

Wasserqualität in Zukunft

Fachleute rechnen bis ins Jahr 2100 mit einer Erhöhung der mittleren Lufttemperatur um rund 3 °C (gegenüber 1981–2010). Auch in Schweizer Gewässern steigt die Temperatur, z.B. im Rhein bei Basel seit 1960 um mehr als 2 °C (Abb. 5). Hierzu tragen der Klimawandel und die Einleitung von erwärmtem Wasser aus Kühlanlagen oder ARAs bei.

Der Klimawandel beeinflusst die Wasserqualität unterschiedlich. Wegen verringerten Abflussmengen im Sommer werden Stoffe weniger verdünnt und höhere Temperaturen können eine Sauerstoffabnahme und stärkere Ausbreitung von Fischkrankheiten bewirken. In flusswassergespeistem Grundwasser sind Erwärmung und Sauerstoffabnahme ebenfalls feststellbar. Welche Auswirkungen diese Veränderungen auf die Grundwasserqualität haben, ist noch unklar. Von Niederschlag gespeistes, flussfernes Grundwasser erwärmt sich dagegen langsamer.

Mit den zukünftig häufiger und intensiver erwarteten Starkniederschlägen wird in Siedlungen der Schadstoffeintrag aus überlasteten Kanalsystemen in Fließgewässern zunehmen (Mischsystem). Zudem wird erwartet, dass die höheren Niederschlagssummen im Winter zu einer verstärkten Nitrat- auswaschung und vermehrter Erosion führen. In Seen wird bei höheren Temperaturen die Temperaturschichtung stabiler, was die Durchmischung erschwert und zu Sauerstoffabnahme im Tiefenwasser und Biodiversitätsrückgang führt.

Fachleute erwarten, dass Wirtschafts-, Bevölkerungs- und Siedlungswachstum sowie Lebensstil die Wasserqualität bis ins Jahr 2100 insgesamt stärker beeinflussen als der Klimawandel (Abb. 7). Es gilt daher, Stoffeinträge in die Umwelt allgemein zu senken sowie direkte Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Gewässer zu vermindern.

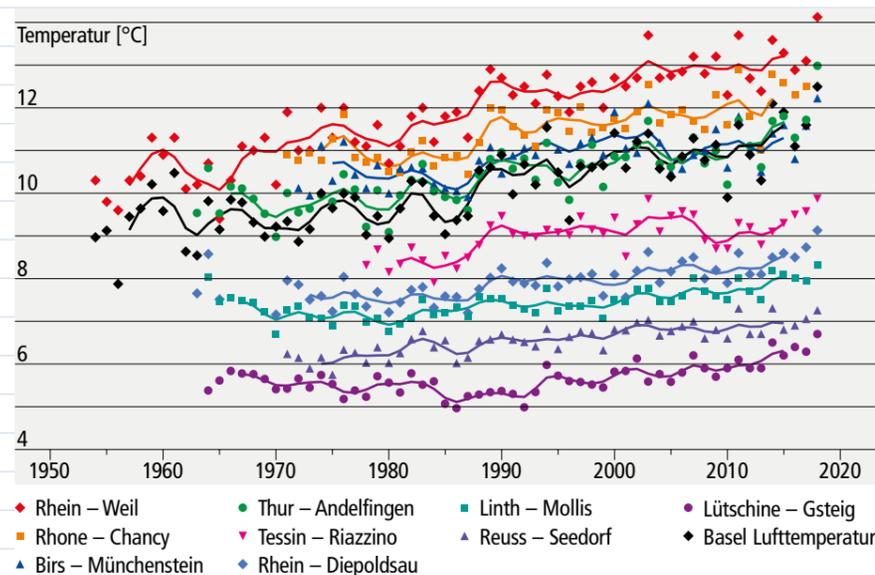


Abb. 5: Verlauf der Lufttemperatur von Basel und der Wassertemperaturen von neun ausgewählten Abflussstationen. Für Stationen mit niedriger mittlerer Wassertemperatur (z.B. Lüttschine – Gsteig) ist der Temperatursprung zwischen 1987 und 1988 weniger deutlich als z.B. für Riazino. Zudem fällt die geringere Temperaturschwankung der Lüttschine zwischen den Jahren auf. Beides veranschaulicht den ausgleichenden Effekt der Gletscher. (Quelle: BAFU)

