bereich der Natur gehörend

anthropogen Durch den Menschen beeinflusst oder verursacht

ARA Abwasserreinigungsanlage oder -anlagen

ARE Bundesamt für Raumentwicklung

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

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

BAFU Bundesamt für Umwelt

Bakterien Einzellige Kleinstlebewesen ohne Zellkern

BSB₅ Biochemischer Sauerstoffbedarf: Sauerstoffverbrauch während einer Zeitdauer von fünf Tagen für den mikrobiellen Abbau \rightarrow *organischer Substanzen*

Biofilm Auf einer Oberfläche festsitzende \rightarrow *Biomasse*

Biomasse Gesamtheit in einem bestimmten Raum lebender und toter Organismen

Biozide Wirkstoffe die nicht \rightarrow *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 \rightarrow *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).

Brunnenstube Der in der Regel zugängliche Einlaufschacht einer Quelfassung, in welchen die Fassungsstränge oder Zuleitungen münden

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

BWG Bundesamt für Wasser und Geologie; heute \rightarrow *BAFU*

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

Chlorophyll Grüner Farbstoff der \rightarrow *Produzenten* für die \rightarrow *Photosynthese*

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 Durch äusseren Einfluss entstandene Missbildung

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

Diatomeen \rightarrow *Kieselalgen*

DI-CH Kieselalgenindex zur Beurteilung der Wasserqualität gemäss BAFU-Modul Kieselalgen

Drainage Röhre zur Entwässerung einer landwirtschaftlichen Nutzfläche

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

Eawag Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz; Wasserforschungs-Institut der ETH

Eisensulfid FeS ; Hinweis auf ungenügende Sauerstoffversorgung

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

Erosion Abtragung durch Wasser, Eis oder Wind

eutroph hohe Biomasseproduktion aufgrund von hohem Nährstoffangebot

Extensivierung Umstellung von landwirtschaftlichen Betrieben auf eine umweltfreundlichere Betriebsform

Fauna Tierwelt (eines Gebietes)

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 Gebietes)

Flurabstand Der lotrechte Höhenunterschied zwischen einem Punkt der Geländeoberfläche und dem Grundwasserspiegel des obersten Grundwasserstockwerkes

Fracht Gesamtmenge eines Stoffes, welche eine Messstelle passiert

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

Geschiebetrieb Transport von Kies und Geröll (Geschiebe) durch die Schleppkraft 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.

Grundwasserfassung Bauwerk zur Grundwasserentnahme

Grundwasserleiter Wassergesättigter Teil einer hydrogeologischen Einheit, die geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen und weiterzuleiten und von ihrer Ausdehnung, Mächtigkeit und Durchlässigkeit her eine Grundwassernutzung zulässt. Massgebend für die obere Begrenzung des Grundwasserleiters ist der höchstmögliche Grundwasserspiegel. Grundwasserleiter können sowohl aus Lockergesteinen (Kiese, Sande usw.) wie auch aus geklüfteten oder verkarsteten Festgesteinen (Kalk- und Dolomitgesteine usw.) bestehen.

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

Grundwasserstauer Hydrogeologische Einheit, die Grundwasser aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeit nicht leitet

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; SR 814.20

GSchV Gewässerschutzverordnung; SR 814.201

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

Herbizid Substanz, welche 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, in der Fachsprache als \rightarrow *Diatomeen* bezeichnet

Klärschlamm Bei der Abwasserreinigung entstehender Schlamm

Kohlendioxid CO_2 ; Gas, Hauptprodukt jeder Verbrennung

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

Kolmation Verdichtung, Verfestigung und Verstopfung der Gewässersohle durch feine Schwebeteilchen

Konzentration Stoffmenge in einem bestimmten Volumen einer Flüssigkeit; Masseinheit z. B. Milligramm pro Liter [mg/l] oder Mikrogramm pro Liter [$\mu\text{g/l}$]

Leitfähigkeit Elektrolytische Fähigkeit von salzhaltigen Lösungen elektrische Ladungen zu übertragen

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

Makroinvertebraten Mit blossem Auge erkennbare, wirbellose tierische Kleinlebewesen

Makrophyten Moose und höhere Wasserpflanzen der Gewässer

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

mesotroph Mittlere Biomasseproduktion

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

Methan CH_4 ; farb- und geruchloses, brennbares Gas

Mikroorganismen Kleinstlebewesen (Bakterien, Pilze, Algen, Ciliaten, ...)

