



# WASSER verstehen

Lernmedium zur Hydrologie für die Sekundarstufe II

## Didaktische Informationen

## Teil I

### Didaktische Anregungen zur Umsetzung im Unterricht

1. Einsatzmöglichkeiten	2
2. Lernziele und Kompetenzen	2
3. Didaktische Hinweise	3

## Teil II

### Module – leitende Lernziele und Lösungsvorschläge

<b>Modul 1:</b> Hydrologische Extremereignisse	6
• Starkniederschlag	6
• Hochwasser	7
• Umgang mit Hochwasser	9
• Niedrigwasser	10
<b>Modul 2:</b> Wallis – Wassernutzung im Wandel	11
• Wasserdargebot	11
• Nutzung des Wassers	14
• Wasserverteilung	18
• Wasserbewirtschaftung bis 2100	20
<b>Modul 3:</b> Wasser und Mensch eng vernetzt	21
• Wasserreichtum begrenzt	21
• Wasser kristallklar	26
• Wasserversorgung bedrängt	29
• Wasser gestalten	32

# Teil I

## Didaktische Anregungen zur Umsetzung im Unterricht

Seit mehr als 20 Jahren fasst das wissenschaftlich fundierte Werk «Hydrologischer Atlas der Schweiz» (HADES) hydrologische Grundlageninformationen und Spezialwissen in kompakter Form zusammen. Mit dem Lernmedium «WASSERverstehen» wird dieses Forschungswissen für die Lernenden der Sekundarstufe II aufbereitet. In gedruckter und elektronischer Form bietet das Lernmedium eine inhaltlich und didaktisch durchdachte Lernumgebung an, welche eine aktive Auseinandersetzung mit aktuellen Fragestellungen der Hydrologie fördert. Die Jugendlichen sollen so verschiedene relevante hydrologische, wasserwirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Aspekte der Gewässer verstehen, Herausforderungen erkennen und Handlungsoptionen entwickeln.

### 1. Einsatzmöglichkeiten

Das Lernmedium «WASSERverstehen» besteht aus Modulen, welche vier in sich geschlossene Themenblätter enthalten. Dieser modulare Aufbau ermöglicht einen flexiblen Einsatz im Unterricht. So können die Module und auch die Themenblätter einzeln gewählt und bezogen auf ein aktuelles Ereignis (z.B. Hochwasser, Trockenheit) oder auf ein regionalgeographisches Beispiel (z.B. Hochwasser im Wallis) im eigenen Unterricht integriert werden.

Mit der flexiblen Einsetzbarkeit des Lernmediums wird den verschiedenen Lehrplänen in der Schweiz und den unterschiedlichen Unterrichtskonzepten der Lehrpersonen entsprochen. An Mittelschulen eignet sich «WASSERverstehen» insbesondere für das Grundlagen- und Ergänzungsfach Geographie sowie für Blockwochen. An Berufsschulen lässt sich das Lernmedium für den allgemeinbildenden Unterricht im Lernbereich Gesellschaft einsetzen. Dort ist die Behandlung von Aspekten der Ökologie, Technologie oder Wirtschaft vorgesehen.

Die vier gedruckten Themenblätter eines Moduls dienen als Arbeitsgrundlage für Schülerinnen und Schüler. Mit dem elektronischen Lernbuch (E-Book) stehen ausgewählte Medien (Film, Ton, Bild, Text) in benutzerfreundlicher, zeitgerechter und übersichtlicher Form mit einem klaren inhaltlichen Bezug zu den gedruckten Themenblättern ergänzend zur Verfügung. Damit will die Lernumgebung die Bedeutung der Themen für die heutige und zukünftige Gesellschaft realitätsnah und aktualitätsbezogen aufzeigen, eine vertiefte und analytische Auseinandersetzung ermöglichen sowie Bezüge zur Lebenswelt der Lernenden schaffen.

«WASSERverstehen» kann methodisch vielfältig im Unterricht eingesetzt werden. Die problem- und zielorientierte Auswahl von Medien unterstützt die Lehrperson bei der Unterrichtsvorbereitung und -gestaltung. Für den Frontalunterricht lassen sich sämtliche Medien bildschirmgross projizieren und so für problemorientierte Diskussionen, Fragen und Erläuterungen in der Klasse einbeziehen. Das didaktische Konzept von «WASSERverstehen» unterstützt zudem verschiedene schülerzentrierte Unterrichtsformen. Ausgehend von den Problemstellungen in den Arbeitsblättern lassen sich Gruppenpuzzle zu einem Themenblatt oder zum gesamten Modul durchführen. Der Medienverbund bietet auch für eigenständige Recherchearbeiten der Schülerinnen und Schüler eine zielgerichtete Grundlage.

### 2. Lernziele und Kompetenzen

Mit der Lernumgebung werden verschiedene Lernziele verfolgt und Kompetenzen gefördert.

Die Lernenden...

- verstehen relevante hydrologische, wasserwirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Aspekte der Gewässer.
- setzen sich intensiv mit den hydrologisch relevanten Veränderungen wie Klimawandel, Energiewende, Siedlungsentwicklung, Konsumverhalten, Wasserverfügbarkeit und -verbrauch sowie deren Wechselwirkungen auseinander.
- erkennen im Spannungsfeld von verschiedenen Interessen an Gewässern die Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte.
- entwickeln zukunftsorientierte Handlungsoptionen den allgemeinen Umgang mit Wasser, z.B. für die Wasserversorgung, die Wasserkraft, die Landwirtschaft und den Umgang mit hydrologischen Extremereignissen.
- erlernen mit der Umsetzung des analytisch-erkenntnisorientierten Lernansatzes (AEL) eigenständiges und analytisches Denken und können dadurch das erworbene Wissen zur Hydrologie in anderen Situationen, Lebensräumen und an neuen Aufgaben anwenden und weiterentwickeln.

Mit dem didaktischen Konzept und der abgestimmten Medienauswahl erwerben die Lernenden folgende Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung:

- Das Denken in Zusammenhängen (systemisches Denken): Die Lernenden sind in der Lage, Themen und Fragestellungen aus unterschiedlichen Blickwinkeln (ökologisch, sozial und ökonomisch; lokal und global) zu betrachten und dabei die Dimensionen nachhaltiger Entwicklung einzubeziehen.
- Das kritische Beurteilen (Werte): Die Lernenden sind in der Lage, unterschiedliche Werthaltungen und Wertvorstellungen sowie gesellschaftliche Interessenslagen zueinander in Beziehung zu setzen. Sie erkennen die Widersprüche und reflektieren ihre eigene Position.
- Das vorausschauende Denken (Kreativität und Innovation): Die Lernenden sind in der Lage, Zukunftsvisionen oder kreative Lösungen zu einer gegebenen Situation zu finden.
- Kommunikation und Teamarbeit (Partizipation): Die Lernenden sind in der Lage, die Perspektive anderer einzunehmen und Interessenskonflikte konstruktiv anzugehen. Sie können Entscheidungen mit Anderen fair aushandeln und gemeinsam umsetzen.
- Möglichkeiten erkennen, um aktiv zu werden (Handlungsspielräume): Die Lernenden sind in der Lage, an visionären Umsetzungsmöglichkeiten weiter zu denken und sowohl individuelle als auch kollektive Handlungsspielräume zu nutzen, um sie in konkrete Projekte und Vorhaben zugunsten einer nachhaltigen Entwicklung umzusetzen.

(SBE, 2009)

### 3. Didaktische Hinweise

Der analytisch-erkenntnisorientierte Lernansatz (AEL) geht von der konstruktivistischen Position aus, die den lernenden Menschen als zielgerichtet Handelnden auffasst, der aktiv nach Informationen sucht, diese mit seinem Vorwissen verknüpft und daraus neue Konzepte und Auffassungen über die Wirklichkeit ableitet (Hasselhorn M., Gold A., 2006).

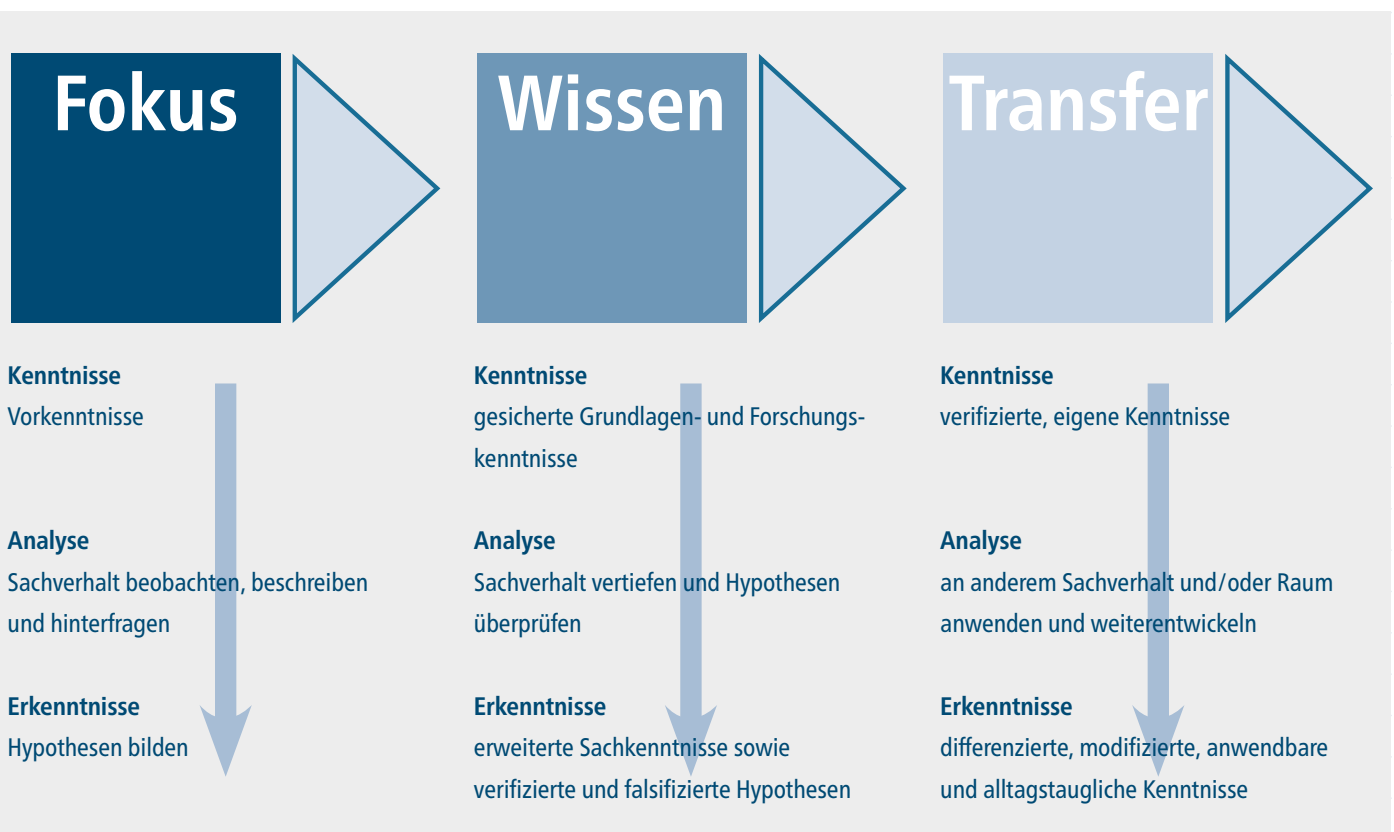


Abb. 1: Analytisch-erkenntnisorientierter Lernansatz (Probst, 2013)

Der AEL (Abb. 1) regt zu einem Unterrichtskonzept an, das in jeder Unterrichtsphase analytische Lernprozesse und das eigenständige Denken fördert. So werden ausgehend von Kenntnissen in jeder Lernphase durch analytische Denkprozesse eigene Erkenntnisse entwickelt. Unter einer Analyse (griechisch *analysis* = Auflösung, Zergliederung) wird eine systematische Untersuchung verstanden, bei der das Objekt in verschiedene Bestandteile zerlegt wird, welche untersucht, geordnet und zueinander in Bezug gebracht werden. Der AEL eignet sich explizit für hydrologische Fragestellungen mit ihren komplexen Sachverhalten, wo stets aus unterschiedlichen Perspektiven das dynamische Verhältnis von Umwelt und Mensch, Gesellschaft und Raum, Kultur und Natur erkannt und verstanden werden muss.

Entsprechend dem AEL gliedern sich die Themenblätter von «WASSERverstehen» in die drei Bereiche Fokus, Wissen und Transfer (Abb. 1).

Der **Fokus** (von lateinisch *focus* «Herd», «Feuerstelle») auf der ersten Seite von Themenblatt und E-Book will mit ausgewählten Medien die gesellschaftliche und fachliche Relevanz des Inhalts aufzeigen, Bezüge zur Lebenswelt und zum Vorwissen der Lernenden herstellen und zur leitenden Problemstellung hinführen. Es scheint sinnvoll zu sein, dass die Lehrperson von der Bedeutung des Themas zur Problemstellung auf dem Aufgabenblatt unterstützt mit den entsprechenden Medien hinführt. Dieses Vorgehen gewährleistet, dass die Lernenden von Beginn weg die Relevanz des Themas erkennen, realitätsnahe Anknüpfungspunkte zum Vorwissen und zu späteren Anwendungsbereichen entwickeln sowie eigenständig auf den Inhalt fokussiert zu denken beginnen. Der gezielte Einsatz von Medien kann in dieser Phase den notwendigen Realitäts-, Aktualitäts- und Raumbezug herstellen und eine aktive Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt unterstützen.

Die Lernenden sollen im Fokus zu eigenen Überlegungen und Hypothesenformulierungen unter Einbezug ihrer genauen Beobachtung des Sachverhalts und ihrer Vorkenntnisse von der Lehrperson angeleitet werden und dafür Wertschätzung erfahren. Die Überlegungen der Schülerinnen und Schüler dürfen in dieser Phase von der Lehrperson also nicht als falsch oder richtig beurteilt werden. Die Lehrperson muss aber dafür sorgen, dass die Erkenntnisse als Hypothesen für alle einsehbar festgehalten werden (z.B. Flipchart, Wandtafel). Der Lehrperson kommt in dieser Phase eine zentrale Rolle zu. Sie leitet das Unterrichtsgespräch, zeigt die Relevanz der Fragestellung auf, regt eine sachgerechte Diskussion zwischen Schülerinnen und Schülern an, integriert gezielt Fotos, Grafiken, Filme und andere Medien, gibt Zeit zum Überlegen, geht auf Anregungen und Ideen ein, fasst Gedankengänge zusammen, aktiviert und integriert gezielt Alltagswissen und Vorkenntnisse, zeigt andere Denkmuster auf und regt zu Perspektivenwechseln an. Dadurch löst die Lehrperson lernzielorientiert einen Denkprozess aus, der für das Verstehen der Thematik wichtig ist. Die Lehrperson soll hier nicht deskriptiv lehren, sondern den Lernprozess leiten, die Selbständigkeit nicht behindern, sondern fördern.