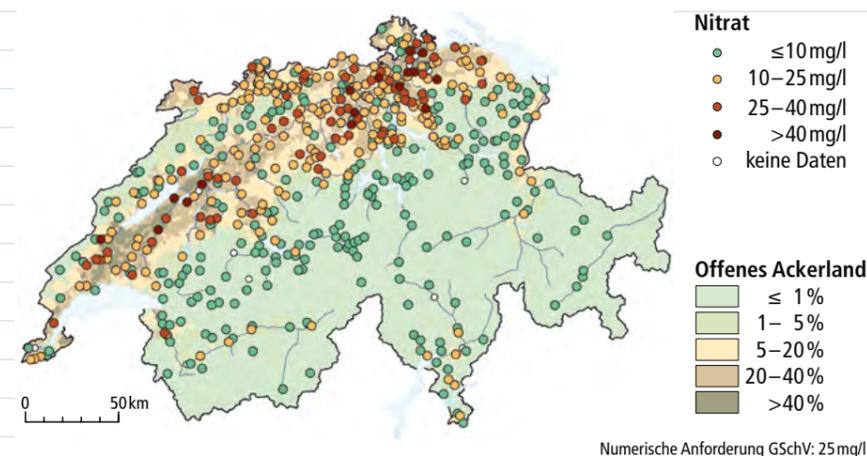


Abb. 6: Nitrat im Grundwasser bezogen auf Ackerbaunutzung (2019). Die höchsten Nitratkonzentrationen im Grundwasser finden sich im landwirtschaftlich intensiv genutzten Mittelland. (Grafik Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA, Bundesamt für Umwelt, 2020)



Abb. 7: Alternde Infrastrukturen (50–80 % aller Hausanschlussleitungen sind sanierungsbedürftig) und sozioökonomische Veränderungen wie Siedlungs- oder Bevölkerungsentwicklung werden sich voraussichtlich stärker auf die Siedlungswasserwirtschaft auswirken als der Klimawandel. (Foto: SWIP, aus NFP61 Synthesebericht)

Wasser kristallklar

Für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung spielt neben der Wassermenge vor allem die Wasserqualität eine bedeutende Rolle (Abb. 1). Darunter versteht man die physikalischen (z.B. Temperatur), chemischen (z.B. gelöste Stoffe), biologischen (z.B. Mikroorganismen) und organoleptischen (z.B. Geschmack) Eigenschaften. Sämtliche Wasservorkommen enthalten zum einen Stoffe aus natürlich vorkommenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen und zum anderen Stoffe aus Aktivitäten des Menschen, vorwiegend in Siedlungs-, Industrie-, Gewerbe- und Landwirtschaftsgebieten (Abb. 2). Stoffe aus natürlichen Prozessen und anthropogenen Aktivitäten gelangen über Atmosphäre und Erdoberfläche in die Wasservorkommen und beeinflussen deren Qualität.

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts waren die Oberflächengewässer der Schweiz nur geringfügig belastet, aufgrund kleiner Bevölkerungszahlen und mehrheitlich geschlossener Nährstoffkreisläufe (z.B. in Landwirtschaft). Allerdings verschmutzten Gerbereien, Bleichereien und Schlachtbetriebe damals die Gewässer. Nach 1850 gelangte vermehrt ungereinigtes Abwasser in Schweizer Seen und Flüsse, insbesondere weil Städte und Industrie stark wuchsen, Wasserklosetts aufkamen und Kanalisationen direkt in Gewässer geleitet wurden. Zuerst schlug die Fischerei Alarm, was den Bau erster Abwasserreinigungsanlagen (ARA) ab dem Jahr 1917 auslöste. Deren Ausbau verlief jedoch schleppend, 1965 waren erst 14 % der Bevölkerung angeschlossen (Abb. 3). Daher musste noch in den 1970er-Jahren vom Schwimmen in Flüssen und Seen abgeraten werden (Abb. 1). Aktuell sind rund 97 % der Bevölkerung an ARAs angeschlossen, womit sich die Wasserqualität stark verbesserte.