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

Mineralisierung Vollständiger biologischer Abbau von \rightarrow *organischen Substanzen* in anorganische Bestandteile

Morphologie Gestaltlehre, die äussere Form betreffend

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

Niederwasserabfluss \rightarrow 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 \rightarrow *Ammonium* (NH_4^+) über \rightarrow *Nitrit* (NO_2^-) zu \rightarrow *Nitrat* (NO_3^-) durch \rightarrow *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 Wechselbeziehungen 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 \rightarrow *anthropogen* bedingten Stoffen auf die belebte Umwelt untersucht

oligotroph geringe Biomasseproduktion

organische Substanzen Natürliche und synthetische Stoffe aus Kohlenstoffverbindungen

oxidieren Aufnahme von Sauerstoff bzw. Abgabe von Elektronen

Parameter Kennzeichnende Messgrösse

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 \rightarrow *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 \rightarrow *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 \rightarrow *Phosphor* durch \rightarrow *Phosphatfällung* und \rightarrow *Flockungsfiltration*

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

pH-Wert Mass für den Säuregrad einer Lösung

Phytoplankton Gesamtheit der im Wasser schwebenden pflanzlichen Organismen (Algen)

Population Gesamtheit aller Individuen einer Art in einem abgrenzbaren Gebiet

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

Protozoen tierische Einzeller

Q₃₄₇ Kenngrösse für den \rightarrow *Niederwasserabfluss* (= Trockenwetterabfluss)

Q_{mittel} mittlerer Abfluss

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

Quellertrag/Quellschüttung Bei einer Quelle pro Zeiteinheit austretende Menge an Grundwasser

reduzieren Abgabe von Sauerstoff bzw. Aufnahme von Elektronen

Referenzstelle Vergleichbare Untersuchungsstelle in naturnahem Zustand

resistent widerstandsfähig gegen Krankheit und Gift

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

revitalisieren Überführen eines Fließgewässers in einen naturnäheren Zustand

Sauerstoff O_2 ; als 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/cm^3 .

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 Abwasser (Kanalisation, Regenbecken, Regenüberläufe, Pumpwerke, ...)

Speichervolumen Nutzbarer (entwässerbarer) Porenraum in einem Grundwasserleiter

Stagnationsphase Temperatur- und dichtegegeschichteter Seezustand im Sommerhalbjahr

Stickstoff N_2 ; als 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

toxisch giftig

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.

Vegetation Gesamtheit aller Pflanzengesellschaften in einem Gebiet

Wassergesättigter Untergrund Untergrund, dessen Gesteinshohlräume vollständig mit Wasser gefüllt sind.

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 ($^\circ\text{fH}$) angegeben. Niedrige Härte ($<10^\circ\text{fH}$) bedeutet, dass nur wenig Calcium und Magnesium im Wasser gelöst ist, bei hoher Härte ($>30^\circ\text{fH}$) ist das Wasser reich an Calcium und Magnesium.

Zuströmbereich Der Zuströmbereich ZU umfasst das Gebiet, aus dem etwa 90 Prozent des Grundwassers stammen, das zu einer Grundwasserfassung gelangt (Definition nach Gewässerschutzverordnung).

Zirkulationsphase Vertikale Mischung der Wassermassen im See bis zum Grund (Winter)