Entsprechend dem Vorgehen im Fokus sind die Aufgaben auf dem beigelegten Arbeitsblatt jeweils dreigeteilt in Lead (Relevanz), Fragestellung (Problemorientierung) und Auftrag (Vorgehen). Die Fragestellungen verlangen meistens das Vergleichen unterschiedlicher Situationen. Gemäss lernpsychologischen Studien wirkt sich das Vergleichen auf den Transfer des erworbenen Wissens (3. Phase) positiv aus, weil dabei wichtige Strukturen und Strategien aufgebaut werden.

Mit dem Szenario im Fokus ergibt sich die Möglichkeit, dass «neue» Ideen und Ansichten von den Jugendlichen geschaffen und im Unterricht einbezogen werden oder sie zumindest die Vorgehensweise, die zu «neuem» Wissen führen, erfahren und üben können. Insgesamt wird also eine wissenschaftliche Vorgehensweise angewendet und eingeübt, die als überfachliche Kompetenz zur Erlangung der Hochschulreife und Studierfähigkeit immer wieder gefordert wird (EDK, 1995; HSGYM, 2008).

Mit dem **Wissen** auf der zweiten und dritten Seite vergleichen die Lernenden ihre entwickelten Hypothesen mit gesichertem Grundlagen- und Forschungswissen. Die Lernenden werden damit in die Lage von Forschenden versetzt, die ihre Überlegungen überprüfen (verifizieren und falsifizieren). Die Vermittlung von Wissen wird dadurch zu einer zielorientierten Analyse bezüglich der Problemstellung, der eigenen Hypothesen und des eigenen Vorwissens. Damit unterscheidet sich die Vermittlungsform der Inhalte beim Lernansatz deutlich von Vorgehensweisen, die Wissen deskriptiv vermitteln. Mit dem Überprüfen ihrer vorunterrichtlichen Vorstellungen können die Lernenden ihre Kenntnisse modifizieren, bereichern und differenzieren (Kattmann, 2005).

Auch in dieser Phase können die gedruckten und elektronischen Materialien unterschiedlich eingesetzt werden. Es ist beispielweise möglich, zuerst mit dem gedruckten Themenblatt die Hypothesen zu überprüfen und anschliessend zu offenen Fragen eine zielorientierte Recherche mit Hilfe der Medien im E-Book vorzunehmen. Denkbar ist auch eine Vertiefung des erworbenen Wissens mit fragegeleiteten Analysen zu bestimmten Medien im E-Book. Es ist jedoch nicht vorgesehen, dass sämtliche Medien konsultiert werden. Insbesondere die Materialien zu den Icons «HADES» und «Dokumente» sind mehrheitlich weiterführend und eher fakultativ zu verstehen.

Wichtig ist, dass am Schluss der Phase «Wissen» die Hypothesen, resp. die Antworten auf die Fragestellung aus dem Fokus, gesichert werden. Zur Sicherung empfiehlt sich auch der Einbezug der Medien im E-Book, damit die Erkenntnisse einen starken Realitäts- und Raumbezug erhalten und in der nachfolgenden Phase «Transfer» besser verfügbar sind.

In der Phase **Transfer** (lat. *transfere* «hinübertragen») haben die Lernenden durch den vorangegangenen, erkenntnisorientierten und analytischen Lernprozess die Fähigkeit erworben, ihre gewonnenen Kenntnisse in anderen Situationen, Lebensräumen und an neuen Aufgaben anzuwenden und weiter zu entwickeln. Dadurch wird die Relevanz der Inhalte für die Lernenden von neuem offenkundig – ihre erworbenen Kenntnisse sind bei anderen Sachverhalten anwendbar und helfen ihnen beim Weltverstehen. Die Schülerinnen und Schüler gewinnen Selbstständigkeit im Umgang mit dem Gelernten und mit neuen herausfordernden Problemsituationen. Für den Geographieunterricht auf der Sekundarstufe II ergeben sich durch die vier Transferarten – räumlicher, inhaltlich-kognitiver, methodischer und aktionaler Transfer – interessante Herausforderungen zum Festigen der erworbenen Kenntnisse (Tab. 1). Sämtliche Transferaufgaben geben der Lehrkraft im Unterricht wichtige Rückmeldungen darüber, ob die Kenntnisse so vermittelt wurden, dass sie angewendet und weiterentwickelt werden und bei den Lernenden schliesslich zu Erkenntnissen führen. In der Phase des Transfers kann die Lehrperson je nach Schwierigkeitsgrad der gestellten Aufgaben die Schülerinnen und Schüler selbständig analysieren lassen oder eine ähnliche Rolle wie im Fokus einnehmen.

Falls sich die Transfer-Fragen auf dem Arbeitsblatt auf den Lebensraum der Lernenden bezieht, müsste die Lehrperson entsprechende Hilfsmittel (Medienberichte, Website, etc.) zur Region beziehen oder darauf hinweisen.

Art des Transfers	Ziel	Beispiel
räumlicher Transfer	von einem erlernten Sachverhalt in einem Raum, auf andere ähnliche Sachverhalte in anderen Räumen schliessen	in einem anderen Raumbeispiel erkennen, dass Hochwassergefahr besteht
inhaltlich-kognitiver Transfer	erworbene Kenntnisse auf andere Themenbereiche übertragen	mit Kenntnissen zu Ursachen von Hochwasser bestehende Massnahmen beurteilen (Wirkung, Grenzen)
methodischer Transfer	gewonnene instrumentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten in andere Situationen übertragen	eine Gefahrenkarte (Methode, Instrument) zu einer anderen Naturgefahr (z.B. Rutschung) erstellen
aktionaler Transfer	Übertragung von Einstellungen und Haltungen auf andere Situationen und die eigene Situation bis hin zu veränderten Verhaltensweisen und Handlungen	Kenntnisse zum Umgang mit Hochwassergefahr und -risiko führt zu Verhaltensänderungen an und in Gewässern

Tab. 1: Vier Transferarten der Geographiedidaktik (nach: Rinschede, 2007)

# Teil II

## Module – leitende Lernziele und Lösungsvorschläge

### Modul 1 Hydrologische Extremereignisse

#### Starkniederschlag

##### Leitendes Lernziel

Die Lernenden verstehen die Entstehung von Starkniederschlägen in der Schweiz und setzen diese Kenntnisse mit typischen Wetterlagen in Mitteleuropa in Verbindung, um Anzeichen für mögliche Starkniederschläge in den Wetterprognosen selber zu erkennen.

##### Fokus

Filme und Fotos veranschaulichen die Relevanz von Starkniederschlägen, dienen der Beobachtung von Starkniederschlagssituationen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen zum Arbeitsauftrag.

##### Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

- Die Topografie mit verschiedenen Hangneigungen und Expositionen begünstigt die lokale Erwärmung durch die Sonne und damit die Bildung von Wärmegewittern.
- Die mittlere Breitenlage der Schweiz ermöglicht im Sommer eine intensive Sonneneinstrahlung, welche Wärmegewitter verursacht.
- Die ganzjährig häufige Westwindlage bringt vom Atlantik her feuchte Luftmassen sowie Tiefdruckwirbel in die Schweiz, welche von heftigen Schauern und schwachem Landregen begleitet sein können.
- Der orographische Einfluss verstärkt entscheidend Wärmegewitter, Schauer und Landregen; feuchte Luftmassen werden am Gebirge zum Aufsteigen gezwungen, was zusätzlichen Stauniederschlag bewirkt.
- Ein Tiefdruckgebiet über dem Golf von Genua kann auf der Alpensüdseite – bei einer entsprechenden Zugbahn um die Alpenostseite herum (5b-Wetterlage) auch im gesamten östlichen Alpenraum – viel Feuchtigkeit vom Mittelmeer an den Alpenrand heran führen und mit dem orographischen Einfluss zu intensivem und langandauerndem Starkregen führen.

##### Transfer

Individuelle Lösungen, welche die Analyse der Karte zur Hagelgefahr in der Schweiz sowie die Beurteilung der Einflüsse auf die Bildung von Wärmegewitter und Schauer (vgl. Lösung zu «Wissen») in der eigenen Wohnregion berücksichtigen.

Ganz allgemein ist in der Schweiz die Hagelgefahr hoch, weil

- die häufig vorherrschenden Westwinde feuchte Luftmassen heranzuführen,
- in den mittleren Breiten ganz allgemein polare Kaltluftmassen und subtropische Warmluftmassen aufeinandertreffen und sich bei diesen Temperaturgegensätzen Kalt- und Warmfronten bilden,
- die Kaltfronten mit Advektion und Konvektion heftige Schauer mit starken Auf- und Abwinden (Hagelbildung) verursachen,
- die Topographie in der Schweiz die Bildung von Wärmegewittern begünstigt,
- der orographische Einfluss am Alpenvorland die Hebung von feuchten Luftmassen verstärkt.

# Hochwasser

## Leitendes Lernziel

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Hochwassergefahr einer Region begründet beurteilen können, indem sie die vorhandenen Grunddispositionen, die möglichen variablen Dispositionen sowie mögliche auslösende Ereignisse in ihre Untersuchung einbeziehen.

Mit den verschiedenen anthropogenen Einflussnahmen auf die Hochwasserentstehung sollen die Schülerinnen und Schüler die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt erkennen und in ihre Überlegungen einbeziehen. Mit dem Transfer zu den Folgen auf Siedlungen, Wirtschaft und Infrastruktur bietet sich zudem eine Überleitung zum äusserst wichtigen Aspekt des Umgangs mit Hochwasser im folgenden Themengebiet an.

## Fokus

Filme und Fotos veranschaulichen die Relevanz von Hochwasser, dienen der Beobachtung von Hochwasser-Situationen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen zum Arbeitsauftrag. Insbesondere das Foto von Sedrun ist für die Analyse und die Entwicklung von Hypothesen sehr geeignet, da sich die Einzugsgebiete der drei Wildbäche bezüglich Gefälle, Vegetation, Böden, Felsflächen und Höhenlage unterscheiden und daher zu einer vertieften Auseinandersetzung anregen. Vergleiche fördern ganz allgemein das induktive Denken und führen zur Entdeckung von Regelmäßigkeiten (Klauer, 2011).

## Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

	Wissenschaftliche Kenntnisse
Anzeichen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intensiver Niederschlag im Einzugsgebiet</li> <li>• Wasser verfärbt sich braun</li> <li>• Wasserstand steigend und Geschiebeanteil zunehmend</li> </ul>
Grunddisposition	<p>Topografie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• steiles und enges Bach- und Flussgerinne</li> <li>• Fliessgewässer ohne wasserspeichernde Seen, Überflutungsflächen oder Auen</li> <li>• Form des Einzugsgebiet: raschere Konzentration des abfliessenden Wassers in rundem als in länglichem Einzugsgebiet</li> </ul> <p>Geologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Untergrund: Gesteinsart und dessen Verwitterungsgrad (fester Fels, Klüfte und Lockermaterial beeinflussen die Tiefensickerung des Wassers)</li> <li>• Oberfläche: fester Fels oder Lockermaterial</li> </ul> <p>Boden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenart: lehmige oder felsige Böden nehmen kaum oder kein Niederschlagswasser auf, in lockeren Waldböden versickert es langsam</li> <li>• Tiefgründigkeit des Bodens: flachgründige Böden haben ein geringeres Speichervermögen als tiefgründige Böden</li> </ul> <p>Vegetation:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tiefgründige Durchwurzelung: Porenraum, Versickerung von Regenwasser</li> <li>• Interzeption und Transpiration</li> <li>• Durchwurzelung von Boden und Lockermaterial: vermindert Rutschung in Gerinne und Geschiebeanteil im Bach</li> </ul>



	Wissenschaftliche Kenntnisse
Grunddisposition	<p>Mensch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bach- und Flussverbauungen</li> <li>• Bodenversiegelung durch Siedlungs- und Verkehrsflächen, verminderte Versickerung sowie erhöhter Oberflächenabfluss</li> </ul>
Variable Disposition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lange Niederschlagsperiode</li> <li>• Wassersättigung der Böden</li> <li>• gefrorene oder sehr trockene Böden</li> <li>• hohe Nullgradgrenze führt zu Niederschlägen über grossem Gebiet in Form von Regen anstatt Schnee</li> <li>• angehäuften Schneemengen</li> <li>• Schneeschmelze</li> </ul>
Auslösendes Ereignis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intensive und langanhaltende Niederschlagsereignisse</li> <li>• starke Schneeschmelze</li> <li>• Verklausung des Bach- oder Flusslaufes durch mitgerissenes Holz und Geröll an Verengungen oder Brücken</li> <li>• Stauung des Bach- oder Flusslaufes durch Erdbeben oder Steinschlag von seitlichen Hängen</li> </ul>

### Transfer

Individuelle Lösungen zu den Ursachen (Grunddisposition, variable Disposition und auslösendes Ereignis) und den Folgen des Hochwassers 2005 in der eigenen Region. Unterlagen für die Recherche bieten die Medien der elektronischen Version an.

Mit der Thematisierung der Folgen des Hochwassers 2005 bietet sich eine Überleitung zum Umgang mit Hochwasser in der eigenen Region und damit auch zum Themenblatt «Umgang mit Hochwasser» an.

## Umgang mit Hochwasser

### Leitendes Lernziel

Die Schülerinnen und Schüler lernen die Risiken aus Naturgefahren in Landschaften «lesen», und dabei die Wechselwirkungen zwischen Naturraum, Gesellschaft und Wirtschaft im Raum erkennen. Die differenzierte Auseinandersetzung mit den Begriffen «Gefahr» und «Risiko» ermöglicht es, die Kenntnisse zum Umgang mit Naturgefahren im eigenen Lebensraum oder in anderen Räumen anzuwenden und weiterzuentwickeln.

### Fokus

Das Beispiel Klosters veranschaulicht die Bedeutung der Begriffe «Gefahr» und «Risiko» sowie deren Veränderung in den letzten rund 100 Jahren. Mit der Analyse soll unter Einbezug des Vorwissens die Situation in Klosters begründet beurteilt werden.

### Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Beurteilung der Hochwassergefahr in Klosters:

- Hochwasser- und Murganggefahr: Der Talbach weist ein grosses trichterförmiges Einzugsgebiet auf mit starker Hangneigung (35–39°); es ist Lockermaterial vorhanden und die Flächen sind weitgehend vegetationslos.
- Die Gefahrendisposition für Hochwasser und Murgänge im Einzugsgebiet des Talbachs hat sich in den letzten rund 100 Jahren wenig verändert. Das Gefahrenpotential hat sich kaum verändert: nur geringe Waldzunahme; kein Permafrost an den südexponierten Hängen im «Tal». Die Klimaerwärmung erhöht grundsätzlich die Gefahr von Murgängen im Alpenraum, weil der Permafrost auftaut, der in Gebieten oberhalb der Waldgrenze (1800–2300 m ü.M.) vorkommen kann.