Abb. 1: Badeverbot im verschmutzten Neuenburgersee im Jahr 1964 (© Keystone)

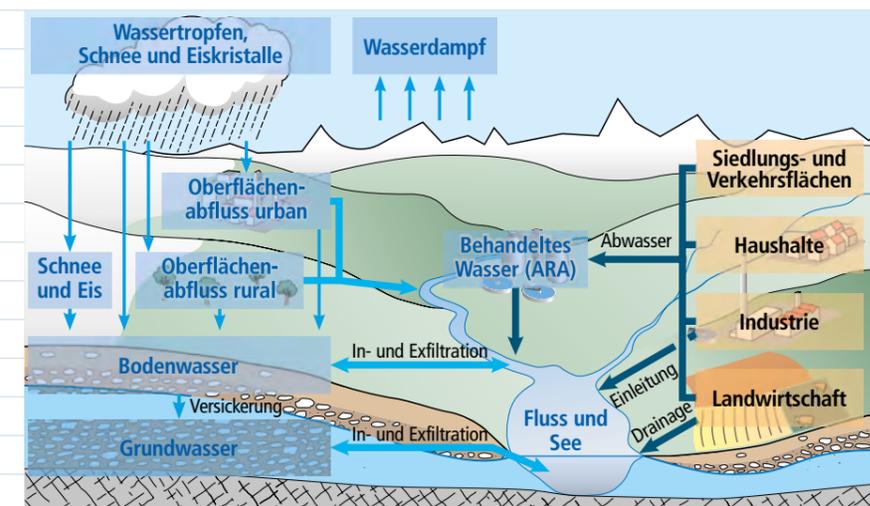


Abb. 2: Wasservorkommen in der Atmosphäre, auf der Erdoberfläche und im Untergrund

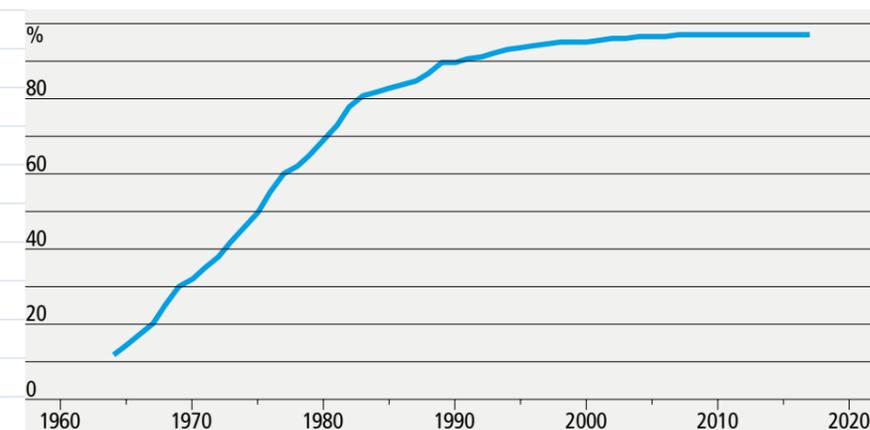


Abb. 3: Bevölkerungsanteil mit Anschluss an Abwasserreinigungsanlagen von 1964 bis 2017

Stoffe im Wasser

Die Wasservorkommen der Erde enthalten natürlich und anthropogen eingebrachte Stoffe, welche die **Wasserqualität** prägen (Abb. 4 und Tab. 1). Bereits in der Atmosphäre reichern sich in Regentropfen natürliche und anthropogene Stoffe an (z.B. Kohlendioxid aus der Luft, Sauerstoff aus der Vegetation, Schwermetalle aus Industrie und Verkehr). Sie erreichen mit dem **Niederschlag** die Erdoberfläche, wo weitere Stoffe wie Streusalz von Strassen, Pflanzenschutzmittel und Dünger von Feldern und Gärten oder Biozide von Hausfassaden aufgenommen werden und in ober- und unterirdische Gewässer gelangen.