Zooplankton Gesamtheit im Wasser schwebender tierischer Kleinorganismen

- [1] AWEL, 2006: Wasserqualität der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich - Statusbericht 2006. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, Baudirektion Kanton Zürich, 107 S.
- [2] BUWAL/BWG, 2003: Leitbild Fließgewässer Schweiz. Für eine nachhaltige Gewässerpolitik. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft / Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern, 12 S.
- [3] BUWAL, 1998: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Modul – Stufen – Konzept. Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 26, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 43 S.
- [4] Liechti P., 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen. Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005, Bundesamt für Umwelt, Bern. 44 S.
- [5] LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser), 1998: Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer. Band II: Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink. Kulturbuchverlag Berlin GmbH, Berlin.
- [6] Statistisches Amt des Kantons Zürich, 2012: Statistisches Jahrbuch des Kantons Zürich 2012. Zürich, 325 S.
- [7] Binderheim E., Göggel W., 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Äusserer Aspekt. Umwelt-Vollzug Nr. 0701, Bundesamt für Umwelt, Bern, 43 S.
- [8] Pfaundler M., Dübendorfer C., Zysset A., 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 1107, Bundesamt für Umwelt, Bern, 113 S.
- [9] Hütte M., Niederhauser P., 1998: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 27, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 49 S.
- [10] Richtplan Kanton Zürich, 28. März, 2012.
- [11] Zeh Weissmann H., Könitzer C., Bertiller A., 2009: Strukturen der Fließgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Umwelt-Zustand Nr. 0926, Bundesamt für Umwelt, Bern. 100 S.
- [12] Hürlimann J., Niederhauser P., 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740, Bundesamt für Umwelt, Bern, 130 S.
- [13] Egloff F., 1977: Wasserpflanzen des Kantons Zürich. Die heutige Verbreitung und jüngste Geschichte der aquatischen Angiospermen. Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrgang 122, Heft 1, Druck und Verlag Lehmann AG Zürich, 140 S.
- [14] Känel B., 2010: Methode zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässervegetation im Kanton Zürich. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, Baudirektion Kanton Zürich, 102 S.
- [15] Zobrist J., Alder A., Giger W., Känel B., Schönenberger U., Steinmann P., 2011: 77 Jahre Untersuchungen an der Glatt. Entwicklung der Belastung und Fortschritte bei der Gewässerbeurteilung. GWA 5/2011, S. 315-327.
- [16] Stucki P., 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 1026, Bundesamt für Umwelt, Bern, 61 S.
- [17] Niederhauser P., 2004: Referenzsystem für den Kanton Zürich zur biologischen Beurteilung der Fließgewässer mit Makroinvertebraten. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, Baudirektion Kanton Zürich, 59 S.
- [18] Schager E., Peter A., 2004: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Fische Stufe F (flächendeckend). Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 44, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 63 S.
- [19] AquaPlus, 2001: Entwicklung des Gesamtphosphors im Türlerse. AquaPlus, Auftrag Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, 38 S.
- [20] Matzinger A., Müller B., Schmid M., Little J., Stierli R., Zwysig A., Wüest J., 2008: Zirkulationsunterstützung im Türlerse und Pfäffikersee. Evaluation von Betrieb und Messprogramm. Eawag, Auftrag Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, interner Bericht, 70 S.
- [21] AWEL, 2005: Vision Zürichsee 2050. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Baudirektion Kanton Zürich, interner Bericht.
- [22] AquaPlus, 2001: Entwicklung des Gesamtphosphors im Pfäffikersee. AquaPlus, Auftrag Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, 47 S.
- [23] AquaPlus, 2004: Entwicklung des Gesamtphosphors im Greifensee. AquaPlus, Auftrag Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, 68 S.
- [24] Steinmann P., 2008: Dikerogammarus villosus im Zürichsee und in der Limmat: Bestandesmonitoring. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, Baudirektion Kanton Zürich, 28 S.
- [25] Steinmann P., 2008: Makrozoobenthos und aquatische Neozoen im Greifensee und Pfäffikersee. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz, Baudirektion Kanton Zürich, 28 S.





SCHUTZ DER GEWÄSSER – EINE DAUERAUFGABE

Dank den bisherigen Gewässerschutzmassnahmen hat sich die Qualität der Seen, der Fliessgewässer und des Grundwassers stark verbessert.

Trotz wachsender Bevölkerung und neu erkannten Gefährdungen, wie Pestiziden und Medikamentenrückständen im Wasser, wollen wir diesen Zustand halten und weiter verbessern. Dazu brauchen wir weiterhin Ihre Unterstützung.

WEITERE EXEMPLARE

.....
zum Unkostenbeitrag von CHF 20.–,
Mengenrabatt auf Anfrage

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Gewässerschutz
Weinbergstrasse 17, Postfach, 8090 Zürich

gewaesserschutz@bd.zh.ch

PDF-DATEI

.....
Gesamt oder einzelne Kapitel. Download unter
<http://www.gewaesserqualitaet.zh.ch>