Beurteilung der Hochwasserrisiken in Klosters:

- Die Siedlung Klosters Platz steht auf dem Schwemmfächer des Talbachs.
- Der Bild- und Kartenvergleich von Klosters zeigt eindrücklich das wachsende Siedlungsgebiet im Zeitraum von 1900 bis 2013. Die zunehmende Siedlungsfläche ist einerseits auf die Verdoppelung der Einwohnerzahl von 1955 im Jahr 1900 auf 3887 im Jahr 2011 zurückzuführen. Andererseits ist der Wohnraumbedarf pro Person gestiegen.
- Zudem lässt sich mit dem Kartenvergleich der Ausbau der touristischen Infrastruktur in den letzten rund 100 Jahren feststellen.
- Durch das wachsende Siedlungsgebiet, den Ausbau der touristischen Infrastruktur und der Verkehrswege sowie den hohen Bau- und Erschliessungsstandard (unterirdische Zu- und Ableitungen von Wasser, elektrische Leitungen usw.) hat sich das Hochwasserrisiko in Klosters in den letzten rund 100 Jahren stark erhöht.

### Transfer

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Die Gemeinde Sachseln setzte folgende Massnahmen um:

- Als raumplanerische Grundlage wurde eine Gefahrenkarte erstellt, um die zukünftige Raumnutzung den bestehenden Gefahren anpassen und bestehende Risiken effektiv vermindern zu können (vgl. Abb. 11 und 12).
- Im Oberlauf des Dorfbaches wurde ein Geschiebesammler mit Grobrechen errichtet, um Geröll und Schwemmholz zurückzuhalten (Abb. 9, Mitte)
- Die Fliessgewässer Dorf-, Edisrieder- und Totenbuelbach wurden durch weitgehend unverbautes Gebiet umgeleitet (vgl. Abb. 11 und 12).
- Die Fliessgewässer Edisrieder- und Totenbuelbach wurden so erweitert, dass sie ein Jahrhunderthochwasser zu fassen vermögen.
- Im Edisrieder- und Totenbuelbach wurde ein Raubbett errichtet, um die Fliessgeschwindigkeit des Wassers zu mindern und die Erosion herabzusetzen (vgl. Abb. 9, oberes Foto)
- Die Brücke wurde mit einem gerundeten Stauschild mit glatter Oberfläche versehen (Brückenverschalung), um die Gefahr einer Verklauung zu vermindern (vgl. Abb. 9 unteres Foto).

# Niedrigwasser

## Leitendes Lernziel

Die Schülerinnen und Schüler können die Gefahr von Niedrigwasser eines Gewässers beurteilen, indem sie die Eigenschaften des Einzugsgebietes sowie die anthropogene Einflussnahme auf den Abfluss beurteilen und mögliche saisonale Witterungsverhältnisse einbeziehen.

Mit den verschiedenen Auswirkungen von Niedrigwasser und dem möglichen Einfluss des Klimawandels sollen die Lernenden die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt erkennen und mögliche Szenarien für die Zukunft entwickeln.

## Fokus

Filme und Fotos veranschaulichen die Relevanz von Niedrigwasser, dienen der Beobachtung von Niedrigwasser-Situationen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen zum Arbeitsauftrag. Insbesondere der Vergleich der unterschiedlichen Einzugsgebiete der Matternvispa, Muota und Wigger ist für die Analyse und Entwicklung von Hypothesen geeignet.

## Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

### 1. Matternvispa bei Zermatt: glaziales Abflussregime

- Niedrigwasser tritt vorwiegend in den kälteren Monaten von Oktober bis März auf.
- Grund: In dieser Jahreszeit wird der Niederschlag vorwiegend in Form von Schnee oder Eis an der Oberfläche gespeichert, wodurch auch die Grundwasserspeicher nicht aufgefüllt werden.

### 2. Muota bei Muotathal: nivales Abflussregime

- Niedrigwasser tritt vorwiegend in den kälteren Monaten von Oktober bis März auf.
  - Grund: In dieser Jahreszeit wird der Niederschlag vorwiegend in Form von Schnee oder Eis an der Oberfläche gespeichert, wodurch auch die Grundwasserspeicher nicht aufgefüllt werden.
- Achtung: Der Abfluss der Muota ist auch von Karstphänomenen beeinflusst.

### 3. Wigger bei Zofingen: pluviales Abflussregime

- Niedrigwasser tritt vorwiegend im Sommer und im Herbst auf.
- Grund: In dieser Jahreszeit sind der Wasserbedarf der Vegetation und die Verdunstung der Pflanzen erhöht sowie der Wasserspeicher im Boden und der Grundwasserspeicher beschränkt.
- Kombiniert mit ausbleibendem Niederschlag und Hitzewellen können in diesen Gewässern in Sommer und Herbst extreme Niedrigwassersituationen auftreten.

## Transfer

Individuelle Lösungen, welche die Analyse des Einzugsgebietes, der menschlichen Nutzung des Gewässers sowie die zu erwartenden Veränderungen durch den Klimawandel einbeziehen.

## Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel

### Leitendes Lernziel

In diesem Modul lassen sich die drei ersten Themenblätter nach der Methode von Expertenpuzzles bearbeiten oder in der angegebenen Reihenfolge mit der gesamten Klasse diskutieren und vertiefen.

Das letzte Themenblatt «Wasserbewirtschaftung bis 2100» setzt die Kenntnisse der anderen Themenblätter voraus und ist daher für den Schluss des Moduls vorgesehen. Dieses letzte Themenblatt bietet die Möglichkeit einer zukunftsorientierten Synthese zur Wassernutzung unter Einbezug sämtlicher Erkenntnisse aus dem Modul.

### Wasserdargebot

#### Leitendes Lernziel

Die Lernenden sollen in einer Region die saisonale Wasserverfügbarkeit für heute und für die Zukunft begründet abschätzen, anhand von Überlegungen bezüglich Wasserspeicher (Gletscher, Schnee, Höhenlage), Lage und Relief (Niederschlag) sowie Geologie (Grundwasser).

Im Transfer beurteilen die Lernenden das Wasserdargebot aus einer anderen Perspektive, aus jener der ökologischen Verantwortung. Dabei lernen sie Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser kennen.

Das Schnittmengenmodell zum nachhaltigen Umgang mit Wasser bietet zudem eine ideale Überleitung (und einen Ausblick) zu den anderen Themenblättern Wassernutzung (Wirtschaft), Wasserverteilung (Gesellschaft) und zur Entwicklung einer zukunftsorientierten Wasserbewirtschaftung.

#### Fokus

Mit den Filmen und Fotos können der Raum und das Wasserdargebot beobachtet und beschrieben werden. Der Einbezug des Vorwissens ermöglicht es, Hypothesen zur saisonalen Verfügbarkeit der verschiedenen Wasserressourcen für heute und für die Zukunft begründet zu formulieren.

#### Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

#### Natürliches Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre

Wasserressource	saisonale Wasserverfügbarkeit heute (inkl. Begründung)	Veränderung der saisonalen Wasserverfügbarkeit durch Klimawandel (inkl. Begründung)
Gletscher	Gletscherschmelze Mai – Oktober (v.a. Juli / August)	bis 2060 Gletscherschmelze erhöht, anschliessend stark abnehmend, ab 2085 ist Gletscher abgeschmolzen
Schnee	Schneesmelze April bis September (v.a. Juni)	geringere Schneemenge (weniger Schneefall und höhere Schneefallgrenze) Schneesmelze März – September (v.a. Mai)
Niederschlag	stark von Höhenlage und Topografie abhängiger Niederschlag: im Gebirge (rund 3000 m ü.M.) 2500 mm, im Rhonetal (520 m ü.M.) weniger als 600 mm	weniger Niederschlag im Sommer, mehr in den anderen Jahreszeiten (v.a. im Winter)
Grundwasser	saisonal unterschiedliche Abflusswege vom Plaine-Morte-Gletscher im Karst: im Frühling / Herbst v.a. nach Süden, im Sommer v.a. nach Norden und im Winter wenig Grundwasser	nach 2085 überwiegend unterirdischer Abfluss ins südlich gelegene Wallis, im Spätsommer stark abnehmend

### Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit heute:

- im kalten Winterhalbjahr (Oktober bis März) nur wenig Wasser in Quellen und Bächen
- hoher Jahresniederschlag
- Schneefall über das ganze Jahr im Gebirge
- relativ tiefe Verdunstungsrate
- hoher Abfluss im Sommer durch Schnee- und Gletscherschmelze

Begründung: hochalpines Einzugsgebiet

### Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit in Zukunft:

- Jahresabfluss nimmt bis 2060 durch Gletscherschmelze zu, anschliessend nimmt er ab
- ab 2085 ein nivales Abflussregime, weil die saisonale Schneeschmelze früher stattfindet und der Plaine-Morte-Gletscher vollständig abschmilzt
- ab 2085 Jahresabfluss um 9 % reduziert und stärker schwankend aufgrund fehlender Gletscherschmelze
- ab 2085 v.a. im Spätsommer kleinere Abflüsse und häufigere Trockenperioden wegen fehlender Gletscherschmelze, jahreszeitlich früherer Schneeschmelze, erhöhter Verdunstung, gesteigertem Wasserbedarf der Vegetation und abnehmendem Niederschlag
- insgesamt auch in Zukunft relativ hohes jährliches Wasserdargebot, wegen hohem Jahresniederschlag von rund 2200 mm im Einzugsgebiet der Plaine-Morte

### Wissenslücken:

- Menge und Richtung des unterirdischen Abflusses nach 2060, d.h. nach starkem Gletscherrückgang
- Veränderungen in Zukunft nur als Tendenzen und Mittelwert bekannt; Einzeljahre können (wie bisher) stark abweichen

## Transfer

Der folgende Lösungsvorschlag zum Auftrag basiert auf den Forschungsergebnissen des Projekts MontanAqua, welches als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» in der Region Crans-Montana-Sierre durchgeführt wurde.

Der ökologische Zustand von Wasser und Gewässern in der Region Crans-Montana-Sierre wird von Expertinnen und Experten nach den Umweltkriterien (ökologische Verantwortung) allgemein als mittelmässig beurteilt. Die Beurteilung der einzelnen Kriterien fällt jedoch sehr unterschiedlich aus. Während die Grundwassermenge als sehr gut und die Wasser- und Gewässerqualität als gut bewertet sind, wird die Wassermenge in den Oberflächengewässern als sehr schlecht beurteilt. Das Kriterium «Ökosysteme und Artenvielfalt» wurde im NFP 61 aufgrund unzureichender Kenntnisse nicht bewertet.

### Grundwassermenge: «sehr gut»

Die Karstquellen in der Region sind nicht übernutzt, insbesondere weil ihnen in der Schmelzsaison (Frühling und Frühsommer) und nach Niederschlagsperioden immer wieder Wasser zufließt. Das Gleiche gilt für die grossen Grundwasserleiter in der Talsohle, die von der Rhone während der saisonalen Hochwasser von März bis September durch Infiltration immer wieder Wasser erhalten.

### Mindestmenge in Oberflächengewässern: «sehr schlecht»

Obschon die Region Crans-Montana-Sierre über reichliche Wasservorkommen verfügt, sind in vielen kleineren Fließgewässern tiefe Wasserstände zu beobachten. Grund ist die Wasserentnahme für Wasserkraft und Landwirtschaft und die Tatsache, dass mit den bestehenden Konzessionen zur Wasserentnahme vorläufig keine Restwasserbestimmungen auferlegt werden. Das Schweizer Gewässerschutzgesetz schreibt seit 1991 Restwassermengen vor, jedoch müssen die Restwasserstrecken nur dann saniert werden, wenn es wirtschaftlich verkraftbar ist. Im Einzugsgebiet der Liène wird die Restwassermenge mit der Erneuerung der Wasserkraftkonzession im Jahr 2037 ultimativ umgesetzt.

#### Wasser- und Gewässerqualität: «gut»

Die meisten Häuser in der Region sind ans Kanalisationsnetz angeschlossen, welche sämtliche Abwässer aus der Untersuchungsregion in die zentrale Abwasseranlage in Sierre leitet. Der Anteil der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ist klein, daher sind auch Wasserverunreinigungen mit Dünger oder Pestiziden im Allgemeinen gering. So stellt die Wasserqualität kein signifikantes Problem in der Region dar. Gelegentlich können jedoch Probleme aufgrund der Viehhaltung auftreten. Zu beachten ist, dass Gewässer in Karstregionen allgemein sehr anfällig für Verschmutzung sind. So ist eine Eutrophierung in einigen Teichen trotz insgesamt guter Wasserqualität zu beobachten. Bei den Rebbergen ist mit Schwefeleintrag zu rechnen, Messungen liegen in der Region jedoch keine vor.

## Nutzung des Wassers

### Leitendes Lernziel

Die Lernenden erkennen verschiedene Ansprüche an die Wassernutzung in einer Region und erfassen den Einfluss von klimatischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen auf diese Ansprüche. Die daraus abgeleiteten Wasserkonflikte und Synergien sind Grundlage für die Diskussion einer nachhaltigen Wassernutzung.

### Fokus

Filme und Fotos dienen der Beobachtung des Raumes und der verschiedenen vorkommenden Wassernutzungen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen.