Natürliche Reinigung

Grundwasser ist Teil des natürlichen Wasserkreislaufs (Abb. 4). Es erneuert sich durch versickerndes Niederschlags- und Schmelzwasser sowie infiltrierendes Oberflächenwasser. Durch die Wechselwirkung des Sickerwassers mit Bodenpartikeln und des Grundwassers mit Gestein reichert es sich mit Mineralien an (**Mineralisierungsprozess**). Der Boden reinigt als natürlicher Filter das versickernde Wasser (**Reinigungsprozess**). Daher ist unter einer gut ausgebildeten Bodenschicht das Grundwasser meist gut vor biologisch abbaubaren und wenig mobilen **Mikroverunreinigungen** geschützt. Einmal ins Grundwasser gelangt, werden Stoffe kaum mehr abgebaut. Weil das Grundwasser oft mehrere Jahre bis Jahrzehnte im Untergrund verweilt, bleibt es selbst dann noch lange verunreinigt, wenn keine Stoffe mehr eingetragen werden. Krankheitserregende **Mikroorganismen** (z.B. Bakterien und Viren) im Wasser können Durchfallserkrankungen auslösen. Werden Mikroorganismen in den Untergrund eingetragen, sterben sie wegen den ungünstigen Verhältnissen innerhalb von etwa 10 Tagen mehrheitlich ab.

Die chemische Zusammensetzung des **Grundwassers** wird beeinflusst durch das Sickerwasser, die Boden- und Gesteinsart sowie die Verweilzeit im **Grundwasserleiter** (Aquifer). Bei schlecht ausgebildetem Boden, hoher

Fliessgeschwindigkeit und kurzer Verweilzeit im Aquifer wird das Wasser weniger von Schadstoffen gereinigt und meist auch weniger mit Mineralien angereichert. In der Schweiz unterscheidet man drei Typen von Grundwasserleitern. In **Lockergesteins-Grundwasserleitern** des Mittellands und der Alpentäler fliesst das Wasser normalerweise mit gleichmässiger Geschwindigkeit von bis zu einigen Dutzend Metern pro Tag durch Zwischenräume von Sand, Kies und Steinen. Obschon im Mittelland der Boden meist gut vor Verschmutzungen schützt, ist das Grundwasser wegen intensiver Landwirtschaft und dichter Besiedlung teilweise stark belastet.

Im Festgestein fliesst das Grundwasser je nach Gesteinsart mit unterschiedlicher Geschwindigkeit; in **Kluft-Grundwasserleitern** kristalliner Gesteine entlang von Klüften (z.B. Granit in Alpen) mit bis zu mehreren Hundert Metern pro Tag und in klastischen Gesteinen durch Klüfte und Poren (z.B. Sandstein im Mittelland) deutlich langsamer. In **Karst-Grundwasserleitern** des Juras und der Alpen fliesst das Wasser in Hohlräumen des Kalkgesteins bis zu mehreren Kilometern pro Tag. Weil in karstigen Gebieten meistens auch die Böden wenig mächtig sind, ist das Grundwasser hier besonders anfällig für Verunreinigungen. Grundwasser kann in Fließgewässern und Seen exfiltrieren oder bei **Quellen** an die Erdoberfläche gelangen. Dies kommt vor, wo Kluft- oder Höhlensysteme an die Oberfläche treten oder wo Grundwasser auf einer tiefer liegenden, schlecht durchlässigen Gesteinsschicht trifft und entlang diesem **Grundwasserstauer** an die Erdoberfläche fliesst. In der Schweiz leiten über 30 000 **Quellfassungen** solche ursprünglich natürlichen Grundwasseraustritte in Wasserreservoir. Grundwasser im Lockergestein der Talböden wird über **Förderbrunnen** meist aktiv in **Wasserreservoir** gepumpt (Abb. 4).

Ressource Trinkwasser

Der Trinkwasserbedarf der Schweiz wird mit 80 % aus **Grundwasser** und 20 % aus See-