### Wissen

Lösungsvorschlag Nutzung des Wasser in Crans-Montana-Sierre heute und morgen:

Ansprüche an Wasser und Gewässer	Veränderungen	Konflikte	Synergien	Massnahmen
Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimawandel: der erhöhte Gletscherabfluss bis 2050 ermöglicht eine Steigerung der Wasserkraftproduktion, anschliessend gewährleistet die im Gebirge hoch bleibende Niederschlagsmenge die Wasserkraftproduktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restwassermengen nicht berücksichtigt mit Auswirkungen auf das Ökosystem und nachfolgende Wassernutzung</li> <li>• Abflussveränderungen durch Abschmelzen des Gletschers und damit Konflikte bei Wasserknappheit im Sommer, z.B. zwischen Landwirtschaft und Tourismus (Bewässerung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multifunktionale Nutzung des Stausees</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multifunktionale Nutzung des Stausees</li> <li>• Restwassermengen berücksichtigen</li> </ul>
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimawandel: veränderter Abfluss durch Abschmelzen des Gletschers, häufigere Trockenphasen v.a. in Sommer und Herbst</li> <li>• Bewässerung mit Wasser von Sonnen reicht in extremen Trockenphasen (z.B. Dürrejahr 2003) nicht mehr aus</li> <li>• Viehwirtschaft (Weide) und Weinbau werden von Bewässerungswasser abhängiger, aufgrund häufigeren Trockenphasen</li> <li>• touristische attraktive Kulturlandschaften erhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewässerungsbedarf (Landwirtschaft und Tourismus), insbesondere im Spätsommer bei hoher Verdunstung und geringem Niederschlag sowie Abfluss</li> <li>• Klimawandel: Trockenheit zunehmend, Bewässerung existenziell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multifunktionale Nutzung des Stausees</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verbesserte Bewässerungstechniken</li> <li>• wassersparende Anbaumethoden (z.B. Bodenbearbeitung, Fruchtfolge)</li> <li>• ökonomische Anreize</li> <li>• Preis für Wasser</li> <li>• Vereinbarungen, Vorschriften, Auflagen, Regeln</li> <li>• Direktzahlungen für Unterhalt der Kulturlandschaft nach Vorgaben</li> </ul>
Bevölkerung (Trinkwasserversorgung und Erholungsräume)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevölkerungszunahme seit 1900</li> <li>• Hochsaison Tourismus: plus 35 000 Personen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• saisonale und tägliche Schwankungen wegen Tourismus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multifunktionale Nutzung des Stausees</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewässerung von Gärten und Rasen nicht mit Trinkwasser</li> </ul>

Ansprüche an Wasser und Gewässer	Veränderungen	Konflikte	Synergien	Massnahmen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimawandel: veränderter Abfluss</li> <li>• Verbauung und Trockenlegung von Ökosystemen im und am Gewässer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raumplanung: Raumnutzungskonflikte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochwasserschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grünanlagen wassersparender gestalten</li> <li>• Preis für Wasser</li> <li>• Renaturierung, Schutzgebiete</li> </ul>
Tourismus (Bewässerung von Golfplatz und Gärten, Beschneigung und Erholungsräume, vgl. oben)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wachstum ab 1900, mit Bauboom ab 1960</li> <li>• Hochsaison: plus 35 000 Personen (Trinkwasser, Rasen, Gärten, Golf, Beschneigung)</li> <li>• Klimawandel (vgl. Spalte rechts)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewässerungsbedarf von Golffrasen und Gärten (vgl. Landwirtschaft)</li> <li>• Wasserkraft: Niedrigwasser vermindert die Attraktivität der Landschaft</li> <li>• Klimawandel: Ansteigen der Schneefallgrenze, Attraktivität der Landschaft (Trockenphasen und Abschmelzen der Gletscher), neue Gefahrenpotentiale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multifunktionale Nutzung des Stausees</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dito Bevölkerung</li> <li>• touristische Angebote den klimabedingten Veränderungen anpassen</li> </ul>
Fazit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungen in der Region Crans-Montana-Sierre zeigen, dass bis 2050 genügend Wasser zur Verfügung steht. Es kann jedoch zu saisonaler und örtlicher Wasserknappheit kommen, was vor allem durch die sozioökonomische Entwicklung (Intensität der Landnutzung, Siedlungs- und Wirtschaftswachstum) beeinflusst wird und weniger durch den Klimawandel.</li> <li>• Nach 2050 wird die Wasserverfügbarkeit immer stärker durch den Klimawandel beeinflusst. Wasserknappheit dürfte dann in zwei Perioden regelmässiger auftreten. einerseits im Spätsommer, wegen der jahreszeitlich früheren Schneeschmelze, dem geringeren Niederschlag, dem gesteigerten Wasserbedarf der Vegetation und der zunehmenden Bewässerung von landwirt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viele verschiedene Wassernutzungen verteilt über 11 Gemeinden</li> <li>• jährliches Wasserdargebot ist grösser als Wasserverbrauch und -nutzung, trotzdem tritt saisonale Wasserknappheit auf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multifunktionale Nutzung des Stausees (Wasserkraft, Hochwasserschutz, Trinkwasser, Bewässerung und Beschneigung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multifunktionale Nutzung des Stausees kombiniert mit wassersparenden Massnahmen</li> <li>• Preismodelle für Wasser</li> <li>• von der aktuell dominierenden Angebotssteuerung (Wasserverfügbarkeit verbessern) hin zur Nachfragesteuerung, (Wasserbedarf reduzieren, verschiedene Nutzungen besser koordinieren)</li> </ul>



Ansprüche an Wasser und Gewässer	Veränderungen	Konflikte	Synergien	Massnahmen
	menden Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen und Gärten, andererseits im Winter mit dem erhöhten Trinkwasserverbrauch durch den Tourismus.			

### Kommentar

Forscherinnen und Forscher starteten mit der Hypothese, dass die Pistenbeschneigung im Winter und die Bewässerung der Golfanlagen im Sommer sehr viel Wasser verbrauchen. Das Projekt zeigte aber, dass dieser Wasserverbrauch vernachlässigbar ist (Abb. 4). Im Winter leben viermal mehr Leute in Montana als im Sommer. Das meiste Wasser wird aber nicht im Winter, sondern im Sommer verbraucht, insbesondere für die Bewässerung der Gärten und in der Landwirtschaft.

Wassernutzungen in Crans-Montana-Sierre:

- Rund 88 Prozent der gesamten genutzten Menge dient der Elektrizitätsgewinnung (60–80 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr).
- Bewässerung, Trinkwasser, Beschneigung machen ca. 12 Prozent der genutzten Menge aus (10.5–13.5 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr).
- Innerhalb dieser 12 Prozent stellt die Trinkwasserversorgung den grössten Nutzer dar (4.65 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr), wobei ein grosser Teil des Trinkwassers ebenfalls der Bewässerung dient.
- Der maximale Wasserverbrauch (zum grossen Teil für die Bewässerung) steigt während trockener Jahre stark, die Bewässerungsmengen waren im Trockenjahr 2011 doppelt so hoch wie 2010. Der Druck auf die Wasserressourcen wird im Winter (Touristensaison) und in der zweiten Sommerhälfte (Bewässerung) generell steigen.

(aus: NFP 61 Thematische Synthese 2: Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck)

Im Einzugsgebiet des Tseuzier-Stausees besteht ein grosses Wasserpotential. Hier liegt der Schlüssel zur sicheren Wasserversorgung der Region Montana, auch nach 2050. Mit dem Auslaufen der aktuellen Konzession (2037) bieten sich hier interessante Möglichkeiten, den Stausee als Mehrzweckspeicher für Wasserkraft, Hochwasserschutz, Trinkwasser, Bewässerung und Beschneigung zu verwenden.

### Transfer

Der folgende Lösungsvorschlag zum Auftrag basiert auf den Forschungsergebnissen des Projekts MontanAqua, welches als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» in der Region Crans-Montana-Sierre durchgeführt wurde.

Bedürfnisse Tourismus und Wasserkraft: «gut»

Die Entwicklung von hervorragenden Angeboten für Freizeit und Erholung (Tourismus) wurde ermöglicht und die Wasserkraftnutzung spielt eine bedeutende Rolle für die Ökonomie der Region. Stromerzeugung aus Wasserkraft hängt von Niederschlag und von Gletscher- und Schneeschmelze ab. Während die Schneeschmelze von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich ausfällt, liefert die Gletscherschmelze in den letzten Jahren regelmässige Jahresabflussmengen.

Bedürfnisse der Landwirtschaft: «mittelmässig»

Bewässerung ist eine entscheidende Voraussetzung für die Landwirtschaft auf den trockenen Hängen in der Region Crans-Montana-Sierre. Verfügbarkeit von Wasser ermöglicht es Bauern Vieh zu halten und lokale Produkte wie Käse und Wein zu erzeugen. Obschon die bestehenden Wasserrechte die Landwirtschaft stark begünstigen (historische Wasserrechte für die Bewässerung), ist sie bei Wasserknappheit unter allen Wassernutzern am stärksten betroffen. In Trockenzeiten erhalten andere Wassernutzungen höhere Priorität, z.B. die Trinkwasserversor-

gung für Einheimische und Gäste. Wiesen sind die von Wasserknappheit am stärksten betroffene landwirtschaftliche Kultur, weil nicht alle Wiesen bewässert werden können (z.B. Wiesen in höheren Lagen als die Wasserkanäle), bei Niedrigwasser (z.B. 2003) die Bewässerung von Wiesen nicht erlaubt ist und fehlende Bewässerung insbesondere im Spätsommer entsprechende Folgen auf den zweiten Grasschnitt hat. Demgegenüber ist der Weinbau weniger von Wasserknappheit betroffen, weil Reben einer mässigen Trockenheit widerstehen.

#### Wassernutzungen: «mittelmässig»

Die Wassernutzungen wurden nur als mittelmässig beurteilt, weil in der Landwirtschaft ein nicht vernachlässigbarer Teil der Bewässerung mit Trinkwasser erfolgt. Die Gewässerbewirtschaftung erhielt bezüglich des quantitativen Gewässerschutzes sogar die Beurteilung «sehr schlecht», weil die minimalen Restwassermengen nicht im Sinne des eidgenössischen Gesetzes über den Gewässerschutz berücksichtigt werden.

Bemühungen die Wasserknappheitsprobleme zu mildern (Ressourceneffizienz), sind selten, z.B. die Verwaltung von Wasserbedarf durch die Trennung der Trink- und Bewässerungswasser-Infrastruktur, Förderung einer effizienteren Bewässerung (Tröpfchenbewässerung) oder die Beseitigung der Wasserverluste durch Reparatur von Leckagen. Nur in Zeiten der akuten Wasserkrise werden die Menschen aufgefordert, vorübergehend Wasser zu sparen, beispielsweise durch ein Verbot der Land- und Gartenbewässerung oder der Autoreinigung. Ausserdem berücksichtigt die Regionalplanung (z.B. für den Bau von Infrastruktur für den Tourismus) bei Projekten häufig die damit verbundene Zunahme des regionalen Wasserbedarfs nicht. Diese Entwicklungen schaffen jedoch Wassernutzungsstrukturen und Wasserbedürfnisse, die möglicherweise in der Zukunft den Handlungsspielraum begrenzen.

#### Schäden durch Hochwasser:

Keine Bewertung, da dieses Kriterium nicht explizit untersucht wurde.

# Wasserverteilung

## Leitendes Lernziel

Die Lernenden erkennen ausgehend von der aktuellen Wasserverteilung in der Region Crans-Montana-Sierre exemplarisch die Herausforderungen der Wasserverteilung und sicheren Wasserversorgung für die Zukunft.

Die Lernenden beurteilen die gesellschaftliche Nachhaltigkeit beim Umgang mit Wasser in der Region. Dabei wenden sie die erworbenen Kenntnisse zur Wasserverteilung an und lernen die Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser kennen.

## Fokus

Mit der komplexen Aufgabenteilung und den verschiedenen Wassernutzern sind immer wieder Aushandlungsprozesse zwischen den Beteiligten nötig.

## Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Die historisch entstandene Wasserverteilung muss aus verschiedenen Gründen angepasst und übersichtlicher werden:

- Dies würde auch die Anpassung der historischen Wasserrechte ermöglichen.
- Damit könnte auch der aktuelle und zukünftige Bedarf im Tourismus und in der Wasserkraftproduktion langfristig geplant werden.
- Dadurch könnten auch bei gemeindeübergreifenden Projekten (z.B. Tourismus) die Auswirkungen auf den regionalen Wasserbedarf berücksichtigt werden.
- Dies würde eine regionale Institution für die Wasserbewirtschaftung schaffen, welche die Wassernutzungen der Gemeinden vereint, besser vernetzt, zwischen den vielfältigen Interessen solidarisch vermittelt und so transparente Entscheidungsprozesse ermöglicht.
- Zwischen den Gemeinden könnten der ungleiche Zugang zu Wasser, die Vernetzung der Trinkwasserversorgung besser hergestellt sowie die sehr ungleichen Wasserpreise angepasst werden, damit die Wasserversorgung für alle Gemeinden auch in Zukunft während den häufiger und stärker auftretenden Trockenzeiten gesichert ist.

Zudem können Stauseen in Zukunft fehlende Gletscher und abnehmende Schneemengen (Wasserspeicher) kompensieren und als Mehrzweckspeicher für Hochwasserschutz, Trinkwasser, Bewässerung und Beschneigung einen wichtigen Beitrag zur Wasserversorgung und -verteilung in allen Jahreszeiten leisten. In der Region Crans-Montana-Sierre besteht spätestens bei der Erneuerung der Konzessionen im Jahr 2037 die Möglichkeit, den Stausee Lac de Tseuzier auch als solchen Mehrzweckspeicher zu nutzen. Diese Möglichkeit wird zunehmend bedeutsamer, weil es mit den klimatischen und sozioökonomischen Veränderungen für einige Gemeinden in der Region zunehmend schwieriger wird, ihren eigenen Wasserbedarf abzudecken.

## Transfer

Der folgende Lösungsvorschlag zum Auftrag basiert auf den Forschungsergebnissen des Projekts MontanAqua, welches als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» in der Region Crans-Montana-Sierre durchgeführt wurde.

Die Beurteilung der gesellschaftlichen Nachhaltigkeit fällt insgesamt als «schlecht» aus, hauptsächlich weil nicht alle Einwohnerinnen und Einwohner einen gleichwertigen Zugang zum Wasser haben und sie je nach Wohnort ganz unterschiedliche Preise für das Wasser bezahlen müssen.

Kosten, Nutzen und Risiken gerecht und solidarisch verteilt: «schlecht»

Der Zugang zu Wasser sowie Kosten, Risiken und Vorteile bei der Nutzung von Wasser sind zwischen den Gemeinden der Region sehr ungleich verteilt, wie die Beispiele der Gemeinden Icoigne und Veyras deutlich zeigen. Die Gemeinden unterscheiden sich daher stark bezüglich der Abhängigkeit von überschüssigem Wasser anderer Gemeinden und der Wasserpreise, welche mehr als 100 % variieren können.

Für die solidarische Verteilung von Kosten, Nutzen und Risiken zwischen den Gemeinden ist erschwerend, dass die Trinkwasserversorgung in der Region über nicht weniger als 11 getrennte Trinkwasserverteilungsanlagen verteilt ist, mehr oder weniger koordiniert in 3 interkommunalen Netzwerken.

#### Entscheidungen zur Wasserverteilung: «mittelmässig»

Der Zugang zu Wasser und zu öffentlichen Verwaltungsgremien ist auf verschiedenen Ebenen (Bund, Kanton, Gemeinde und Privatrecht) geregelt. Entscheidungsprozesse laufen meist transparent ab, allerdings oft auf der Ebene der Brunnenmeister, welche das lokale und fachliche Wissen haben und nicht auf der Ebene der Politik. Dennoch gibt es einen Mangel an Transparenz, da die Wasserverteilung komplex und nicht übersichtlich organisiert ist. So hat niemand einen Überblick über die Wasserrechte oder Abmachungen, welche häufig auf mündlichen und informellen Vereinbarungen basieren. Am problematischsten ist, dass es auf regionaler Ebene keine Institution gibt, welche alle relevanten Wassernutzer vereint und zwischen ihren vielfältigen Interessen vermittelt.

#### Bedeutung der Gewässer für Kultur, Erholung und Freizeit: «gut»

Die Landschaft in Crans-Montana-Sierre ist geprägt von vielen Wasserelementen (Seen, Flüsse, historische Wasserkanäle, Gletscher und bewässerten Kulturlandschaften). Einwohnerinnen und Touristen können ihre Schönheit geniessen und Freizeitaktivitäten wie Skifahren, Wandern oder Schwimmen nachgehen.

Eine beträchtliche Menge Wasser wird für die Bewässerung in der Landwirtschaft, aber auch von Gärten und Parks verwendet, ohne dass dabei auf die Restwassermengen in den Fliessgewässern geachtet wird. Dasselbe gilt für die Wasserentnahme durch die Wasserkraft. Bei der Wasserentnahme gibt es einzig geringfügige Einschränkungen, vor allem in trockenen Jahren, wenn der Uferbereich aufgrund der geringeren Wasserstände unattraktiv ist oder kein Wasser in Flüssen und Wasserkanälen fliesst.

#### Grundbedürfnisse an Trinkwasser und Abwasserentsorgung: «gut»

Die Wasserversorgung für alle Bewohnerinnen und Touristen ist während des ganzen Jahres gewährleistet. Dennoch ist dieser Indikator nicht als sehr gut bewertet, weil saisonal (winterliche Niedrigwasser, Trockenperioden im Sommer) und örtlich (insbesondere in touristischen Gebieten) Wasserknappheiten auftreten. Zudem verfügen einige Gemeinden (z.B. Veyras) nur über wenige Wasserressourcen und sind bei ihrer Wasserbereitstellung von anderen Gemeinden stark abhängig. Andere Gemeinden, insbesondere solche in touristischen Gebieten mit Wasserknappheit im Winter, sind gezwungen, Wasser aus den Nachbargemeinden zu kaufen. Konventionen für diesen Wasseraustausch sind nicht immer in schriftlicher Form vorhanden. Deshalb besteht während einiger Perioden für abhängige Gemeinden das Risiko von Wasserknappheit.

Die meisten Häuser in der Region sind ans Kanalisationsnetz angeschlossen, welches sämtliche Abwässer aus der Untersuchungsregion in die zentrale Abwasseranlage in Sierre leitet. Der Anteil der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ist klein, daher sind auch Wasserverunreinigungen mit Dünger oder Pestiziden im allgemeinen gering. So stellt die Wasserqualität kein signifikantes Problem in der Region dar. Gelegentlich können jedoch Probleme aufgrund der Viehhaltung auftreten. Zu beachten ist, dass Gewässer in Karstregionen allgemein sehr anfällig für Verschmutzung sind (vgl. Themenblatt «Wasserdargebot»). Bei den Rebbergen ist mit Schwefeleintrag zu rechnen, Messungen liegen in der Region jedoch keine vor.

## Wasserbewirtschaftung bis 2100

In vielen Regionen der Erde werden in den nächsten Jahrzehnten die wachsende Siedlungsfläche, der Ausbau der Wasserkraftnutzung und die sich verändernden Ansprüche in Gesellschaft, Landwirtschaft und Tourismus die Herausforderungen um Nutzung und Schutz von Wasser und Gewässern erhöhen. Gleichzeitig wird der Klimawandel die Abflussmengen und die saisonale Wasserverfügbarkeit verändern. Für die Region Crans-Montana-Sierre bieten der im **Forschungsprojekt MontanAqua** angewendete Ansatz **integriertes Wassermanagement IWM** und die dabei ausgehandelten **Entwicklungsszenarien** vielversprechende Lösungsansätze.

### Leitendes Lernziel

Die Lernenden wenden ihre Kenntnisse zu Wasserdargebot, Wassernutzung und Wasserverteilung der anderen Themenblätter an, um umsetzbare Entwicklungsszenarien für die Region Crans-Montana-Sierre für 2050 zu entwickeln.

Die Lernenden vergleichen ihr Szenario mit den vier Szenarien, welche von Betroffenen, Beteiligten und Forschenden entwickelt und untersucht wurden. Dabei können Sie sich mit Experten vergleichen und Aktualität und Realitätsnähe ihrer Überlegungen und ihrer Vorgehensweise erfahren.

### Fokus

Filme und Fotos schaffen einen Bezug zu Aktualität und Bedeutung von zukunftsorientierten Projekten zur Wasserbewirtschaftung in der Schweiz und unterstützen die eigenständige Entwicklung eines Szenarios unter Einbezug aller Kenntnisse aus den anderen drei Themenblättern.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen zu Wasserdargebot und Wasserbedarf der vier Szenarien bis 2050 sind:

- Die heute und um 2050 verfügbaren Wassermengen sind in der Regel genügend. Saisonal können jedoch in Teilregionen Wasserengpässe auftreten.
- Bis 2050 werden die sozioökonomischen Veränderungen die grösseren Auswirkungen auf den Wasserbedarf haben als die Klimaänderungen (Tab. 2). Nach 2050 wird der Klimawandel bedeutender.
- Um eine nachhaltige Wassernutzung zu gewährleisten, ist eine regionale Zusammenarbeit unabdingbar.

Die Nachhaltigkeit der Wasserbewirtschaftung mindert sich bei Szenario 1 und erhöht sich bei den anderen drei Szenarien.

### Wissen

Die Tabelle 1 dient den Lernenden zum Vergleich ihres Szenarios mit den vier Szenarien (Zielwissen). Mit der Tabelle 2, der Abbildung 6 und den Ausführungen im Text können sie ihre Abschätzungen zum Wasserbedarf und zur Nachhaltigkeit ihres Szenarios abschätzen (System- und Transformationswissen).

### Transfer

Erfahrungen mit dem integrierten Wassermanagement IWM zeigen, dass Herausforderungen für die Wasserbewirtschaftung in Regionen weniger ein Ressourcen- als ein Managementproblem sind. Gemeinsame Bauprojekte können zur nachhaltigen Sicherung der Wasserversorgung beitragen, allerdings nur, wenn sie von Reformen in Wassermanagement und -recht begleitet sind.

Daher ist auch für das Gelingen der Idee von Mehrzweckspeichern eine Grundbedingung, dass die betroffenen Gemeinden und Akteure sich zu einem gemeinsamen integrierten Wassermanagement IWM zusammenschliessen, um die unterschiedlichen Nutzungsinteressen übergreifend miteinzubeziehen. Dazu ist häufig auch die Reform hin zu öffentlichen Wasserrechten notwendig, weil Individualrechte ein gemeinsames Wassermanagement für das Wohlergehen aller Bewohnerinnen und Bewohner sonst behindern.

Diese Zusammenarbeit kann schliesslich zum notwendigen Paradigmawechsel von der blossen Nutzung des verfügbaren Wassers zu einem Management des Wasserverbrauchs hinführen.

Diese Grundbedingungen erfüllt Szenario 3 am besten, da hier im Unterschied zu den Szenarien 2 und 4 nicht nur das Wassermanagement, sondern auch die Reform der Wasserrechte vorgesehen ist.

## Modul 3 Wasser und Mensch eng vernetzt

Klimabedingter und sozioökonomischer Wandel verstärken die gesellschaftlichen Herausforderungen im Umgang mit Gewässern und Wasserressourcen in der Schweiz und weltweit, z.B. durch vielfältige Stoffeinträge, Wasserknappheit, Nutzungskonflikte oder wasserbezogene Wahrnehmungsdefizite. Die vier Themenblätter vertiefen hierzu je eine zentrale Herausforderung:

- Wassermengen in «Wasserreichtum begrenzt»;
- Wasserqualität in «Wasser kristallklar»;
- Flächen für Grundwasser, Oberflächengewässer und Feuchtgebiete in «Wasserversorgung bedrängt»;
- Ökomorphologischer Zustand der Gewässer in «Wasser gestalten».

Das übergeordnete Ziel dieses Moduls ist es, einen zukunftsorientierten Umgang mit Wasserressourcen und Gewässern im eigenen Lebensraum zu diskutieren, weiterzudenken und eigene Handlungsmöglichkeiten weiterzuentwickeln.

### Wasserreichtum begrenzt

Die Bezeichnung der Schweiz als «Wasserschloss Europas» verleitet zur Vorstellung, dass in der Schweiz jederzeit und überall Wasser in ausreichender Menge, resp. im Überfluss vorhanden ist. In diesem Themenblatt wird diese Vorstellung dem Fachwissen zu vorhandenen natürlichen Wassermengen sowie dem Bedarf nach Wasser in Gesellschaft und Wirtschaft gegenübergestellt.

#### Leitendes Lernziel

Die Lernenden analysieren, wie öffentliche Wasserversorgungen in der Schweiz gefordert sind, die Bedürfnisse von Bevölkerung und Wirtschaft nach Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität sowie mit hoher Versorgungssicherheit zu decken und dabei auch Auswirkungen von sich verändernden Konsummustern, intensiver Landwirtschaft, Siedlungswachstum, energiepolitischen Entscheidungen und Klimawandelprozessen zu berücksichtigen sind. Bei dieser Analyse bestimmen die Lernenden bestehende und mögliche Konflikte zu Wassernutzungen und entwickeln Strategien und Massnahmen, um den Wasserbedarf in der Schweiz langfristig zu sichern. Diese Grundlagen dienen dazu, abschliessend die Bezeichnung «Schweiz als Wasserschloss Europas» kritisch zu beurteilen.

#### Fokus

Bei der Auseinandersetzung zu Wassermengen stellen die Lernenden ausgehend von eigenen Bedürfnissen im Alltag ihre Bezüge zu Wassernutzung und -verbrauch sowie zur Herkunft des Wassers her (Abb. 2).

#### Wissen

In dieser Phase überprüfen die Lernenden die eigenen Überlegungen zum Wasserbedarf und dessen Deckung im Alltag anhand des Fachwissens zu Wasserdargebot sowie Wassernutzung und -verbrauch in der Schweiz.

Lösungsvorschlag Lernaufgabe Wissen:

Bedürfnis im Alltag	Bezug zu Wassernutzung und -verbrauch in der Region	Herkunft des verwendeten Wassers (Grundwasser, Oberflächengewässer)
Strom im Alltag (z.B. Smartphone, Licht, Kühlschrank, Mobilität)	Stauseen / Wasserkraft	Fliessgewässer, See
	Durchflussskühlung AKW	Fliessgewässer
Tourismus und Freizeit	Wasserverbrauch für Bäder, Beschneigung von Skipisten, Bewässerung von Golfanlagen	Trinkwasser, Fliessgewässer

Bedürfnis im Alltag	Bezug zu Wassernutzung und -verbrauch in der Region	Herkunft des verwendeten Wassers (Grundwasser, Oberflächengewässer)
Trinkwasser	Trinkwasserversorgung	Lockergesteins-Grundwasserleiter in Talböden, Festgesteins-Grundwasserleiter (Quellfassungen) in Hanglagen, See
Nahrungsmittel (Gemüse, Fleisch und Milchprodukte aus der Region)	Bewässerung in der Landwirtschaft	Fliessgewässer, See, weniger Lockergesteins-Grundwasserleiter in Talböden, Festgesteins-Grundwasserleiter (Quellfassungen) in Hanglagen
Konsum von Produkten (z.B. Kleidung, Papier) und Abfallentsorgung	Wasserverbrauch bei der Produktion in Gewerbe und Industrie sowie bei der Kehrichtverbrennung (z.B. Kühlung)	Vorwiegend Fliessgewässer und See, weniger Lockergesteins-Grundwasserleiter in Talböden, Festgesteins-Grundwasserleiter (Quellfassungen) in Hanglagen

Bedürfnisse im Alltag und Bezüge zu Wassernutzung und Wasserverbrauch in der Schweiz

## Transfer

Das Gelernte wird nun angewendet zur Leitfrage, wie sozioökonomische und klimatische Veränderungen den Druck auf Wasserressourcen erhöhen und wie sich die Schweiz auf Nutzungskonflikte bei Wasserknappheit vorbereiten kann. Die Auseinandersetzung zu dieser Frage verlangt, viele Faktoren, Perspektiven und Wechselwirkungen einzubeziehen und unterstützt die abschliessend kritische Auseinandersetzung zur Bezeichnung «Schweiz als Wasserschloss Europas».

Lösungsvorschlag Lernaufgabe Transfer:

## Konflikte um Wassermengen

Konflikt Wasserkraft und Fliessgewässer

Die Auswirkungen der Gewinnung von Wasserkraftstrom auf Fliessgewässer sind je nach genutzter Technologie sehr unterschiedlich. Laufwasserkraftwerke stauen das Flusswasser kurzfristig hinter einem Wehr auf und haben daher kaum Einfluss auf Abflussmengen. Mit Stauwehren werden Wasserlebewesen jedoch oft von ihren Futter-, Schutz- und Fortpflanzungsplätzen abgeschnitten. Ausserdem wird der Geschiebetransport unterbrochen, was die Stabilität der Flusssohle gefährdet (Erosion). Demgegenüber kann in Speicherkraftwerken das Wasser in einem Stausee länger zurückgehalten und bei Energiebedarf zur Turbine geführt werden, was Wasserstandsschwankungen (Schwall-Sunk) unterhalb des Wehrs auslöst und den Lebensraum von Wasserlebewesen weitgehend beeinträchtigt.

Konflikt Landwirtschaft und Trinkwasser/Gewässerökologie

In der Landwirtschaft wird zur Bewässerung vorwiegend Wasser aus Fliessgewässern entnommen, teilweise auch aus Seen, Grundwasser und aus dem Trinkwassernetz. Für Gemüse und Früchte, die roh in den Verkauf gelangen, muss das Bewässerungswasser die hygienischen Anforderungen von Trinkwasser erfüllen. Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern bedürfen einer Bewilligung und sind kein Problem, solange ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Durch die klimabedingt häufiger und länger auftretenden Trockenperioden haben in den vergangenen Jahren jedoch Entnahmeverbote zugenommen, mit entsprechenden Folgen auf die landwirtschaftliche Produktion. Die Bewässerung mit Grundwasser ist aus ökonomischen und ökologischen Gründen problematisch, da Grundwasser in der Regel der Gewinnung von Trinkwasser vorbehalten ist. Dasselbe gilt für die Bewässerung mit Trinkwasser. Hinzu kommt, dass das Trinkwassernetz grundsätzlich nur begrenzt für die Bewässerung dienen kann, da die Leitungsquerschnitte des Verteilnetzes für hohe Spitzenverbräuche nicht ausgelegt sind. Trotzdem fördern

einige Landwirtschaftsbetriebe mit eigenen Pumpen Grundwasser aus Vorkommen, die auch von der öffentlichen Wasserversorgung genutzt werden und geben einige Wasserversorgungen (wenn auch selten) Trinkwasser an die Landwirtschaft ab. So treten Konflikte zwischen Landwirtschaft, Trinkwasserversorgung und Gewässerökologie (Niedrigwasser, Restwassermenge) vor allem in längeren Trockenphasen auf.

#### Konflikt Tourismus und Trinkwasser (Bewässerung, Beschneigung)

Regional führen die Bewässerung von Golfplätzen sowie im Gebirge die Beschneigung aus dem Trinkwassernetz zunehmend zu Zielkonflikten. Beispielsweise wird im Skigebiet Crans-Montana für die Beschneigung eine Wassermenge von rund 5 bis 10 % des Trinkwasserbedarfs verwendet. Schweizweit betrachtet ist die Wassermenge für die Beschneigung von untergeordneter Bedeutung. Beschneigungen erfolgen allerdings sehr lokal und gerade dann, wenn in alpinen Bächen die Wasserführung am geringsten ist. Beschneit wird stets vorsorglich, also unabhängig von natürlichem Schneefall, in der Regel ab Oktober, damit die Pisten an Weihnachten (oder vielfach schon Anfang Dezember) zuverlässig befahrbar sind. Da die Beschneigung vollständig auf lokale Vorkommen angewiesen ist, werden die grössten Probleme im Bereich der Restwassermengen erwartet. Um einen übermässigen Wasserentzug aus alpinen Quellen und Bächen in den wasserarmen Monaten zu vermeiden, setzt man vielerorts auf den Bau von Speicherseen im Skigebiet.

Bei Golfplätzen kann die Bewässerungsbedürftigkeit stark variieren. Wo das Wasser der Trinkwasserversorgung entnommen wird, können die benötigten Mengen einen bedeutenden Teil des Verbrauchs ausmachen. Besonders in trockenen Regionen kann die Bewässerung von Golfplätzen an Grenzen der lokalen Wasserverfügbarkeit stossen und in heissen und trockenen Jahren Konflikte mit der Trinkwasserversorgung oder den erforderlichen Restwassermengen hervorrufen. Um dies vorsorglich zu vermeiden, wäre bei Golfplätzen grundsätzlich auch eine Verwendung gereinigten Abwassers möglich.

#### Konflikt Trinkwasser und Gewässerökologie

Die für die Trinkwasserversorgung nötigen Wassermengen werden den Gewässern sehr gleichmässig und dezentral entnommen und sind normalerweise nicht gross genug, um andere Wassernutzungen oder die Gewässerökologie ernsthaft einzuschränken. Auch müssen Trinkwasserentnahmen aus dem Grundwasser so gestaltet werden, dass diese Vorkommen sich kontinuierlich erneuern können und negative Einflüsse auf grundwassergespeiste Ökosysteme ausbleiben. Historisch gesehen hat die Fassung hunderter Quellen für die Trinkwasserversorgung eine erhebliche Veränderung der Gewässerlandschaft verursacht. Das Wasser vieler dieser Quellen speiste ursprünglich Quellbiotope und kleine Bäche, die infolge der Nutzung heute verschwunden sind. Insofern steht auch die Trinkwasserversorgung in Konkurrenz mit dem Wasserbedarf aquatischer Ökosysteme.

#### Konflikt Haushalte und Trinkwasser

In trockenen Sommern und bei höheren Temperaturen kann die Bewässerung privater Gärten und Rasenflächen sowie das Füllen von Swimmingpools einen erheblichen Mehrverbrauch hervorrufen. Dieser Verbrauch von Trinkwasser wird zunehmend konfliktträchtig, wenn die anliegende Landwirtschaft ihre Kulturen nicht bewässern kann und dadurch einen erheblichen wirtschaftlichen Schaden verkraften muss. Viele Kantone haben allerdings auch rechtliche Instrumente, um in Haushalten solche Nutzungen in Trockenphasen zu unterbinden.

#### Konflikt thermische Wassernutzung und Grundwasser

Unterhalb der Erdoberfläche nimmt die Temperatur aufgrund der geothermischen Energie (Erdwärme) pro 100 Meter Tiefe um rund 3 °C zu. Im Winter eignet sich daher das Grundwasser als Wärmequelle für Heizungen. Dabei wird das Wasser über eine Bohrung aus dem Aquifer heraufgepumpt, dem Gebäude zugeführt und schliesslich abgekühlt über eine zweite Bohrung ins Grundwasser zurückgeleitet. Oberflächen- und Grundwasser werden auch zur Kühlung von AKWs, Industrieanlagen und Gebäuden eingesetzt. Insbesondere die AKWs verwenden in grossem Umfang Flusswasser aus Aare und Rhein. Wegen klimabedingt zunehmenden Flusstemperaturen verlagern Industrieanlagen und Gebäude ihre Kühlsysteme zunehmend auf die Nutzung von Grundwasser. Viele Kantone fördern die thermische Nutzung von Grundwasser als erneuerbare CO<sub>2</sub>-freie Energieform aktiv, wobei dies in Zonen der Trinkwassergewinnung mehrheitlich verboten ist, da Schadstoffe bei Defekten oder der Rückgabe unbemerkt ins Grundwasser gelangen können. Die Abwägung zwischen energie- und wasserwirtschaftlichen politischen Zielsetzungen wird beim Grundwasser in Zukunft Gesprächsstoff bieten.



### Konflikt Industrie und Gewerbe mit Grundwasser und Trinkwasser

Industriebetriebe beziehen ihr Wasser nur zum Teil von der öffentlichen Trinkwasserversorgung; den Rest fördern sie aus eigenen Brunnen oder Flusswasserfassungen. Diese «Eigenversorgung» beträgt 73 % (vgl. Abb. 6 im Themenblatt «Wasserreichtum begrenzt»). In den letzten 30 Jahren haben viele Betriebe von öffentlichem Trinkwasser auf Eigenversorgung umgestellt. Zugleich wird die Eigenversorgung zunehmend über Oberflächengewässer gedeckt und immer wie weniger aus Grund- und Quellwasserbezügen. Ein grosser Teil der industriellen Wasserentnahmen ist den Behörden quantitativ nicht bekannt (nur Höchstmengen aus Konzessionen). Dies gilt sogar für trinkwasserfähiges Grund- und Quellwasser, wovon mindestens ein Drittel für andere Zwecke als für die öffentliche Wasserversorgung genutzt wird.

### Konflikt Tiefbau (Gebäude und Strassen) mit Grundwasser

Mit der immer dichteren Siedlungsentwicklung werden Verkehrswege und Gebäude zunehmend im Untergrund erstellt. Vielfach ragen solche Bauten (Tunnel, Tiefgaragen oder Lagerräume) ins Grundwasser und können dort den Grundwasserstrom behindern. Dies hat wiederum Einfluss auf die Verfügbarkeit von Grundwasser. Meist lässt sich die Durchlässigkeit durch eine Kiesschüttung um die Bauten herum gewährleisten. In den meisten Kantonen sind solche Massnahmen bereits Bestandteil von Bauvorschriften. Bestehende Bauwerke im Untergrund bereiten dagegen bisher ungelöste Probleme.

### Fazit: Konflikt um Wassermengen

Untersuchungen zeigen, dass die gegenwärtigen Kenntnisse zur Wassernutzung in der Schweiz lückenhaft und ungenügend sind und daher vorwiegend auf Hochrechnungen und Abschätzungen beruhen. So ist beispielsweise die Wasserentnahme aus Seen für die Trinkwasserversorgung oder die Bewässerung in der Landwirtschaft kaum erfasst. Die Vorstellung scheint verbreitet, dass Seen unerschöpflich viel Wasser enthalten und durch Wasserentnahme nicht leer zu kriegen sind. Am Beispiel der Region Zürich zeigt sich jedoch, dass alleine die Trinkwasserversorgung aus dem Zürichsee jeden Tag 0.5 Zentimeter der Wassersäule verbraucht, die wieder zugeführt werden müssen.

### Genügen die Wasserreserven auch in Zukunft?

Bezogen auf das ganze Land verfügt die Schweiz auch in Zukunft über genügend Wasserressourcen. Regional und saisonal kann es aber zu Wasserknappheit kommen. Dabei spielen klimabedingte Veränderungen eine Rolle, viel wichtiger sind jedoch sozioökonomische Veränderungen (z.B. Lebensstil, Intensivierung der Landwirtschaft, Siedlungsentwicklung). Raumplanerische und ökonomische Massnahmen zum Schutz der Wasserreserven und zur Minimierung des Wasserverbrauchs werden daher wichtiger; es gibt aber auch technische Massnahmen zur Verringerung des Wasserverbrauchs (vgl. folgende Zusammenstellung zu Strategien und Massnahmen).

(nach: Lanz K. et al., 2014)

### Strategien und Massnahmen:

Bereiche	Strategien und Massnahmen
Wasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versorgungssicherheit erhöhen durch die Verknüpfung bisher unabhängiger Wasserversorgungssysteme von Gemeinden.</li> <li>• Monitoring und Vorhersagen zu Niederschlag, Abflussmengen, Grundwasser und Wasserqualität (vgl. Tab. 1 im Themenblatt «Wasserreichtum begrenzt»).</li> </ul>
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effizientere Bewässerung, z.B. durch Tröpfchenbewässerung.</li> <li>• Vorgaben und Regeln für den Wasserverbrauch in der Landwirtschaft, um Wasserressourcen und landwirtschaftliche Produktivität zu sichern.</li> <li>• Nachhaltige Wassernutzung über Direktzahlungen fördern, Wasserpreis, ökologische Ausgleichszahlungen oder Kontingentierung steuern und fördern.</li> <li>• Aus- und Weiterbildung von landwirtschaftlichem Personal im Bereich Wassernutzung und Bewässerung ausbauen.</li> </ul>

Bereiche	Strategien und Massnahmen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewässerung auf geeignete Standorte beschränken.</li> <li>• Versicherung gegen Ernteauffälle bei längerer Trockenheit, auch um Gewässer vor Entnahmen bei Trockenheit zu schützen.</li> </ul>
Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterhalb der Wasserkraftwerke die künstlichen Schwankungen der Abflüsse (Schwall und Sunk) möglichst ausgleichen und an den natürlichen Schwankungen des jeweiligen Gewässers ausrichten. Schwall-Sunk-Sanierungen müssen bei allen bestehenden und neuen Kraftwerken bis 2030 vorgenommen werden und sind finanziert aus den Stromabgaben.</li> <li>• Stauseen als Mehrzweckspeicher auch für Bewässerung, Trinkwasser und Beschneigung einsetzen.</li> <li>• Mit neuen Stauseen abgeschmolzene Gletscher (Wasserspeicher) kompensieren.</li> <li>• Effizientere Turbinen: gleicher Durchfluss, höhere Leistung.</li> </ul>
Industrie und Gewerbe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwasser-Recycling (Effizienz-Strategie) bis hin zu geschlossenen Kreisläufen (Konsistenz-Strategie).</li> </ul>
Siedlungsentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Tiefbauten bis ins Grundwasser (Tunnel, Tiefgaragen oder Lagerräume) die Durchlässigkeit durch eine Kies-schüttung um die Bauten herum gewährleisten.</li> <li>• In der Raumplanung Flächen reservieren, um die Anreicherung von Grundwasser sowie den Schutz der Trinkwasser-fassungen zu gewährleisten.</li> </ul>
Haushalte, Individuen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewusster Umgang mit Wasser, Reduktion Gartenbewässerung durch angemessene Bepflanzung, Regenwasser-nutzung und sparsamem Giessen frühmorgens.</li> <li>• Toilettenspülung mit wählbarer Wassermenge (Effizienz-Strategie) und mit Dachwasser (Konsistenz-Strategie).</li> </ul>

Die Schweiz wird aus mehreren Gründen als «Wasserschloss Europas» erklärt:

- höhere Niederschlagsmengen und tiefere Verdunstung im Schweizer Alpenraum (z.B. ist mit durchschnittlich 1460 mm die jährliche Niederschlagsmenge doppelt so hoch wie im übrigen Europa);
- höhere Abflussmengen im Schweizer Alpenraum als in den umliegenden Gebieten Europas;
- grosse Wasserspeicher (Seen, Gletscher und Grundwasser) im Schweizer Alpenraum.

Obschon in der Schweiz insgesamt reichlich Wasser zur Verfügung steht, kann Niederschlag in einem Gebiet über längere Zeit ausbleiben und zusammen mit erhöhtem Verbrauch saisonal und regional zu Wasserknappheit führen, insbesondere in Trockenperioden wie in den Jahren 2003, 2015, 2017, 2018 und 2019. Demgegenüber verleitet die Bezeichnung «Schweiz als Wasserschloss Europas» zur Vorstellung, dass in der Schweiz jederzeit und überall Wasser in ausreichender Menge, resp. im Überfluss vorhanden ist. Diese Vorstellung gilt es für die zukünftige Sicherstellung der Wasserversorgung zu korrigieren. Dies ist wichtig, weil Studien für die Schweiz zeigen, dass auch in Zukunft ausreichend Wasser in guter Qualität verfügbar wäre und nicht die Knappheit, sondern die Verteilung und das Wassermanagement ausschlaggebend sein werden. D.h. Gesellschaft, Wirtschaft und Politik haben es in der Hand, dass die Schweiz auch in Zukunft das «Wasserschloss Europas» bleibt.

## Wasser kristallklar

In der Schweiz scheint es selbstverständlich, Wasser in hoher Qualität und ausreichender Menge zur Verfügung zu haben. Doch die Ressource steht unter Druck – insbesondere wegen Mikroverunreinigungen aus Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Verkehrsflächen und Siedlungs-entwässerung.

### Leitendes Lernziel

Die Lernenden sollen ein Bewusstsein dafür entwickeln, dass Stoffe aus der Umwelt und von menschlichen Aktivitäten ins Wasser gelangen können und daher alle Wasservorkommen natürliche und anthropogene Stoffe enthalten. Wichtig ist dabei die Tatsache, dass ein natürlicher Boden Mikroverunreinigungen zurückhalten und abbauen kann und damit eine wichtige Filterfunktion im Wasserkreislauf einnimmt: Dies wiederum hat eine zentrale Bedeutung bei der langfristigen Sicherung der Trinkwasserressource Grundwasser. Im Transfer beurteilen die Lernenden, wie die Wasserqualität in der Schweiz in Zukunft gesichert werden kann, trotz dem steigenden Druck durch Wirtschafts-, Bevölkerungs- und Siedlungswachstum.

### Fokus

Die Abbildung 2 und die Medien im elektronischen Lernbuch sollen Überlegungen der Schülerinnen und Schüler zu Stoffen in verschiedenen Wasservorkommen unterstützen. Die Zusammenstellung von Stoffen im Wasser (Tab. 1) soll schliesslich helfen, eigenständige Überlegungen zu möglichen Trinkwasserressourcen im eigenen Lebensraum anzustellen.

### Wissen

In dieser Phase werden die eigenen Überlegungen überprüft, anhand des Fachwissens zu Stoffanteilen in verschiedenen Wasservorkommen und den effektiven Trinkwasserressourcen in der Schweiz und im eigenen Lebensraum.

#### Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Angaben zu den Stoffen in den verschiedenen Wasservorkommen liegen in der Abbildung 4 vor. Das Trinkwasser wird in der Schweiz zu 80 Prozent aus dem Grundwasser und zu 20 Prozent aus Seen entnommen. Bezüglich der natürlichen Reinigung ist zu berücksichtigen, dass in Karst- und Kluftgrundwasserleitern das Grundwasser wegen der hohen Fliessgeschwindigkeit und wegen des oft fehlenden oder schwach ausgebildeten Bodens besonders anfällig für Verunreinigungen ist.

### Transfer

Die Lernenden wenden das Gelernte mit der Zusammenstellung von Massnahmen für die Wasserqualität zukunftsorientiert an und überprüfen die Wasserqualität in ihrem Lebensraum anhand Recherchen im Internet (vgl. Bemerkungen).

#### Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Bereiche	Strategien und Massnahmen
Trinkwasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genereller Schutz des Grundwassers, in Bezug auf das Siedlungs- und Infrastrukturwachstum und weil Stoffe viele Jahre bis Jahrzehnte im Untergrund verweilen.</li> <li>• Rechtlich verbindliche und richtig dimensionierte Grundwasserschutzzonen sowie Zuströmbereiche festlegen.</li> <li>• Messung von Stoffkonzentrationen in Grundwasser, Seen und Flüssen (Monitoring), um Mikroverunreinigungen frühzeitig feststellen und Massnahmen zur langfristigen Sicherung der Wasserqualität ergreifen zu können.</li> <li>• Wissenschaftliche Untersuchungen zur Wasserqualität, um wichtige neue Erkenntnisse zum Zustand und zur Entwicklung in das Langzeitmonitoring zu integrieren.</li> <li>• Filterung und Reinigung von gefasstem Grund- und Seewasser bezüglich bestimmten Verunreinigungen weiterentwickeln (z.B. Filter gegen Chlorothalonil).</li> </ul>

Bereiche	Strategien und Massnahmen
Landwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz von Dünge- (z.B. Nitrat) und Pflanzenschutzmittel vermindern und vermeiden.</li> <li>• Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel überprüfen und kontrollieren, z.B. im Uferbereich von Fließgewässern und Seen oder im Zuflömbereich von Grundwasserfassungen. Aktuell laufen in der Schweiz rund 30 Projekte zur Senkung der Nitratkonzentration.</li> <li>• Gesetzliche Regelungen für Dünge- und Pflanzenschutzmittel dem Wissensstand anpassen.</li> </ul>
Industrie und Gewerbe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikroverunreinigungen in Produktion und Produkten vermindern und vermeiden sowie durch abbaubare Stoffe ersetzen (z.B. Substanzen von Medikamenten und Kosmetika).</li> <li>• Abwasserreinigungsanlagen entlasten durch Trennung von Regenwasser und Abwasser.</li> <li>• Altlastensanierung von ehemaligen Industrie- und Gewerbestandorten und alten Deponien, an denen Verunreinigungen in den Boden und ins Grundwasser gelangen.</li> </ul>
Siedlungsentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sanierung von Trinkwasser- und Abwasserleitungen.</li> <li>• Verschmutzungen in Strassen- und Gleisabwasser, Siedlungsentwässerung, häuslichem Abwasser möglichst vermeiden und dieses Wasser über Abwasserreinigung klären, bevor sie in Oberflächengewässer, Boden- und Grundwasser gelangen.</li> <li>• Zunahme des Flächenbedarfs von Siedlungen und Verkehrswegen verringern (z.B. Verdichtung, funktionale Durchmischung, kurze Wege), damit der Boden seine Schutzfunktion als Filter für die Grundwasserneubildung übernehmen kann.</li> <li>• Regenwasser und Oberflächenabfluss sollten in Siedlungen möglichst im Boden versickern können oder zurückgehalten werden, um eine Überlastung der Kanalisation und ARA bei Starkniederschlag zu vermeiden.</li> </ul>
Abwasserreinigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neue Methoden und Technologien entwickeln, um in Kläranlagen kleinste Mengen von Mikroverunreinigungen festzustellen und zu entfernen. Bis ca. 2040 werden gezielt ARAs mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe aufgerüstet (z.B. in Einzugsgebieten mit mindestens 8000 Einwohnern und schutzerforderlichem Grundwasser).</li> </ul>
Haushalte, Individuen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen entlasten durch Trennung von Regenwasser und Abwasser, z.B. Regenwasser speichern und für die Bewässerung des Gartens nutzen.</li> <li>• Mikroverunreinigungen durch einen suffizienten Konsum- und Lebensstil vermindern, vermeiden oder durch die Verwendung ökologisch verträglicher Produkte ersetzen (z.B. Kosmetikprodukte).</li> </ul>

Tab.: Wasserqualität sichern für eine nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz

### Einordnung der Massnahmen zur Verminderung des anthropogenen Stoffeintrags

Trotz Wirtschafts-, Bevölkerungs- und Siedlungswachstum sowie der Intensivierung der Landwirtschaft hat sich durch den **Gewässerschutz** die Wasserqualität in **Seen** und **Flüssen** der Schweiz seit 1960 verbessert. Dies wurde möglich dank dem Ausbau der Abwasserreinigung seit 1960, dem Verbot von Phosphat in Textilwaschmitteln 1986 und ökologischen Massnahmen in der Landwirtschaft seit 1990. Auch das **Grundwasser** weist in der Regel eine gute bis sehr gute Qualität auf, jedoch werden in Siedlungsräumen und landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten häufig unerwünschte Mikroverunreinigungen nachgewiesen. Um die Wasserqualität in der Schweiz auch in Zukunft zu erhalten, müssen Forschung, Politik und Gesellschaft weiterhin vorausschauend handeln und Gewässerschutz und Wasserwirtschaft weiterentwickeln. Im **Gewässerschutz** sind **öffentliche Kanalisationen** und **Abwasserreinigungsanlagen (ARA)** die wichtigsten Instrumente, um die Belastung der Gewässer durch Siedlungs-, Gewerbe- und Industrieabwasser zu minimieren. Ursprünglich waren die ARAs darauf ausgelegt, Krankheitserreger zurückzuhalten und organisches Material abzubauen. Später kam die Elimination von Stickstoff und Phosphor dazu. Durch die

technische Nachrüstung von Kläranlagen (Ozonung, Aktivkohle) können in Zukunft deutlich mehr **Mikroverunreinigungen** (z.B. aus Kosmetika, Reinigungsmittel, Medikamente, Pflanzenschutzmittel) von den Gewässern ferngehalten werden. Ohne die vorhandenen Kläranlagen und deren Ausbau wäre es heute vielerorts vermutlich nicht mehr möglich, einwandfreies Trinkwasser aus flusswassergespeisten Grundwasservorkommen zu gewinnen.

Nicht alle in die Umwelt eingetragenen Stoffe gelangen in Kläranlagen, beispielsweise werden Pflanzenschutzmittel oder Bauchemikalien von Feldern oder Gebäudeoberflächen abgewaschen und in Gewässer eingebracht. Daher sind weitergehende **Vermeidungsmassnahmen** an der Quelle nötig (z.B. Verzicht auf Biozid in Fassadenanstrichen). Beim **Monitoring** der Wasserqualität von Schweizer Gewässern wird eine Vielzahl an Substanzen analysiert. Dieses Monitoring erlaubt, den Zustand und die Entwicklung der Gewässer zu erfassen und problematische Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und Massnahmen zu ergreifen.

### Weiterführende Lernaufgabe

Weiterführend kann das Gelernte auch im eigenen Lebensraum angewendet werden, geleitet von der Fragestellung «Wie ist die Wasserqualität von Fließgewässern, Seen und Grundwasser im eigenen Lebensraum?».

Dieser Fragestellung kann mit einer Internet-Recherche nachgegangen werden sowie mit einem Gespräch zu offenen Fragen mit dem Brunnenmeister oder der Brunnenmeisterin in der Gemeinde vertieft und konkretisiert werden. Daten zur Wasserqualität von Oberflächengewässer und Grundwasser in der Schweiz liegen über folgende Websites und Publikationen vor:

#### Website:

- «Aktuelle Messwerte der Gewässer» (BAFU, letzter Zugriff 21.9.2021): [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/aktuelle-messwerte-der-gewaesser.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/aktuelle-messwerte-der-gewaesser.html)
- «Wasserqualität der Fließgewässer» (BAFU, letzter Zugriff 21.9.2021): [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-fliessgewaesser/wasserqualitaet-der-fliessgewaesser.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-fliessgewaesser/wasserqualitaet-der-fliessgewaesser.html)
- «Wasserqualität der Seen» (BAFU, letzter Zugriff 21.9.2021): [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-seen/wasserqualitaet-der-seen.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-seen/wasserqualitaet-der-seen.html)
- «Grundwasser-Qualität» (BAFU, letzter Zugriff 21.9.2021): [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet.html)
- «Hydrologische Daten und Vorhersagen» (BAFU, letzter Zugriff 21.9.2021): [www.hydrodaten.admin.ch/de/](http://www.hydrodaten.admin.ch/de/)
- Interaktive Schweizerkarte zur Überprüfung der Trinkwasserqualität (SVGW, letzter Zugriff 21.9.2021): [trinkwasser.svgw.ch/index.php?id=760&L=0](http://trinkwasser.svgw.ch/index.php?id=760&L=0)
- «Aktuelle Daten der Nationalen Daueruntersuchung der Fließgewässer (NADUF)» (BAFU, letzter Zugriff 21.9.2021): [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/aktuelle-messwerte-der-gewaesser/aktuelle-daten-der-nationalen-daueruntersuchung-der-fliessgewaes.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/aktuelle-messwerte-der-gewaesser/aktuelle-daten-der-nationalen-daueruntersuchung-der-fliessgewaes.html)

#### Publikationen:

- «Zustand der Schweizer Fließgewässer» (BAFU 2016) [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/zustand-schweizer-fliessgewaesser.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/zustand-schweizer-fliessgewaesser.html)
- «Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz» (BAFU 2019): [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/ergebnisse-grundwasserbeobachtung-schweiz-naqua.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/ergebnisse-grundwasserbeobachtung-schweiz-naqua.html)

# Wasserversorgung bedrängt

## Leitendes Lernziel

Die Lernenden sollen ein Bewusstsein dafür entwickeln, dass für die Trinkwasserversorgung Landschaftsoberflächen mit möglichst wenig belastenden Aktivitäten und Stoffeinträgen nötig sind und dass der Landnutzungswandel Trinkwasserqualität und -menge beeinflusst. Bei Nutzungskonflikten um Landflächen gilt es zu beachten, dass ein natürlicher Boden biologisch abbaubare und wenig mobile Mikroverunreinigungen zurückhalten kann und er damit eine wichtige Filterfunktion im Wasserkreislauf übernimmt: Dieser Sachverhalt ist zentral für die langfristige Sicherung der Trinkwasserressource Grundwasser. In der Phase «Transfer» beurteilen die Lernenden Wirkung und Umsetzbarkeit von Massnahmen des integralen Trinkwasser-Managements, das langfristig eine sichere Versorgung von ausreichend sauberem Trinkwasser anstrebt, trotz Landnutzungsdruck, Wahrnehmungsdefiziten, vielfältigen Stoffeinträgen und Klimawandel. Mit dem Konzept des integralen Trinkwasser-Managements steht den Lernenden ein Analyse-Instrument zur Verfügung, um die zukunftsorientierte Trinkwasserversorgung zu evaluieren und zu gestalten – in der Schweiz und in ihrem Lebensraum, aber auch in anderen Regionen der Erde.

## Fokus

Die Lernenden analysieren den Einfluss des Landnutzungswandels der letzten Jahrzehnte auf die Trinkwasserversorgung in der Schweiz mit Hilfe der Medien im gedruckten und elektronischen Lernmedium. Abbildungen 1 und 2 zeigen eindrücklich, dass die Landnutzung dort am intensivsten ist, wo die ergiebigsten Grundwasservorkommen liegen.

## Wissen

Die Ergebnisse der eigenen Analyse (vgl. Fokus) werden überprüft anhand des Fachwissens zu Landschaftswandel und zur Bedeutung der Landnutzung auf die Wasserqualität im Grundwasser und in Fließgewässern. Die Texte und Medien der Phase Wissen können zu folgendem Lösungsvorschlag führen:

Die Zusammenstellung in der folgenden Tabelle zeigt Folgen des Landnutzungswandels auf die Trinkwasserversorgung ganz allgemein. Beim Beispiel Niedergösgen und Schönenwerd (Abb. 1) hat hauptsächlich das Siedlungswachstum einen entscheidenden Einfluss auf beide Trinkwasserfassungen. In Schönenwerd wurden die Gebäude sogar zwischen die Fassung und die Aare gebaut, d.h. in denjenigen Bereich, in dem das Wasser unterirdisch zum Pumpwerk strömt. Seit der Eröffnung des Eppenbergtunnels für den Zugverkehr im Jahr 2020 besteht für die Trinkwasserfassung von Schönenwerd eine zusätzliche Gefährdung.

Landnutzungswandel im Umfeld von Trinkwasserfassungen	Folgen für die Trinkwasserversorgung
Siedlungswachstum	Mikroverunreinigungen gelangen über undichte Leitungen, oberflächliche Abwaschung (z.B. Biozide von Gebäudehüllen, Brems- und Pneuabrieb der Autos, Pflanzenschutzmittel in Gärten) in Gewässer, Untergrund und schliesslich ins Grundwasser. In der Nähe von Trinkwasserfassungen ist v.a. der Eintrag von Krankheitserregern problematisch.  Wenn der Boden überbaut ist, verringert sich seine Reinigungs- und Mineralisierungsfunktion, die für die Grundwasserbildung wichtig ist. Zudem steigt das Risiko für Krankheitserreger und Fremdstoffe in Trinkwasserfassungen.  Über Wärme- und Kühlwassersysteme für Gebäude können Mikroverunreinigungen in Oberflächen- und Grundwasser gelangen.
Zunahme von Verkehrswegen (Strasse und Schiene)	Bei der Entwässerung der Verkehrswege, bei Havarien und Verkehrsunfällen werden Schwermetalle, (V)OC und Pflanzenschutzmittel in Gewässer, Boden und Untergrund eingetragen und können diese ins Grundwasser gelangen.

Landnutzungswandel im Umfeld von Trinkwasserfassungen	Folgen für die Trinkwasserversorgung
Zunahme von Industrieflächen	Industrie und Gewerbe setzen grosse Wassermengen als Rohstoff, Reinigungsmittel, Transportmittel, Lösemittel oder Energieträger ein – insgesamt 25 Prozent mehr als alle Haushalte zusammen. Über das Abwasser gelangen je nach Branche vielfältige Mikroverunreinigungen über ARA oder über Direkteinleitung in die Oberflächengewässer. Problematisch ist v.a. der Eintrag von biologisch schwer abbaubaren und mobilen Schadstoffen. Aktuelle Studien zeigen, dass die Datenlage zu Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe in der Schweiz kantonal stark variiert. Insbesondere indirekt einleitende Betriebe sind nicht bei allen Kantonen bekannt. Aber auch bei direkt einleitenden Betrieben sind nur wenige Überwachungsparameter schweizweit einheitlich definiert. Der Einfluss der industriellen und gewerblichen Abwasser auf die Trinkwasserversorgung ist daher heute kaum abschätzbar.
Intensivierung der Landwirtschaft	Dünge-, Pflanzenschutz-, Tierarzneimittel und deren Abbauprodukte, Biozide und Schwermetalle gelangen durch direkte Anwendung oder indirekt mit der Ausbringung von Gülle auf Landwirtschaftsflächen, wo sie durch Niederschläge mobilisiert und schliesslich in Gewässer und Grundwasser eingetragen werden (z.B. Nitrat).
Zunahme von Freizeitinfrastruktur und Freizeitaktivitäten in und an Gewässern	Von Sportplätzen und Freizeitanlagen (z.B. Pflanzenschutzmittel) an Gewässern sowie von Freizeitaktivitäten im Wasser (z.B. UV-Filter von Sonnencreme, Biozide von Schiffsoberflächen) gelangen Stoffe in Oberflächengewässer.

### Transfer

Die Schülerinnen und Schüler wenden das Gelernte bei der Beurteilung der aufgeführten Massnahmen für eine zukunftsorientierte Trinkwasserversorgung in ihrem Lebensraum an und entwickeln ihre Kenntnisse weiter.

Lösungsvorschlag:

Monitoring:

- Monitoring der Wasserqualität in Oberflächengewässern und im Grundwasser
  - Kann das Bewusstsein in Bevölkerung, Politik und Wirtschaft für die Wasserqualität schärfen.
  - Ermöglicht es, auf festgestellte Verunreinigungen rasch zu reagieren.
- Register zu sämtlichen Chemikalien in Produkten und Produktionsprozessen
  - Daten über umweltrelevante Stoffe und deren Verbreitung erheben, z.B. ist unbekannt, welche Pflanzenschutzmittel in welchen Mengen auf welchen Flächen eingesetzt wurden. Die Vollzugsbehörden erkennen, auf welche Stoffe sie das Grundwasser untersuchen müssen.
- verdrängte Grundwasserfassungen erfassen
  - Kann das Bewusstsein bei Entscheidungsträgern im Umgang mit Trinkwasserfassungen fördern und zu einem nachhaltigeren Umgang mit dieser begrenzten Ressource führen (vgl. Massnahmen «Stärkung der rechtlichen Stellung des Grund- und Trinkwasserschutzes»).

Raumplanerische Massnahmen:

- Stärkung der rechtlichen Stellung des Grund- und Trinkwasserschutzes
  - Wahrnehmungsdefizite in Öffentlichkeit, Politik und Wirtschaft führen dazu, dass bei Überbauungsprojekten wirtschaftliche Interessen dominieren und der Trinkwasserschutz zu wenig berücksichtigt wird. In diesem Sinn kommt dieser Massnahme eine grosse Bedeutung zu.
  - Solche Massnahmen sind allerdings nur wirksam, wenn sie rechtlich verbindlich sind.
- Revitalisierung von Moor- und Gewässerlandschaften
  - Revitalisierungen verbessern die Wasser- und Gewässerqualität, erhöhen die Artenvielfalt und können die Hochwassergefahr und hohe Schäden vermindern.

- Der Verlust von Landwirtschaftsflächen erschwert die Umsetzung. Allerdings vermindert sich für die Landwirtschaft dadurch die gesamtlandwirtschaftliche Produktion kaum, da «nur» 6 Prozent der Landwirtschaftsflächen in Gewässerzonen liegen. Einzelne Bauernbetriebe können jedoch von grösseren Landeibussen betroffen sein.

#### Massnahmen der Minderung:

Diffuse Stoffeinträge in Oberflächengewässer und Grundwasser aus Landwirtschaft und Verkehr sowie aus undichten und bei Regen überlasteten Kanalisationen sind schwierig zu begrenzen. Hier sind vor allem Minderungsmassnahmen an der Quelle der Verschmutzung wirksam.

- **Freiwillige Vereinbarungen**
  - Mikroverunreinigungen können an der Quelle vermindert werden.
  - Unternehmen können drohende staatliche Eingriffe (z.B. Gesetze, Verbote) abwenden und ein Label oder Zertifizierung zur Auszeichnung für ihr Engagement erlangen.
- **Wirtschaftliche Anreize**
  - In der Landwirtschaft, aber auch in anderen Branchen kann über Subventionen oder Steuererleichterungen wasserschonendes Verhalten gefördert werden.
- **Verbote, Vorschriften und Grenzwerte**
  - Stoffeinträge in Gewässer werden vermindert. Für alle Wassernutzenden gelten die gleichen Vorgaben (z.B. Landwirtschaft, Industrie, Tourismus, Haushaltungen).
  - Grundwasser muss so geschützt sein, dass es langfristig und ohne weitergehende Aufbereitung als Trinkwasser dienen kann (Vorsorgeprinzip).
  - In Grundwasserschutzzonen gelten bereits heute Vorschriften, die den landwirtschaftlichen Eintrag von Pestiziden, Mikroorganismen und Nährstoffen in die Trinkwasserfassung begrenzen sollen. Auch im Uferbereich von Oberflächengewässern gelten Nutzungseinschränkungen (z.B. landwirtschaftlicher Pestizideinsatz) und eingeleitetes Abwasser aus Siedlungen muss in ARAs gereinigt werden. Die nationalen **Monitoring**-Programme der Oberflächengewässerqualität (NADUF und NAWA) und von Qualität und Quantität des Grundwassers (NAQUA) zeigen jedoch, dass diese gesetzlichen Vorgaben nicht ausreichen, bzw. nicht konsequent umgesetzt werden.

#### Massnahmen der Anpassung:

- **Abwasserreinigungsanlagen (ARA)**
  - ARAs haben durch die nahezu flächendeckende Behandlung des häuslichen und industriellen Abwassers die Qualität der Oberflächengewässer in den letzten Jahrzehnten stark verbessert.
  - Mit zusätzlichen Reinigungsstufen kann der Eintrag von Mikroverunreinigungen über Kläranlagen in Flüsse nochmals vermindert werden und auch die Qualität etwa des flusswasserangereicherten Grund- und Trinkwassers weiter verbessert werden. Die Aufrüstung von 130 grossen Kläranlagen ist bis ins Jahr 2040 geplant.
- **Urbaner Oberflächenabfluss**
  - Regenwasser und Oberflächenabfluss sollten in Siedlungen möglichst im Boden versickern können oder zurückgehalten werden, um eine Überlastung der Kanalisation und ARA bei Starkniederschlag zu vermeiden.
- **Überregionale Verteilung aus ergiebigen Grundwasservorkommen**
  - Kann die Trinkwasserversorgung in Ballungsgebieten sichern, wo Grundwasser nicht gesetzeskonform gefasst werden kann.
  - Die Infrastrukturkosten hierfür sind hoch und im Mittelland sind solche Grundwasservorkommen vielfach nicht ausreichend vorhanden.
- **Trinkwasserversorgungen grossräumig vernetzen**
  - Regionen können so die ausreichende Versorgung mit Trinkwasser in guter Qualität sicherstellen. Bei der Schliessung von Trinkwasserfassungen wird diese Massnahme in der Schweiz am häufigsten erwogen.
- **Aufbereitung des Trinkwassers**
  - Filterung und Reinigung von gefasstem Grund- und Seewasser bezüglich bestimmten Verunreinigungen weiterentwickeln (z.B. Filter gegen Chloroethanonil).



## Wasser gestalten

### Leitendes Lernziel

Die Lernenden sollen ein Bewusstsein dafür entwickeln, wie weit sich die Schweizer Gewässer von ihrem natürlichen Zustand entfernt haben. So sind Fließgewässer heute über weite Strecken deutlich sichtbar verändert durch Begradigungen, Kanalisierungen, Eindolungen und inzwischen auch durch Renaturierungen (Abb. 1–3). All diese Veränderungen zeigen einerseits, welche Gewässerfunktionen für die Menschen wichtig waren (Tab. 1). Andererseits wird auch deutlich, welche ökologischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Gewässerfunktionen sich durch diese Eingriffe verändert haben (Abb. 10). Mit diesen Kenntnissen sollen die Lernenden den aktuellen Zustand eines Gewässers im eigenen Lebensraum beurteilen und Zukunftsvisionen für den Umgang mit Gewässern in der Schweiz entwickeln.

### Fokus

Die Lernenden analysieren die Veränderungen im Gewässerraum der Schweiz während der letzten 300 Jahre mithilfe der Medien im gedruckten und elektronischen Lernmedium und halten mögliche Hintergründe (Ziele) sowie Auswirkungen mit Bezug zu Gewässerfunktionen fest.

### Wissen

Die Ergebnisse der eigenen Analyse aus der Phase Fokus werden überprüft anhand des Fachwissens in «Wissen» und «Transfer» zu Eingriffen in den Gewässerraum der Schweiz in den vergangenen 300 Jahren sowie zu deren Hintergründen und Auswirkungen. Die Texte und Medien in «Wissen» und «Transfer» können zu folgender Lösung führen:

	vor 1850	1850 bis 1980	seit 1980
Eingriffe in den Gewässerraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewässerkorrekturen durch Flussumleitung (z.B. Kander) und Flussregulierung kombiniert mit Entwässerung von Feuchtgebieten (z.B. Linthkorrektur)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewässerkorrektur durch Begradigung und Kanalisierung der Flüsse (z.B. Rhein, Linth, Reuss, Aare und Rhone)</li> <li>• Bau von Wasserkraftanlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revitalisierung</li> <li>• Gerinneaufweitung</li> <li>• Sanierung Wasserkraftanlagen (Fischgängigkeit, Restwassermengen, Schwall- und Sunkabfluss)</li> </ul>
Ziel der Eingriffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flussläufe begradigen, um Abflussmenge und Geschiebetransport zu erhöhen und so Ablagerungen von Lockermaterial in flacheren Gebieten zu verringern und das Überschwemmungsrisiko zu reduzieren</li> <li>• flussnahe Feuchtgebiete trockenlegen, um Malariaausbrüche zu vermindern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menschen und Güter vor Hochwasser schützen</li> <li>• flussnahe Feuchtgebiete im Mittelland und in alpinen Tälern trockenlegen, um so Land für Landwirtschaft, Industrie und Siedlungsbau zu gewinnen</li> <li>• Wasserkraftnutzung</li> </ul>	Verbesserung von: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochwasserschutz</li> <li>• Artenvielfalt</li> <li>• Wohnqualität und Erholungsraum</li> <li>• Trinkwasserqualität</li> <li>• Verdunstungskühlung</li> <li>• Resilienz der Gewässer</li> <li>• Vielfalt der Flusslandschaften</li> </ul>
Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landgewinn für Landwirtschaft und Siedlungen</li> <li>• Verlust von Flussschleifen, Teichen und Feuchtgebieten</li> <li>• Beeinträchtigung der Gewässerfunktionen: Lebensraum für Pflanzen und Tiere</li> <li>• Förderung der Gewässerfunktionen: Energielieferant und Transportweg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insgesamt reduzierte Hochwassergefahr wegen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Begradigung, die zu höherer Fließgeschwindigkeit und dadurch erhöhtem Geschiebetransport und weniger Ablagerungen führt</li> <li>• durch verbaute Ufer geringere Ufererosion</li> <li>• Absenkung der Flusssohle, durch hö-</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung von:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochwasserschutz wegen zusätzlicher Gewässerräume, die Hochwasserspitzen abschwächen, Fließgeschwindigkeiten reduzieren und Wassermassen zurückhalten</li> <li>• Artenvielfalt (Biodiversität) wegen vielfältigen Lebensräumen und weniger stark erwärmtem Wasser</li> </ul> </li> </ul>

	vor 1850	1850 bis 1980	seit 1980
Auswirkungen		<p>here Fliessgeschwindigkeit und dadurch höhere Tiefenerosion, dies führt zu Grundwasserabsenkung und Unterspülung von Brückenpfeilern und Uferverbauungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beeinträchtigung der Gewässerfunktionen: Lebensraum für Pflanzen und Tiere, Trinkwasserfunktion, Transportweg, Fischerei</li> <li>• Förderung der Gewässerfunktionen: Energielieferant</li> </ul>	<p>an schattigen Ufern</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wohnqualität und Erholungsgebieten (Lebensqualität), weil attraktive Gewässerlandschaften für Freizeitaktivitäten (z.B. Spazieren, Baden, Fischen, Tierbeobachtung) entstehen</li> <li>• Trinkwasserversorgung, wegen verbesserter Wasserinfiltration und -reinigung in Boden- und Grundwasser</li> <li>• Verdunstungskühlung, durch offene Wasserflächen, v.a. in klimabedingt wärmeren Siedlungen</li> <li>• Resilienz der Gewässer, da sich Gewässerökosysteme an Veränderungen besser anpassen können (z.B. Klimawandel, Überflutungsflächen für Hochwasser, menschliche Nutzung, Nischen für Wasserlebewesen)</li> <li>• Beeinträchtigung der Gewässerfunktionen: Transportweg, Energielieferant</li> </ul>

In den kommenden Jahrzehnten ist bei der Umsetzung der drei Massnahmen Revitalisierung, Gerinneaufweitung und Sanierung der Wasserkraftanlagen (revidiertes Gewässerschutzgesetz des Bundes vom 1.1.2011) eine partizipative Aushandlung von Interessen vor Ort zwischen Gewässerschutz, Hochwasserschutz, Biodiversität, Landwirtschaft, Siedlungsentwicklung und Energiepolitik wichtig, um Synergien zu finden und die Veränderungen des Gewässerraumes gesellschaftlich, ökologisch und wirtschaftlich nachhaltig auszugestalten.

### Transfer

Die Lernenden wenden das Gelernte zukunftsorientiert in ihrem Lebensraum an, indem sie einen Gewässerraum bezüglich den Gewässerfunktionen beurteilen. Dazu führen sie eine Geländebegehung durch und halten ihre Beobachtungen zu Gewässerfunktionen mit Fotos fest. Bei dieser Analyse kann auch die frühere Situation des Gewässerraums mit der heutigen verglichen werden mit Hilfe einer Internetrecherche (z.B. historische Berichte, Bilder, Karten) oder mit einer Spurensuche zu Veränderungen direkt am Gewässer.

Mit diesen Arbeiten kann die heutige Gewässersituation einerseits wasserbaulich in die letzten rund 200 Jahre eingeordnet werden (z.B. Kanalisierung, Landgewinnung) und andererseits der Wandel der Gewässerfunktionen im eigenen Lebensraum vertieft werden (vgl. Abb. 7 im Themenblatt). So waren in Schweizer Städten die Gewässer bis ins Jahr 1850 wichtig als Schutz gegen aussen, als Transportweg, als Energielieferant, für Trinkwasser, für Brauchwasser, für die Fischerei und für die Entsorgung von Abfällen und Abwasser. Von 1850 bis 1980 dienten die Gewässer vorwiegend als Trink- und Brauchwasser, zur Entsorgung sowie als Energielieferant (z.B. Bau grosser Flusskraftwerke wie Aarekraftwerke Wynau 1895 und Beznau 1902, Hochrhein-Kraftwerk Augst-Wyhlen 1912, Rhein-Kraftwerk Kembs 1932). In den letzten 40 Jahren wurden dann die Gewässerfunktionen Erholungs-, Wohn- und Lebensqualität sowie Lebensraum für Pflanzen und Tiere wichtiger.

Bei der Einordnung der Ergebnisse können folgende Überlegungen leitend sein: «Wenn wir unseren Bächen, Flüssen und Seen Raum zur Verfügung stellen, wird der Handlungsspielraum zur Nutzung und zur Gestaltung der Gewässer für kommende Generationen erhalten. Auch können damit die natürlichen Funktionen und Leistungen der Gewässer langfristig wiederhergestellt und bewahrt bleiben. Ein ausreichend gros-

ser Gewässerraum verhindert keine künftigen Revitalisierungs- oder Hochwasserschutzprojekte. Als Wanderkorridore mit diversen Lebensräumen und als Grundgerüst für die ökologische Infrastruktur sind Gewässer für den Erhalt unserer biologischen Vielfalt und den Artenschutz von grosser Bedeutung. (...) Reservieren wir heute den minimalen Raum an den Gewässern, bleibt für die Zukunft vieles möglich.»

(aus: [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/dossiers/warum-brauchen-die-gewaesser-raum.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/dossiers/warum-brauchen-die-gewaesser-raum.html), 21.9.2021)