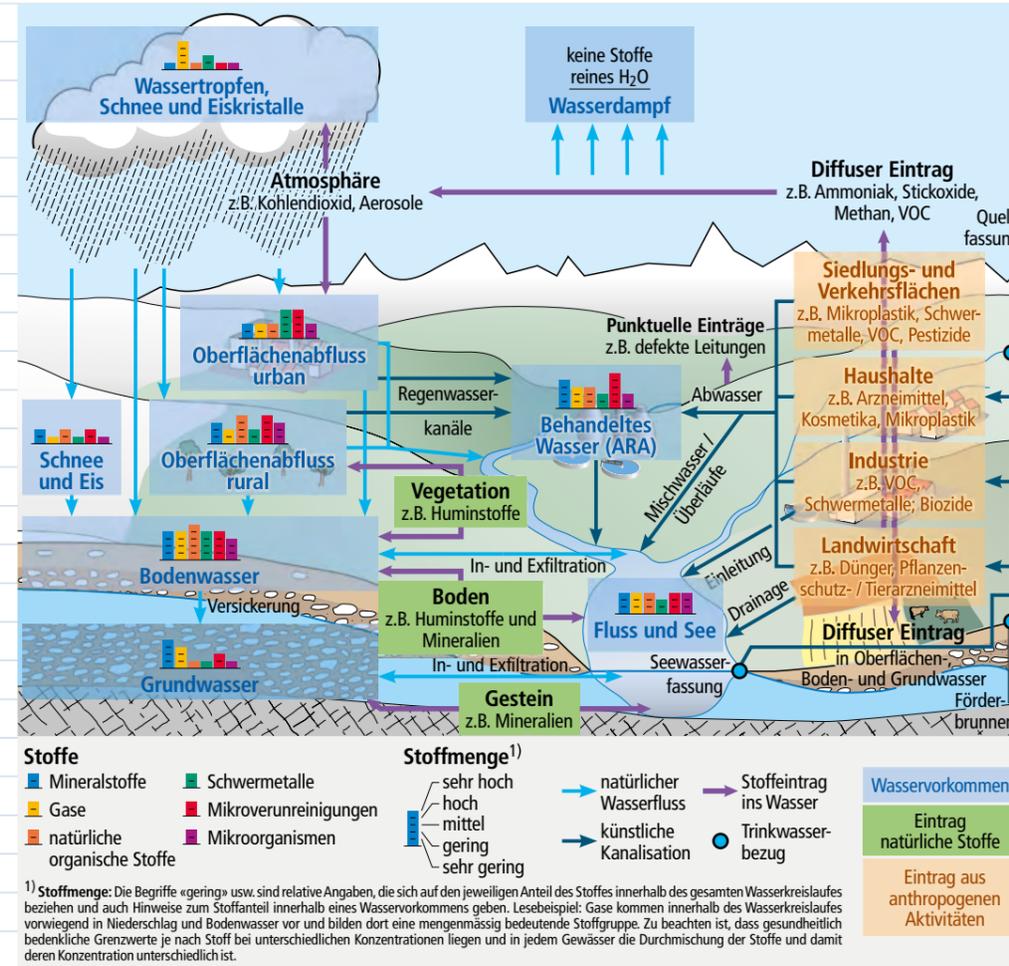


Abb. 4: Überblick zu Wasservorkommen mit ihren wichtigsten Stoffanteilen sowie natürlichen und anthropogenen Stoffeinträgen und Trinkwasserbezügen

Stoffgruppen	Beschreibung	Beispiele
Mineralstoffe	Anorganische Elemente, Ionen und Verbindungen, welche u.a. Lebewesen in ihrem Stoffwechsel zum Teil benötigen.	Calcium Ca^{2+} , Magnesium Mg^{2+} , Kalium K^+ , Natrium Na^+ , Eisen Fe^{2+} und Fe^{3+} , Nitrat NO_3^- , Phosphat PO_4^{3-} , Zink Zn^{2+} , Kupfer Cu^{2+}
Gase	Kommen in der Atmosphäre, Hydrosphäre und Pedosphäre vor und lösen sich in diesen Sphären in Kontakt mit Wasser.	Sauerstoff O_2 , Kohlendioxid CO_2 , Stickstoffoxide NO_x , Stickstoffdioxid NO_2 , Ammoniak NH_3 , Schwefeldioxid SO_2 , Methan CH_4 , VOC
Natürliche organische Stoffe	Verbindungen, welche im Wasser von Natur aus in geringen Konzentrationen vorkommen und die Lebewesen z.T. in ihrem Stoffwechsel benötigen.	Huminstoffe, organische Säuren, Kohlenhydrate, Proteine, Fette, VOC (z.B. Pflanzenduftstoffe)
Schwermetalle	Metalle mit hoher Dichte ($>5.0 g/cm^3$), die im Wasser als Partikel oder gelöst vorkommen.	Zink Zn^{2+} , Kupfer Cu^{2+} , Blei Pb^{2+} , Quecksilber Hg^{2+} , Cadmium Cd^{2+}
Mikroverunreinigungen (=organische Spurenstoffe)	Stammen aus Aktivitäten des Menschen im täglichen Leben und können Wasser in kleinsten Konzentrationen verunreinigen.	Pflanzenschutzmittel (und deren Abbauprodukte), Biozide, VOC, Mikroplastik, Human- und Tierarzneimittel, Süsstoffe
Mikroorganismen	Mikroskopisch kleine Lebewesen, die in Stoffkreisläufen (z.B. Zersetzung) und als Krankheitserreger vorkommen.	Bakterien, Viren, Pilze, Mikroalgen, Einzeller

Tab. 1: Stoffgruppen in Wasservorkommen mit wichtigen Beispielen (grün = natürliche Stoffe, rot = Stoffe aus anthropogenen Aktivitäten, violett = natürliche und anthropogene Stoffe)

wasser gedeckt. Vom Grundwasser ist 40 % ohne Aufbereitung nutzbar, der Rest muss behandelt werden, beispielsweise mit Filtern, Chlor, UV-Licht oder Ozon. Wo Grundwasser nicht in gewünschter Menge und Qualität vorliegt, kann Flusswasser zur **künstlichen Grundwasseranreicherung** in nahe Aquifere infiltriert werden (z.B. Basel, Genf, Zürich).

Seewasser verlangt eine aufwendige Aufbereitung, da neben unerwünschten Stoffen auch Algen und anderes Plankton zu entfernen sind. Die Belastung der Seen (z.B. durch Phosphor) ist sehr unterschiedlich und hängt unter anderem von der Bevölkerungs- und Nutztierdichte im Einzugsgebiet ab.

Anthropogene Stoffe

In der Schweiz werden täglich ca. 30 000 verschiedene Substanzen eingesetzt. Ein Teil davon kann die Wasserqualität als **diffuse Stoffeinträge** über Atmosphäre und Oberfläche (z.B. aus Landwirtschaft, Strassenverkehr) oder als **punktuellen Einträge** an bestimmten Austrittsstellen (z.B. ARA-Ausläufe, undichte Leitungen, Altlasten) beeinträchtigen.

Aus **Siedlungen** gelangen schwer eliminierbare Stoffe mit gereinigtem Abwasser sowie weitere Stoffe über undichte Kanalisationen oder Regenwasserüberläufe in ober- und unterirdische Gewässer (z.B. Mikroplastik, Süsstoffe, Medikamente, Kosmetika). Etwa 50–80 % aller Hausanschlussleitungen in der Schweiz sind sanierungsbedürftig. Hinzu kommen Einträge aus Siedlungen mit Trenn- und Mischsystemen. Auf rund 30 % der Siedlungsfläche wird seit den 1960er-Jahren Regenwasser über ein separates Kanalsystem (**Trennsystem**) gesammelt und ohne Behandlung in Gewässer geleitet. Mit dem Regen abgeschwemmte Stoffe (z.B. Biozide von Gebäudefassaden, Gummi von Reifenabrieb, Schwermetalle durch Bremsabrieb) gelangen so direkt in die Gewässer. Auf den restlichen 70 % der Siedlungsfläche wird der Regen im gleichen System wie das Abwasser gesammelt und zur Kläranlage geleitet (**Mischsystem**). Überstei-

gen Starkniederschläge das Aufnahmevermögen der Mischkanalisation bzw. der ARA, muss ein Teil des Abwassers ungereinigt in die Gewässer geleitet werden. Bei der Entwässerung von **Verkehrsflächen** (Eisenbahn und Strassen) werden vorwiegend Schwermetalle, Mikroplastik (z.B. Reifenabrieb) und flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC, volatile organic compounds) über ARA oder direkt in Gewässer eingetragen. Aus **Industrie und Gewerbe** gelangen vielfältige Mikroverunreinigungen über ARA oder als Einleitung mit oder ohne Vorbehandlung in die Oberflächengewässer.

Aus der **Landwirtschaft** gelangen Düngemittel, Pflanzenschutz- und Tierarzneimittel in die Umwelt. Werden Nährstoffe nicht durch Pflanzen aufgenommen (z. B. bei **Überdüngung**), gelangen sie durch Abschwemmung, Versickerung oder Drainagen in Fließgewässer, Seen und Grundwasser (Abb. 4). Insbesondere Stickstoff in Form von Nitrat ist problematisch, da sich Nitrat kaum an Bodenpartikel bindet, sich gut in Wasser löst und daher leicht ins Grundwasser eingetragen wird (Abb. 6). Gelangt übermässig Phosphor in Seen, kommt es zu einer Nährstoffübersorgung (**Eutrophierung**, griech., eutrophos «gut ernährt»), was ein Algenwachstum auslöst. Abgestorbene Algen sinken auf den Seeboden. Dort verwesen sie unter hohem Sauerstoffverbrauch, was zu einem Biodiversitätsrückgang im See führt. Mehrere Seen im Mittelland müssen daher künstlich belüftet werden. In kleinen Fließgewässern sind vor allem **Pflanzenschutzmittel** ein Problem, da einige davon in kleinsten Mengen Fauna und Flora beeinträchtigen. Neben Nitrat können Pflanzenschutzmittel sowie deren Abbauprodukte auch ins Grundwasser gelangen.

Nach heutigem Wissensstand stellen die im Trinkwasser gefundenen Stoffe keine Gesundheitsgefährdung für den Menschen dar. Unbefriedigend sind jedoch verbreitete Verunreinigungen aus Landwirtschaft und Siedlungen, welche die Biodiversität und Wasserqualität auch in Zukunft stark beeinträchtigen.



Arbeitsblatt: Wasser kristallklar

Leitfragen und Aufträge

Fokus

Obschon sich mit dem Bau von Abwasserreinigungsanlagen (ARA) die Wasserqualität von Flüssen und Seen in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten verbessert hat, ist der Zustand vieler Oberflächengewässer immer noch ungenügend. In der Schweiz werden täglich rund 30 000 verschiedene Substanzen eingesetzt. Diese gelangen über vielfältige anthropogene Aktivitäten in Landwirtschaft, Industrie, Haushalten, Siedlungen und Verkehr in Umwelt und Gewässer.

Wo kann in besiedelten und landwirtschaftlich genutzten Regionen der Schweiz qualitativ einwandfreies Trinkwasser bezogen werden?

Schätzen Sie die Wasserqualität verschiedener Wasservorkommen ab, indem Sie ausgehend von Ihrem Vorwissen mögliche natürliche und anthropogene Stoffe in diesen Wasservorkommen in der Tabelle zusammenstellen. Lokalisieren Sie anschliessend für Ihre Wohnregion Trinkwasserressourcen, die eine möglichst hohe Wasserqualität versprechen, und begründen Sie Ihre Auswahl.

Wasservorkommen	Wasserinhaltsstoffe			Trinkwasserressourcen mit hoher Wasserqualität (Fazit)
	natürlich	anthropogen	anthropogen und natürlich	
Wasserdampf				
Wassertropfen, Schnee- und Eiskristalle				
Schnee und Eis				
Bodenwasser				
Grundwasser				
Oberflächenabfluss urban				
Oberflächenabfluss rural				
Fluss und See				

Wissen

Vergleichen Sie Ihre Überlegungen zur Wasserqualität verschiedener Wasserkommen und Ihre Wahl von Trinkwasserressourcen mit hoher Wasserqualität für die Schweiz mit dem Fachwissen im Bereich «Wissen» und ergänzen Sie Ihre Hypothesen in der Tabelle.

Transfer

Wirtschafts-, Bevölkerungs- und Siedlungswachstum sowie der Zustand der Wasserinfrastruktur erhöhen den Druck auf die Wasserqualität.

Welche Massnahmen können die Wasserqualität in Fliessgewässern, Seen und Grundwasser langfristig erhalten und verbessern?

Stellen Sie in der Tabelle zu den verschiedenen Bereichen vielfältige Strategien und Massnahmen für die langfristige Sicherung der Wasserqualität in der Schweiz zusammen.

Bereiche	Strategien und Massnahmen
Trinkwasserversorgung	
Landwirtschaft	
Industrie und Gewerbe	
Siedlungsentwicklung	
Abwasserreinigung	
Haushalte, Individuen	

Literatur

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2019: Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2017: Wasserqualität. Magazin «umwelt» 1/2017. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2014: Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen. Bern.

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission. Bern.

Hoffmann S., Hunkeler D., Maurer M., 2014: Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz. Herausforderungen und Handlungsoptionen. Thematische Synthese 3 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Kunz M., Schindler Wildhaber Y., Dietzel A., 2016: Zustand der Schweizer Fliessgewässer. Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011–2014. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1620: 87 S.

Liechti P., 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern.