

Optionen und Maßnahmen



UniNETZ –
Universitäten und Nachhaltige
Entwicklungsziele

Österreichs Handlungsoptionen
zur Umsetzung
der UN-Agenda 2030
für eine lebenswerte Zukunft.

Verbesserter Grundwasserschutz durch bedarfsorientierte Forschung

06_08

Target 6.1, 6.3, 6.4, 6.6, 6a

Autor_innen:

Schubert, Gerhard (*Geologische Bundesanstalt*); Uhmann, Annett (*Geologische Bundesanstalt*); Stumpp, Christine (*Universität für Bodenkultur Wien*); Derx, Julia (*Technische Universität Wien*)

Inhalt

3		Tabellenverzeichnis
4	06_08.1	Ziele der Option
5	06_08.2	Hintergrund der Option
8	06_08.3	Optionenbeschreibung
8	06_08.3.1	Beschreibung der Option bzw. der zugehörigen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen
15	06_08.3.2	Erwartete Wirkungsweise
15	06_08.3.3	Bisherige Erfahrungen mit dieser Option oder ähnlichen
15	06_08.3.4	Zeithorizont der Wirksamkeit
15	06_08.3.5	Vergleich mit anderen Optionen, mit denen das Ziel erreicht werden kann
16	06_08.3.6	Interaktionen mit anderen SDGs
17		Literatur

Tabellenverzeichnis

- 14 **Tab. O_6-08_01:** Wirkung der Option 6_8 auf die Targets des SDG 6.
// **Tab. O_6-08_01:** Impact of option 6_8 on the SDG 6 targets.
- 16 **Tab. O_6-08_02:** Interaktionen der Option 6_8 mit anderen SDGs.
// **Tab. O_6-08_02:** Interactions of option 6_8 with other SDGs.

06_08.1 Ziele der Option

Ziel der Option 6_8 sind ein verbesserter Schutz sowie eine nachhaltigere Nutzung der Ressource Grundwasser durch bedarfsorientierte Forschung. Ein vertieftes Verständnis für die Beschaffenheit und Eigenschaften der Grundwasserüberdeckung und des Grundwasserleiters, sowie für die in der Sickerzone und im Grundwasser stattfindenden Strömungs- und Transportprozesse, das Stoffverhalten und für die Interaktion zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser können wesentlich zur Lösung der bestehenden Probleme beitragen.

Diese Option richtet sich an die wissenschaftlichen Fördereinrichtungen des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung und des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, sowie an weitere für den Umweltschutz und die Wasserwirtschaft relevante Fördereinrichtungen. Für diese sollen hier Anregungen gegeben werden, welche aktuellen Forschungsthemen für einen verbesserten Grundwasserschutz und damit auch einer nachhaltigeren Nutzung dienlich sind.

Die vorliegende Option zielt auf kein einzelnes Target im SDG 6 ab, sondern betrifft vor allem Teilaspekte folgender SDG 6-Targets:

- **Target 6.1:** bis 2030 den allgemeinen und gerechten Zugang zu einwandfreiem und bezahlbarem Trinkwasser für alle zu erreichen bzw. im Kontext zur Situation in Österreich, diesen zu erhalten;
- **Target 6.3:** bis 2030 die Wasserqualität durch Verringerung der Verschmutzung, Beendigung des Einbringens und Minimierung der Freisetzung gefährlicher Chemikalien und Stoffe, Halbierung des Anteils unbehandelten Abwassers und eine beträchtliche Steigerung der Wiederaufbereitung und gefahrlosen Wiederverwendung zu verbessern (z. B. durch die Berücksichtigung neuer Erkenntnisse bei der Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung unter speziellen naturräumlichen Gegebenheiten);
- **Target 6.4:** bis 2030 die Effizienz der Wassernutzung in allen Sektoren wesentlich zu steigern und eine nachhaltige Entnahme und Bereitstellung von Süßwasser zu gewährleisten um der Wasserknappheit zu begegnen;
- **Target 6.6:** bis 2020 wasserverbundene Ökosysteme zu schützen und wiederherzustellen, darunter Berge, Wälder, Feuchtgebiete, Flüsse, Grundwasserleiter und Seen;
- **Target 6a:** bis 2030 soll Österreich zusätzlich auch seine Rolle bei internationalen Zusammenarbeiten und bei der Unterstützung der Entwicklungsländer beim Kapazitätsaufbau für Aktivitäten und Programme im Bereich der Wasser- und Sanitärversorgung weiter ausbauen.

Darüber hinaus bezieht sich die Option u. a. auch auf folgende Targets anderer SDGs:

- **Target 3.9:** bis 2030 die Zahl der Erkrankungen aufgrund gefährlicher Chemikalien und der Verschmutzung und Verunreinigung von Wasser und Boden erheblich verringern;
- **Target 7.2:** bis 2030 den Anteil an erneuerbarer Energie im globalen Energiemix substanziell erhöhen;
- **Target 9.5:** die wissenschaftliche Forschung verbessern sowie die öffentlichen und privaten Ausgaben für Forschung und Entwicklung beträchtlich erhöhen;
- **Target 11.6:** bis 2030 die von den Städten ausgehende Umweltbelastung pro Kopf senken, unter anderem mit besonderer Aufmerksamkeit auf der Luftqualität und der kommunalen und sonstigen Abfallbehandlung;
- **Target 12.2:** bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung

- der natürlichen Ressourcen erreichen;
- **Target 13.1:** die Widerstandskraft und die Anpassungsfähigkeit gegenüber klimabedingten Gefahren in allen Ländern stärken;
 - **Target 13.3:** die Aufklärung und Sensibilisierung im Bereich der Klimaanpassung und der Reduzierung der Klimaauswirkungen verbessern;
 - **Target 15.1:** im Einklang mit den Verpflichtungen aus internationalen Übereinkünften die Erhaltung, Wiederherstellung und nachhaltige Nutzung der Land- und Binnensüßwasser-Ökosysteme und ihrer Dienstleistungen gewährleisten.

06_08.2 Hintergrund der Option

Grundwasser ist eine lebensnotwendige Ressource für Trinkwasserversorgung, Bewässerung, Viehwirtschaft, Industrie und Gewerbe (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), 2017). Darüber hinaus ist Grundwasser ein essenzieller Bestandteil vieler aquatischer und terrestrischer Ökosysteme. Grundwasser ist ein nachhaltiger Rohstoff, der durch in den geologischen Untergrund versickernde Niederschlags- und Oberflächenwässer neu gebildet und dort über einen längeren Zeitraum gespeichert wird.

In Österreich wird für die Trinkwasserversorgung ausschließlich Grundwasser und Quellwasser verwendet (Brandstetter & Payerl, 2018). Die Bedeutung des Grundwassers für die Bewässerung, vor allem die Entnahme aus Porengrundwasserkörpern entlang großer Flüsse, wird aufgrund klimatischer Veränderungen in Zukunft weiter zunehmen. Grundwasser ist hierzulande zudem auch für Mineral- und Tafelwasser, Heilquellen und Thermalbäder sowie für die geothermische Nutzung (Heizen und Kühlen) essenziell.

Die Quantität und Qualität der heimischen Grundwasserressourcen wird jedoch durch einige, wenn auch notwendige menschliche Aktivitäten gefährdet. Das betrifft die Landwirtschaft (Drainagierung, Bewässerung, Düngung, Pestizide), große Infrastrukturbauten wie Verkehrswege und Flusskraftwerke (Eingriffe in den Grundwasserhaushalt durch Entwässerung und Unterbrechung des Grundwasserstroms), die Abwasser- und Abfallwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Erdwärmennutzungen, Bergbau (Grubengebäude, Halden, Kohlenwasserstoffbohrungen etc.) sowie die tiefe Geothermie bzw. Thermalwassernutzung (Formationswässer). Details zu den meisten der genannten Eingriffe, getrennt nach Quantität und Qualität, können dem *Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan* (NGP) entnommen werden (BMLFUW, 2006a).

Eine besondere Herausforderung stellen der Klimawandel und die sich damit ändernden Niederschlags- und Abflussverhältnisse dar. Laut aktueller Studien ist in Österreich eine Zunahme an Starkregen, eine Verschärfung der Hochwasserproblematik sowie eine Abnahme der Grundwasserneubildung vor allem in niederschlagsarmen Regionen im Osten und Süden Österreichs zu erwarten (Blöschl et al., 2017). Es ist zudem abzusehen, dass die Dauer von Dürreperioden in der Alpenregion zunehmen wird (Haslinger, Schöner & Anders, 2016). Diese Faktoren beeinflussen die Quantität und Qualität des Grundwassers.

Nicht zuletzt werden aufgrund der Herausforderungen des Klimawandels die in größerer Tiefe vorliegenden Grundwasserressourcen zunehmend interessant. Diese sind kaum vom Klima abhängig und weisen aufgrund der langen Verweilzeit im Untergrund einen guten natürlichen Schutz vor Verunreinigungen auf. Solche für die Trinkwassernotversorgung geeigneten Tiefengrund-

wässer sind aber in einigen Gebieten nicht ausreichend untersucht und es gibt hier in Hinblick auf eine mögliche Nutzung noch starken Forschungsbedarf (Schubert, Philippitsch, Berka, Finger & Schuster, 2015). Dasselbe gilt auch für die Thermalwässer in den tiefen Sedimentbecken, die in dafür geeigneten geologischen Strukturen nicht nur für Badezwecke, sondern vor allem auch als nachhaltige Energiequelle für die Fernwärme verwendet werden können (Elster et al., 2018).

In Österreich hat die Wasserwirtschaft eine lange Tradition. Es gibt gesetzlich klar definierte Vorgaben und entsprechende Instrumente zur Überwachung der Grundwasserquantität und -qualität. Der Schutz des Grundwassers vor negativen Beeinträchtigungen sowie seine nachhaltige Nutzung werden im *Wasserrechtsgesetz 1959* in der geltenden Fassung (WRG, 1959) geregelt. Die Überwachung des chemischen und mengenmäßigen Zustandes von Grundwasser erfolgt im Rahmen der *Gewässerzustandsüberwachungsverordnung* (BMLFUW, 2006b). Die Erhebung des Wasserkreislaufes und der Wassergüte wird im Rahmen der *Wasserkreislaufferhebungsverordnung* (BMLFUW, 2006a) vollzogen. Die hygienischen Anforderungen an die Beschaffenheit des Trinkwassers sind in der *Trinkwasserverordnung* (Bundesministerium für soziale Sicherheit und Generationen (BMSG), 2001) geregelt und in Kapitel B1 des *Österreichischen Lebensmittelbuches (B1 Trinkwasser, 2007)* präzisiert. Das Monitoring des Bodenwassers ist ebenfalls in der *Wasserkreislaufferhebungsverordnung* (BMLFUW, 2006a) verankert. Im *Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan* (NGP) wird alle sechs Jahre der Zustand der Oberflächen-, Grund- und Quellwässer ausgewertet und Maßnahmen vorgeschrieben. Der NGP wird vom BMLRT im Internet veröffentlicht, der aktuellste (Stand Oktober 2021) bezieht sich auf das Jahr 2015 (BMLFUW, 2017).

Die Umweltstandards und auch die Qualität des Grundwassers sind in Österreich global betrachtet vergleichsweise hoch. Dennoch gibt es Regionen mit momentanen Problemen und zukünftigen Herausforderungen. Vor allem im Osten des Bundesgebietes weisen große, landwirtschaftlich genutzte Gebiete erhebliche Nitratbelastungen auf (BMLFUW, 2017). Ebenso stellen die vor allem in der Landwirtschaft eingesetzten Pestizide eine große Herausforderung für den Grundwasserschutz dar (*Umweltbundesamt* (UBA), 2016). In den letzten Jahren sind zudem weltweit und auch in Österreich im Grundwasser diverse neuartige Spurenschadstoffe (Zoboli et al., 2019) sowie im Grundwasser gelöste Elemente, wie Arsen, Uran, Fluor und Antimon in den Fokus gerückt. Diese können bei der Trinkwasserversorgung ebenfalls Probleme bereiten. Die genannten Elemente sind hauptsächlich geogener Natur, können aber auch aus anthropogenen Verunreinigungen stammen. Um die Ursachen zu klären, besteht hier noch ein erheblicher Forschungsbedarf. Ihretwegen mussten einige Wasserwerke gesperrt bzw. Trinkwasser teuer aufbereitet werden. In den Berichten „Metalle im Grundwasser“ (Loiskandl-Weisz et al., 2012) und „Uran im Grundwasser“ (Humer et al., 2019) sind die betroffenen Gebiete dargestellt. Für Spurenschadstoffe (z. B. Pharmazeutika, Substanzen aus Kosmetika und *Life-Style*-Produkten) ist noch wenig über das Transportverhalten und Vorkommen dieser Stoffe sowie deren Auswirkung auf die menschliche Gesundheit bekannt (Lapworth, Baran, Stuart & Ward, 2012). Ein besseres Grundlagenwissen wäre im Hinblick auf die Entwicklung gesetzlicher Vorgaben entscheidend (z. B. für die Bestimmung von Grenzwerten im Grundwasser).

Im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (*Europäisches Parlament* (EP) & *Rat der Europäischen Union* (ER), 2000) wurden seitens der Bundesländer für die einzelnen Grundwasserkörper eingehende 'Erstmalige Beschreibungen' erstellt. Diese sind – soweit es die 'Hydrogeologische Charakterisierung' betrifft – zum gegenwärtigen Zeitpunkt unter-

schiedlich gestaltet, was auf die regional unterschiedliche Datenlage zurückzuführen ist. Die Option 6_8 kann dazu beitragen, Kenntnislücken bei den heimischen Grundwasserkörpern zu schließen und eine ausgewogene Daten- und Informationslage für das gesamte Bundesgebiet herzustellen.

Der Schutz von Wasserressourcen beruht im Sinne der WHO-Trinkwasserrichtlinie auf einem gesamtheitlichen Ansatz, der vom Ort der Verunreinigung bis zum Ort der Nutzung reicht (*World Health Organization* (WHO), 2017). Für die Umsetzung eines Wassersicherheitsplans ist auf die Einhaltung gesundheitsbasierter Qualitätsziele zu achten. Zusätzlich ist in der WRRL (EP & ER, 2000) und der *Grundwasserdirektive* (EP & ER, 2006) verankert, dass Grundwasserschutz auch ökologische Aspekte beinhaltet und grundwasserabhängige Ökosysteme mit einbezogen werden müssen. Um die Gesundheit des Menschen und der Ökosysteme zu schützen und die Ziele eines gesamtheitlichen Grundwasserschutzes umzusetzen, ist ein umfassendes Systemverständnis der Strömungs- und Transportprozesse in der ungesättigten Zone und im Grundwasser, auch im Nahbereich der Vorfluter, notwendig. Dieses Prozessverständnis ist ebenso wesentlicher Bestandteil bei der Implementierung der Grundwasserdirektive auf nationaler Ebene, um die intrinsische und spezifische Vulnerabilität von Grundwasser und grundwasserabhängiger Ökosysteme abzuschätzen (Stumpp et al., 2016; Wachniew et al., 2016).

Die offenen Forschungsfragen erfordern eine interdisziplinäre Herangehensweise aus verschiedenen Fachgebieten, wie z. B. der Hydrogeologie, Bodenphysik, Hydrologie, Mikro- und Molekularbiologie, Chemie, etc. Zielgerichtete Monitoring-Programme entlang des gesamten Sicker- und Fließwegs des unterirdischen Wassers werden benötigt. Aufbauend auf Messdaten können numerische Modelle entwickelt werden, welche es ermöglichen, die Strömungs- und Transportprozesse besser zu verstehen. Diese werden benötigt um (i) Zeitskalen des Transportes und somit auch Zeithorizonte möglicher Auswirkungen der Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen (Stumpp et al., 2016; Wachniew et al., 2016), (ii) die Auswirkungen zukünftiger Veränderungen z. B. aufgrund des Klimawandels auf die Grundwasserquantität und -qualität abzuschätzen und (iii) notwendige Maßnahmen aus den Ergebnissen abzuleiten, um Grundwasser und damit die menschliche Gesundheit und Ökosysteme zu schützen (Derx et al., 2016). Diese Informationen unterstützen die Wasserbewirtschaftung bei der Planung notwendiger Maßnahmen, um eine sichere und nachhaltige Nutzung der Grundwasserressourcen langfristig zu gewährleisten.

Daher ist auch in Österreich ein vertieftes Wissen der Ressource Grundwasser in Hinblick auf die Targets des SDG 6 zwingend notwendig, um diese und die von ihr abhängigen Ökosysteme bestmöglich und langfristig zu schützen und das Grundwasser auch nachhaltig zu bewirtschaften. Die Öffentlichkeitsarbeit spielt in diesem Zusammenhang ebenso eine wichtige Rolle. Die Forschungsergebnisse sollten im Rahmen der Umweltbildung zum Einsatz kommen, um in der Bevölkerung das Bewusstsein für die Wichtigkeit der Einhaltung und Verbesserung des Grundwasserschutzes zu verstärken und ihre Mithilfe zu gewinnen.

06_08.3 Optionenbeschreibung

06_08.3.1 Beschreibung der Option bzw. der zugehörigen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen

„Grundwasser ist der am weitesten verbreitete und meist genutzte Rohstoff“ (Himmelsbach & Reichling, o. J.). In Österreich erfolgt die Trinkwasserversorgung ausschließlich mit Grund- bzw. Quellwasser. In vielen heimischen Gebieten ist auch eine Landwirtschaft ohne Bewässerung mit Grundwasser nicht mehr denkbar – das trifft insbesondere auf die großen Ebenen entlang der Donau und der Mur zu (Almer, Elster, Steinbichler & Schubert, 2019). Grundwasser wird aber auch für andere Zwecke genutzt – man denke an Mineralwasser und Heilquellen oder Fernheizung mit Thermalwasser. Die Option 6_8, deren Ziel der verbesserte Grundwasserschutz ist, zeigt den diesbezüglichen aktuellen Forschungsbedarf auf. Folgende Aspekte sind bei der Erforschung des unterirdischen Wassers zu berücksichtigen:

- der geologische Aufbau und die damit verbundenen hydraulischen und geochemischen Eigenschaften des Untergrunds sind insbesondere bei tiefen Grundwässern von großer Bedeutung;
- die mineralogische Zusammensetzung der durchströmten Sedimente bzw. des Gesteins in Hinblick auf die Löslichkeit von Mineralen ist für die Bewertung der Verfügbarkeit von Spurenelementen entscheidend. Beispielsweise können metallhaltige Mikromineralen mittels Elektronenmikroskop oder Elektronen-Mikrosonde oder durch sequentielles *Leaching* des Grundwasserleiters näher untersucht werden (Humer et al., 2019);
- sehr wichtige Faktoren bei der Untersuchung eines Grundwassersystems bilden der Wasserhaushalt bzw. die hydrologische Bilanz (Niederschlag, Verdunstung, Grundwasserneubildung, Wasserspeicherung, Wasserentnahme, Abfluss) sowie Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktionen;
- Erstellung konzeptioneller (hydrogeologischer) Modelle sowie numerischer oder analytischer Strömungs- und Transportmodelle zur ungesättigten (vadosen) und zur gesättigten (phreatischen) Zone (Grundwasser);
- ebenso stellen die Strömungs- und Transportprozesse im unterirdischen Wasser einen wichtigen Aspekt dar – sowohl in der ungesättigten Zone als auch im Grundwasser: der reaktive Stofftransport, d. h. die chemische Wechselwirkung zwischen Substrat und unterirdischem Wasser, der Transport chemischer und mikrobiologischer Schadstoffe unter der Berücksichtigung biogeochemischer Prozesse (z. B. Denitrifikation, Sulfatreduktion), der Transport von Pestiziden, Plastik, aufkommenden Spurenschadstoffen (*Emerging Contaminants*), Pathogenen (Viren, Bakterien, Protozoen), biogeochemische Stoffkreisläufe, der zusätzliche Einfluss von Stoffgemischen, Eintrag und Transport atmosphärischer Deposition ubiquitärer Stoffe und Auswirkung der Stoffe/Stoffgemische auf die Grundwasserqualität und die menschliche Gesundheit, das Selbstreinigungspotential sowie die Interaktion mit dem Oberflächengewässer;
- die Quellenidentifikation von chemischen und mikrobiellen Belastungen im Grundwasser, (anthropogene, zoonotische und geogene Belastungen) insbesondere auch diffuse Einträge und Stoffe mit Relevanz, die sich aus den diversen, die Hygiene betreffenden Regelwerken (z. B. EU-Wasserrahmenrichtlinie, Trinkwasserverordnung, Badegewässer) ergibt;
- die Beobachtung natürlicher *Tracer* (Umweltisotope, Hydrochemie, Temperatur) und Nutzung neuer *Tracer* (*environmental DNA*), der Einsatz künstlicher *Tracer*

- bei Markierungsversuchen und Entwicklung von Surrogaten als *Tracer* für Pathogene zur Untersuchung der Fließ- und Transporteigenschaften;
- Untersuchung des Einflusses globaler Veränderungen auf die Quantität und Qualität von Grundwasserressourcen und auf den notwendigen Schutz der menschlichen Gesundheit und grundwasserabhängiger Ökosysteme;
- Entwicklung von Bewertungskriterien und Berücksichtigung des ökologischen Status von Grundwasser, Schutz des Grundwassers als Ökosystem und Untersuchungen zu Ökosystemdienstleistungen durch Mikroorganismen und Grundwasserfauna;
- Entwicklung standardisierter Methoden zur Abschätzung und Bewertung der intrinsischen und spezifischen Vulnerabilität von Grundwasserkörpern basierend auf objektiven Merkmalen.

Um diese Aspekte zu bearbeiten ist eine verstärkte Kooperation und Informationsaustausch zwischen den einschlägigen Fachdisziplinen und Forschungseinrichtungen notwendig – insbesondere zwischen den Fächern Klimatologie, Hydrologie, Hydrogeologie, Geologie, Bodenkunde, Bodenphysik, Chemie, Biologie, Wasserbau und Landwirtschaft. Dies erfordert gezielte Fördermaßnahmen für kooperative, inter- und transdisziplinäre Projekte im Bereich Grundwasserschutz.

Ein wichtiger Punkt ist darüber hinaus die Einbindung der Stakeholder_innen und Entscheidungsträger_innen. Dies soll sicherstellen, dass sich die Grundwasserforschung am aktuellen Bedarf orientiert. Zudem ist eine Intensivierung der Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Grundwasser notwendig, um die Ergebnisse einem breiteren Publikum, auch Schulen (vgl. SDG 4), zugänglich zu machen. Von Vorteil sind thematische Ausschreibungen und *Clustering* von Einzelprojekten, wie zum Beispiel das Themencluster ‚Grundwasser‘ im Rahmen des ÖAW-Programms „*Earth System Sciences – Wasser in Gebirgsräumen*“ (Birk, Bahn, Schiller & Stumpp, 2020).

Im Folgenden wird als Maßnahme die Förderung jener Themenfelder und zum Teil auch beispielhaft konkrete Forschungsvorhaben vorgeschlagen, wo aus aktueller Sicht der Geowissenschaften die größte Notwendigkeit besteht. Bei der Umsetzung sollen die oben genannten Teilaspekte berücksichtigt werden. Im Rahmen der folgenden Maßnahmen sollen a) die notwendige Methodenentwicklung vorangetrieben und b) relevante Fallbeispiele untersucht werden.

- **Studien zum vorausschauenden Grundwasserschutz:** Diese sollen die Auswirkung der zu erwartenden klimatischen Veränderungen auf die Grundwassermenge und -qualität und die menschliche Gesundheit erfassen (Abnahme der Grundwasserneubildung aufgrund der geänderten Niederschlags- und Schneeverhältnisse, im Hochgebirge auch aufgrund des Gletscherschwundes, Absenkung des Grundwasserspiegels, erhöhter Bedarf für die Bewässerung in wasserärmeren Regionen und für die Beschneigung in Schigebieten, bei Starkniederschlägen Verlust an Filterfunktionen durch präferentielle Fließwege und vermehrter Eintrag von Kontaminationen ins Grundwasser, punktuelle Grundwasserneubildung durch künstliche Versickerung), Prognose-Tools für unterschiedliche Skalen entwickeln (Modellentwicklung, generelles Prozessverständnis; Koppelung von hydrologischen Modellen mit sozioökologischen und sozioökonomischen Ansätzen; Einbindung von Stresstests und Szenarien);
- **Ausbau des Bodenwasser- und Sickerwasser-Monitoring:** Für ein solches gibt es in der *Wasserkreislaufferhebung* (WKEV) seit 2006 bereits eine erste gesetzliche Vorgabe, die sich explizit auf die ungesättigte Zone bezieht. Bereits 1997 startete das BMLRT ein Bodenwasser-Monitoring (Fuchs et al., 2020), und

es werden an 14 Standorten in Österreich wichtige Wasserhaushaltsgrößen gemessen (Wassergehalt, Matrixpotential). Auch wenn die Anzahl der Standorte momentan ausgebaut wird, wird dabei nur ein kleiner Teil der vielfältigen Böden und Landnutzungen in Österreich abgedeckt. Vor allem auch die tiefere ungesättigte Zone oder qualitative Aspekte sind hier bisher nicht berücksichtigt und bedürfen in Zukunft einer stärkeren Schwerpunktsetzung. Die Skalierung von Punktinformationen auf flächenhafte Information zum Bodenwasserstatus könnte durch den Einsatz von satellitenbasierten Messmethoden ermöglicht werden, mit dem Fokus auf verbesserte Validierungs- und Unsicherheitsanalysen;

- **Methodenentwicklung und Regionalstudien zur intrinsischen Vulnerabilität von Karst-, Kluft- und Porenaquiferen als Grundlage für den Grundwasserschutz** (Untersuchung des Einzugsgebiets, der Fließwege, Fließzeiten, Wassermengen und Prozesse in der ungesättigten und gesättigten Zone)

Beispiel Methodenentwicklung zur Bestimmung der Verweilzeit in Porengrundwasserkörpern: Die Verweilzeit des Wassers ist ein wichtiger Parameter zur Beschreibung der intrinsischen Vulnerabilität von Grundwasserkörpern (Philippitsch et al., 2017; Wachniew et al., 2016). Gleichzeitig gibt die Verweilzeit Information über potentielle zeitliche Horizonte, in denen sich Maßnahmen zum Grundwasserschutz auswirken werden (Stumpp et al., 2016). Zur Bestimmung der Verweilzeiten werden meist *Tracer* und/oder mathematische Modelle herangezogen. Für Österreich wurde bisher an ausgewählten Grundwasserkörpern die mittlere Verweilzeit bestimmt (Philippitsch et al., 2017). Um aber die Vielzahl an unterschiedlichen Fließwegen zu berücksichtigen und das Grundwasser ganzheitlich zu schützen, ist die Kenntnis über die gesamte Verweilzeitverteilung des Wassers notwendig. Deswegen sollen Methoden entwickelt werden, um die gesamte Verweilzeitverteilung des Wassers zu bestimmen und die intrinsische Vulnerabilität der Grundwasserkörper in Österreich abschätzen zu können.

Beispiel Markierungsversuche in Karstgebieten: Die ausgedehnten Karststöcke in den österreichischen Alpen enthalten überaus ergiebige Wasserressourcen (Schubert, 2003). Vielfach werden diese für zentrale Wasserversorgungen genutzt. Zu manchen ausgedehnten Karststöcken, wie z. B. dem Toten Gebirge, liegen nur veraltete Markierungsversuche vor, deren Interpretation aus heutiger Sicht problematisch gesehen wird (Schönlaub & Daurer, 2001). Um hier das Karstwasser besser schützen zu können, wären dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Studien, inklusive *Tracerversuchen*, u. a. mit Fluoreszenzfarbstoffen, notwendig.

- **Quellenidentifizierung von diffusen Schadstoffen** in Hinblick auf Maßnahmen zur Reduktion des Eintrags ins Grundwasser (Uran, Nitrat, Spurenschadstoffe, Pathogene etc.) – insbesondere sei darauf hingewiesen, dass bei den Pathogenen auch Viren als wichtige Indikatoren herangezogen werden können.

Beispiel Seewinkel/Burgenland: Aufgrund der geringen Jahresniederschlagshöhe und der langen Verweilzeiten kommt es hier im Grundwasser zu einer starken Aufkonzentration z. B. von Uran. Die Konzentration dieses Metalls im Grundwasser überschreitet den Trinkwassergrenzwert an zahlreichen Messstellen um ein Vielfaches. Im *DaFNE-Projekt 'Uran im Grundwasser'* (Humer et al., 2019) wurde untersucht, ob dieser Umstand auf eine geogene Quelle zurückgeführt werden kann. Offen blieb hier die Frage, ob ein Verzicht auf uranhaltigen

Phosphatdünger zu einer Verbesserung der Situation führt. Zudem wird einer aktuellen Studie zufolge dieses Gebiet durch die Abnahme der Grundwasserneubildung in Zukunft besonders betroffen sein (Blöschl et al., 2017). Es sind gesamtheitliche Lösungsansätze gefordert, unter Berücksichtigung der Wasserversorgung und der Abwasserwirtschaft.

Beispiel Bewässerung mit Grundwasser:

Aufgrund der abnehmenden Niederschlagsmengen im Osten und Süden Österreichs muss in diesen Gegenden in Zukunft vermehrt bewässert werden, um landwirtschaftliche Erträge halten zu können (*Austrian Panel on Climate Change* (APCC), 2014). Die langfristigen Auswirkungen einer vermehrten Bewässerung auf Grundwasserqualität und -quantität sind in Österreich allerdings nur wenig erforscht. Es sollte geklärt werden, welche Bewässerungssysteme und Strategien sowie Bodenbearbeitungssysteme in diesen Regionen am besten geeignet sind, um einerseits ausreichende Erträge zu garantieren und andererseits das Grundwasser zu schützen. Basierend auf den Untersuchungsergebnissen zu Boden- und Aquifereigenschaften können Empfehlungen für eine bedarfsorientierte Bewässerung ausgearbeitet werden. Außerdem beeinflusst die Mengengabe und der Zeitpunkt unterschiedlicher Bewässerungssysteme den reaktiven Stofftransport. Es kann zu Versalzung und Änderungen im Nähr- und Schadstofftransport kommen, die näher untersucht werden sollten. Langfristige und vermehrte Entnahmen aus dem Grundwasser als wichtigste Wasserquelle für die Bewässerung können außerdem drastische Effekte auf die Wasserverfügbarkeit und Ökosysteme haben (de Graaf, Gleeson, van Rens Beek, Sutanudjaja & Bierkens, 2019), die für Österreich näher beleuchtet werden sollten.

Beispiel geogene Metallbelastungen im

Grundwasser: In bestimmten alpinen Regionen treten im Grundwasser gehäuft erhöhte Metallgehalte auf. Beispiele dafür sind die in Kärnten an vielen Orten über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung liegenden Arsenkonzentrationen, die im Bereich des Tauernfensters und der Öztaler Alpen erhöhten Urankonzentrationen oder die im Günser Gebirge gemessenen hohen Nickelwerte (Elster et al., 2018; Loiskandl-Weisz et al., 2012; Schubert et al., 2018). Die entsprechenden Prozesse in den betroffenen Grundwässern sind vielfach nicht untersucht. In Hinblick auf eine sichere Nutzung der Grund- bzw. Quellwässer in den betroffenen Regionen wäre ein besseres Verständnis der Ursachen notwendig (Mineralogie des Grundwasserleiters, Lösungsprozesse in den betroffenen Grundwasserleitern). Vielfach werden solche Quellwässer von Einzelwasserversorgungen genutzt, für die keine Trinkwasseranalyse vorgeschrieben ist.

Beispiel Abwässer von Berghütten und

Almen im Karstwasser: Aufgrund der vorwiegend kurzen Verweilzeit im Karst müssen in Regionen, in denen die Trinkwasserversorgung auf der Nutzung von Karstwasser basiert, tierische Fäkaleinträge oder die Versickerung von Abwässern unter allen Umständen verhindert werden. Basierend auf hydrogeologischen Aufnahmen und Markierungsversuchen sowie der Auswertung der Inhaltsstoffe im Grundwasser inklusive mikrobiologischer/biochemischer Untersuchungen (Savio et al., 2018) und numerischer Modellierung kann die Ursache für solche Belastungen herausgefunden werden.

- **Forschung zum Themenkreis Uferfiltrat und Renaturierung von Flüssen:** Uferfiltrat aus dem Grundwasserbegleitstrom von Flüssen ist weltweit eine wichtige Ressource für die Trinkwasserversorgung und für die Bewässerung. In Österreich stellen vor allem aber auch die Uferfiltratentnahmen der Industrie (Prozess- und Kühlwasser) quantitativ einen wesentlichen Anteil dar. Gleichzeitig haben die Auen- und Überschwemmungsgebiete wichtige ökologische Funktionen (z. B. Nationalpark Donauauen). Um die ökologische Funktionsfähigkeit sicherzustellen, werden Maßnahmen zum Uferrückbau und der Anbindung von Nebenarmen benötigt. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Austauschvorgänge zwischen Grund- und Fließgewässern und der Auswirkungen auf die Grundwasserqualität, -quantität und Ökologie. Das Ziel ist eine ausreichende Bodenpassage und Aufbereitung, um eine ausreichende Grundwasserqualität und sichere nachhaltige Nutzung von Grundwasser zu gewährleisten;
- **Erkundung der Thermalwasservorkommen in Hinblick auf den Grundwasserschutz und eine nachhaltige geothermische Nutzung:** In geeigneten Regionen kann Thermalwasser als eine CO₂-neutrale Energiequelle dienen. In Österreich betrifft das vor allem die Molassezone, das Wiener Becken und das Steirische Becken, aber auch im Bereich der Kalkalpen sind in größerer Tiefe heiße Wässer zu finden, die prinzipiell für die Fernwärmeversorgung geeignet sind (Elster et al., 2016).
Um diese Energiequelle nachhaltig nutzen zu können, ist eine hydrogeologische Erkundung nicht nur in Hinblick auf die Bewertung der Höffigkeit notwendig. Thermalwasser kann hoch mineralisiert sein und sogar organische Verbindungen beinhalten, wodurch benachbarte Grundwässer und Ökosysteme beeinträchtigt werden können. Es besteht auch die Gefahr einer quantitativen Beeinträchtigung von benachbarten Nutzungen (z. B. großräumige Druckabsenkung im Thermalgrundwasserkörper). Um diese zu vermeiden bzw. um entsprechende technische und gesetzliche Maßnahmen treffen zu können, sind eingehende hydrogeologische Forschungsstudien notwendig;
- **Regionalstudien hinsichtlich der nachhaltigen Nutzung von Tiefgrundwässern für die Trinkwassernotversorgung:** Tiefgrundwässer haben eine besondere Bedeutung für die Versorgungssicherheit mit Trinkwasser. Aufgrund ihrer langen Verweilzeit über zumindest Jahrzehnte bis viele Jahrtausende sind sie gut vor Verunreinigungen von der Erdoberfläche her geschützt und eignen sich für die Trinkwassernotversorgung im Fall eines atmosphärischen Ferneintrags einer Kontamination. Zudem ist diese Ressource unbeeinflusst von Dürreperioden und könnte dafür genutzt werden, einen vorübergehenden Wassermangel abzufedern. Für diesen Zweck müsste diese Ressource aber in jenen Regionen gezielt untersucht werden, wo dies bisher nicht geschah. Insbesondere betrifft das das Wiener Becken außerhalb Wiens und die Molassezone in Niederösterreich (Schubert et al., 2015). Hier sollten vorhandene Informationen ausgewertet und darauf aufbauend weitere Untergrunduntersuchungen durchgeführt werden.

**Potentielle Konflikte und Systemwiderstände
sowie Barrieren**

Österreich ist ein wasserreiches Land mit überwiegend guter Wasserqualität. Es gibt jedoch lokale Unterschiede und es gibt Grundwasserkörper, welche aufgrund der Landnutzung, der Grundwassernutzung

selbst und der naturräumlichen Gegebenheiten besonders vulnerabel sind. Zu diesen Gebieten zählen in erster Linie die trockenen Zonen im Osten des Bundesgebietes, aber auch die ausgedehnten Karstgebiete oder von Gletscherwasser abhängige Bereiche und schwierig erschließbare Grundwasservorkommen im Allgemeinen. Eine Herausforderung stellen hier insbesondere auch die zu erwartenden klimatischen Veränderungen dar. Für die angesprochenen Problemregionen besteht ein vertiefender Forschungsbedarf.

Systemwiderstand ist von Seiten der Landwirtschaft zu erwarten, wenn seitens der Wasserwirtschaft keine gemeinsam getragenen Lösungsansätze gesucht werden. Umsetzungsmöglichkeiten bieten hier beispielsweise effizientere Bewässerungsmethoden oder eine Umstellung bei der Düngung, Pflanzenschutz und Fruchtfolge.

Vor allem in kalkalpinen Bereichen können Abwässer von Almen, Berghütten und Bergstationen eine Belastung für das Grundwasser darstellen. Daher ist auch hier ein Systemwiderstand gegen den Grundwasserschutz zu erwarten.

Ein weiterer potenzieller Konflikt könnte auch in der Priorisierung der unterschiedlichen Forschungsthemen liegen, sofern diese sich nicht am Bedarf orientiert.

Transformationspotential

Die Umsetzung der Option 6_8 führt zu einem besseren Verständnis der Prozesse im Boden und im Grundwasser. Darauf aufbauend können Maßnahmen zur Verbesserung des Grundwasserschutzes sowie der Grundwasserqualität und -quantität ergriffen werden. Dies führt zu einem Mehrwert im Bereich der Grundwassernutzung und der vom Grundwasser abhängigen Ökosysteme. Die Maßnahmen der Option 6_8 werden letztendlich die nachhaltige Nutzung der Ressource Grundwasser verbessern – das betrifft Umwelt, Ökologie, Ökonomie und Soziales in allen Aspekten. Die Option besitzt damit ein großes Transformationspotential.

Umsetzungsanforderungen

Auf Grundlage der Forschungsergebnisse der oben gelisteten Themen können Maßnahmen zur Sicherstellung eines langfristigen guten Grundwasserzustands in Österreich getroffen werden. Gezielte Fördermaßnahmen sind unabdingbar, um die derzeit offenen Fragen zu lösen und einen verbesserten Grundwasserschutz zu ermöglichen. Eine verstärkte Förderung von inter- und transdisziplinären Projekten ist hier enorm wichtig.

Um die Option 6_8 umsetzen zu können, wären deutlich mehr Fördermöglichkeiten für Forschung im Themenschwerpunkt Grundwasser notwendig. Dies wäre durch spezifische Ausschreibungen im Rahmen der bestehenden Fördermöglichkeiten umsetzbar, sofern ein entsprechendes Budget dafür zur Verfügung gestellt wird.

Für ein hohes Transformationspotenzial ist neben dem Erreichen der wissenschaftlichen Ziele auch eine effektive Öffentlichkeitsarbeit notwendig. Insbesondere sind bei der Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse auch die Anliegen der Landwirtschaft und des Tourismus mit zu berücksichtigen, um eine breite Akzeptanz zu erzielen.

Target

Wirkung



6.1

Verbesserungen im Grundwasserschutz wirken sich direkt positiv auf die Quantität und Qualität des Trinkwassers aus, da in Österreich Trinkwasser aus Grundwasser gewonnen wird. Sicherstellung der Trinkwassernotversorgung im Fall eines atmosphärischen Ferneintrags einer Kontamination oder bei vorübergehendem Wassermangel durch Erforschung von Tiefengrundwässern



6.2

Beitrag zu Gesundheit und Hygiene durch verbesserte Wasserqualität



6.3

Verbesserte Kenntnisse zu hydraulischen Eigenschaften der Aquifere und ihrer Überdeckung sowie der Grundwasserneubildung sind eine Basis für Schutzmaßnahmen; die Option zielt hier auf Indikator 6.3.2



6.4

Grundwasserforschung liefert die Wissensgrundlage für eine nachhaltige Wasserentnahme und die Versorgung mit Frischwasser



6.5

IWRM (integriertes Wasserressourcenmanagement) benötigt das Wissen vieler Disziplinen, die Grundwasserforschung liefert dabei eine wesentliche Grundlage



6.6

Erhalt von wasserverbundenen Ökosystemen (Grundwasserleitern)



6.A

Vorbildwirkung für andere Länder. Unterstützung beispielsweise bei der Planung von landwirtschaftlicher Bewässerung mit von Abwasser beeinflussten Fließgewässern



6.B

Die Einbindung des lokalen Gemeinwesens erhöht das Transformationspotential der vorgeschlagenen Maßnahmen

Tab. O_6-08_01: Wirkung der Option 6_8 auf die Targets des SDG 6.

// Tab. O_6-08_01: Impact of option 6_8 on the SDG 6 targets.

06_08.3.2 Erwartete Wirkungsweise

Die Option 6_8 schlägt Forschungsthemen vor, die den Grundwasserschutz betreffen. Da sich die vorgeschlagenen Themen am aktuellen Bedarf orientieren sollen (Einbindung von Stakeholder_innen), ist zu erwarten, dass die Ergebnisse beim Umweltschutz und der Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser – und damit für das SDG 6 und seine Targets – einen wertvollen Beitrag liefern werden (Tab. O_6_08_01).

Für die vorgeschlagenen Forschungstätigkeiten müssten jedoch für jedes Projekt individuelle Indikatoren entwickelt werden, da die Ansätze sehr unterschiedlich sind. Die bestehenden UN-Indikatoren sind hier als Messgröße nur bedingt von Nutzen, da diese vielfach dafür zu allgemein gehalten sind. Die Indikatoren müssten im Rahmen von Projektausschreibungen mitgeliefert werden.

06_08.3.3 Bisherige Erfahrungen mit dieser Option oder ähnlichen Optionen

Als Vorbild für eine bedarfsorientierte Forschung könnte das *DaFNE*-Forschungsprogramm des BMLRT herangezogen werden. In diesem Forschungsprogramm werden jene Projekte, die einen gewissen finanziellen Rahmen überschreiten, im Rahmen einer Bund-Bundesländer-Kooperation durchgeführt. Die Länder, denen die Forschung zugutekommt, beteiligen sich dabei an der Finanzierung. Diese Vorgangsweise stellt sicher, dass für die beauftragten Forschungsprojekte tatsächlich ein Bedarf besteht.

06_08.3.4 Zeithorizont der Wirksamkeit Mittel- bis langfristig

Da die Durchführung einer einzelnen Studie etwa zwei bis drei Jahre in Anspruch nimmt, kann man bezüglich der Umsetzung der Ergebnisse im Grundwasserschutz von einem mittleren bis langen Zeithorizont ausgehen. Das in diversen Pilotgebieten gewonnene Prozessverständnis kann auf andere Gebiete mit vergleichbaren Herausforderungen im Grundwasserschutz und ähnlichen hydrogeologischen Gegebenheiten übertragen werden.

6_8.3.5 Vergleich mit anderen Optionen, mit denen das Ziel erreicht werden kann

Wechselwirkungen der Option 6_8 „*Verbesserter Grundwasserschutz durch bedarfsorientierte Forschung*“ bestehen insbesondere mit folgenden anderen Optionen:

- Option 6_4: „*Erhalt und Wiederherstellung der ökologischen Funktionen von Binnengewässern (inkl. Moore & Feuchtgebiete)*“;
- Option 6_5: „*Reduktion von diffusen Nährstoff- und Problemstoffeinträgen*“;
- Option 6_6: „*Reduktion von Spurenstoffen*“;
- Option 2_3: „*Verstärkte Förderung der Biologischen Landwirtschaft*“;
- Option 2_4: „*Ökologisierung der Grünlandbewirtschaftung*“;
- Option 3_16: „*Verbesserung des Wasserschutzes mit Fokus auf Agrarchemikalien*“;
- Option 11_9: „*Schutz der Umwelt bei abfallwirtschaftlichen Prozessen*“;
- Option 15_1: „*Ökologisierung der Landwirtschaft*“;
- Option 15_3: „*Ökologisierung der Landnutzung – Boden*“;
- Option 15_6: „*Schutz von Fließgewässern (Feuchtgebieten & Mooren) in den Ge-*

- birgen und Erhalt ökologisch wertvoller Lebensräume“;*
 – Option 15_10: „Neudenken des Bodenschutzes“.

06_08.3.6 Interaktionen mit anderen SDGs

Basierend auf dem Austausch zwischen verschiedenen SDG-Gruppen während der SDG-Karusselle, auf Einzelgesprächen sowie Diskussionsrunden während der *UniNEtZ* Gesamtveranstaltungen und der Einbindung von Stakeholder_innen konnten die folgenden Interaktionen zwischen der Option 6_8 und den anderen SDGs erarbeitet werden (Tab. O_6-08_02).

SDG	Interaktionen
	<p>2.4: Erkenntnisse der Grundwasserforschung tragen zur nachhaltigen Lebensmittelproduktion in der Landwirtschaft bei – eine nachhaltige Landwirtschaft wiederum verbessert die Bodenqualität und dient dem Grundwasserschutz und damit dem Zugang zu sauberem Trinkwasser.</p>
	<p>3.9: Erhaltung der Gesundheit durch Grundwasserschutz, da Trinkwasser aus dem Grundwasser gewonnen wird.</p>
	<p>4.7: Forschungsergebnisse im Bereich des Grundwassers und deren Verfügbarkeit für alle Lernenden liefern im Rahmen der Umweltbildung die Basis zur Bewusstseinsbildung für die Wichtigkeit der Einhaltung und Verbesserung des Grundwasserschutzes.</p>
	<p>7.2: Einerseits stellt Thermalwasser und auch Grundwasser eine Ressource dar, aus der CO₂-neutral Energie gewonnen werden kann. Andererseits ist bei der Erschließung von tiefer und seichter Geothermie und bei der Nutzung von Wasserkraft darauf zu achten, dass das Grundwasser nicht negativ beeinflusst wird.</p>
	<p>8.9: Nachhaltiger Tourismus trägt zum Grundwasserschutz bei, vor allem im Zusammenhang mit Wintertourismus (Beschneigung) und Wellness-Tourismus.</p>
	<p>9.1 und 9.4: Die Berücksichtigung des Grundwassers beim Aufbau nachhaltiger Infrastruktur und das bessere Verständnis der Grundwasserverhältnisse ermöglicht die Entschärfung von Konfliktsituationen.</p> <p>9.5: Die vorliegende Option trägt zur Verbesserung der wissenschaftlichen Forschung sowie zur Erhöhung der öffentlichen und privaten Ausgaben für Forschung und Entwicklung bei.</p>
	<p>Umweltschutz im Städtebau, z. B. Förderung von Grüner Infrastruktur und Entsiegelungsprojekte reduzieren die Problematik der verminderten Grundwasserneubildung in besiedelten Gebieten.</p> <p>11.6: Nachhaltige Abfallwirtschaft verhindert den Schadstoffeintrag aus Deponien und trägt so zum Grundwasserschutz bei.</p>

SDG



Interaktionen

12.2 und 12.4: Die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen unter Berücksichtigung des Grundwassers sowie die Verminderung von Abfallvorkommen und Beeinträchtigungen durch Deponien, Chemikalien und Bergbau tragen zum Grundwasserschutz bei. Genaue Kenntnisse des Untergrundes ermöglichen geeignete Schutzmaßnahmen.

13.1 und 13.3: Klimawandel, z. B. geringere Niederschläge, Starkregenereignisse und höhere Temperaturen beeinflussen die Grundwasserressourcen in Quantität durch geringere Grundwasserneubildung und Qualität, z. B. durch veränderte Verweilzeiten und damit veränderte Prozesse sowohl in den Deckschichten als auch im Aquifer und haben eine langfristige Auswirkung auf die Gletscherschmelze und damit auf Gebirgsaquifere.

15.1: Die vorliegende Option trägt zum Schutz von gewässerbezogenen Ökosystemen bei.

Durch Bereitstellung von Daten und Forschungsergebnissen werden Wassernutzungskonflikte verringert.

Tab. O_6-08_02: Interaktionen der Option 6_8 mit anderen SDGs.

// Tab. O_6-08_02: Interactions of option 6_8 with other SDGs.

Literatur

Almer, M., Elster, D., Steinbichler, A. & Schubert, G. (2019). Endbericht zu Projekt Wasserentnahmen Update und Basisdatenbeschaffung: Teilprojekt A. Aktualisierung der Wasserentnahmestellen 2018. unveröffentlichter Bericht. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT).

Austrian Panel on Climate Change (APCC). (2014). Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC). Wien: Verlag der Österreichische Akademie der Wissenschaften. ISBN: 978-3-7001-7699-2.

B1 Trinkwasser. BMGFJ-75210/0009-IV/B/7/2007 (2007). In Österreichisches Lebensmittelbuch (ÖLMB). <https://www.lebensmittelbuch.at/lebensmittelbuch/b-1-trinkwasser.html> [1.7.2021].

Birk, S., Bahn, M., Schiller, A. & Stumpp, C. (2020, Januar). Das Themencluster „Grundwasser“ im ÖAW-Programm. Earth System

Sciences - Wasser in Gebirgsräumen. Wasserland Steiermark, 2020, 16–19.

Blöschl, G., Parajka, J., Blaschke, A. P., Hofstätter, M., Haslinger, K. & Schöner, W. (2017). Klimawandel in der Wasserwirtschaft – Schwerpunkt Hochwasser, Dürre und Trockenheit: Follow up zur ZAMG/TU-WIEN STUDIE (2011) Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs für Österreichs Wasserwirtschaft im Auftrag von Bund und Ländern (1.). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (Hrsg.). Wien. <https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/klimawandel-in-der-wasserwirtschaft---zusammenfassung1.html> [1.7.2021].

Brandstetter, S. & Payerl, V. (2018). Wasserland Österreich: Unser Wasser schützen und schätzen. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT). ISBN: 978-3-

85174-075-2.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). (2006a). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich (Wasserkreislauf-erhebungsverordnung - WKEV), BGBl. II Nr. 478/2006. <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2006/478/20061214> [1.7.2021].

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). (2006b). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern (Gewässerzustandsüberwachungsverordnung - GZÜV), BGBl. II Nr. 479/2006. <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2006/479> [14.6.2021].

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und

Wasserwirtschaft (BMLFUW) (Hrsg.). (2017). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) - 2015. Wien. https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/wasser-oessterreich/wasserrecht_national/plannung/NGP-2015.html [1.7.2021].

Bundesministerium für soziale Sicherheit und Generationen (BMSG). (2001). Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TWV), BGBl. II Nr. 304/2001. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001483> [18.6.2021].

De Graaf, I. E. M., Gleeson, T., van Rens Beek, L. P. H., Sutandjaja, E. H. & Bierkens, M. F. P. (2019). Environmental flow limits to global groundwater pumping. Nature, 574(7776), 90–94. doi:10.1038/s41586-019-1594-4

Derx, J., Schijven, J., Sommer, R., Zoufal-Hruza, C. M., van

- Driezum, I. H., Reischer, G. et al. (2016). QMRACatch: Human-Associated Fecal Pollution and Infection Risk Modeling for a River/Floodplain Environment. *Journal of Environmental Quality*, 45(4), 1205–1214. doi:10.2134/jeq2015.11.0560
- Elster, D., Fischer, L., Hann, S., Goldbrunner, J., Schubert, G., Berka, R. et al. (2018). Vorkommen und Hydrogeologie (Österreichs Mineral- und Heilwässer, Teil 1). Wien: Geologische Bundesanstalt. ISBN: 978-3-85316-097-8.
- Elster, D., Goldbrunner, J., Wessely, G., Niederbacher, P., Schubert, G., Berka, R. et al. (2016). Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich. Wien: Geologische Bundesanstalt (GBA). ISBN: 978-3-85316-086-2.
- Europäisches Parlament (EP); Rat der Europäischen Union (ER). (2000). Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie - WRRL), Richtlinie 2000/60/EG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A32000L0060> [18.6.2021].
- Europäisches Parlament (EP); Rat der Europäischen Union (ER). Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (RL 2006/118/EG). <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/118/oj> [1.7.2021].
- Fuchs, G., Kristelly, C., Bernsteiner, A., Chalupka, A., Eller, M., Englisch, M. et al. (2020). Wasser im Boden: Sammelband zur quantitativen Erfassung und Auswertung bodenphysikalischer Größen anlässlich 25 Jahre Bodenwasserbeobachtung. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) (Hrsg.). Wien: Abteilung I/3. <https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/wasser-im-boden---sammelband-zur-quantitativen-erfassung-und-auswertung-bodenphysikalischer-größen-anlässlich-25-jahre-bodenwasserbeobachtung.html> [1.7.2021].
- Haslinger, K., Schöner, W. & Anders, I. (2016). Future drought probabilities in the Greater Alpine Region based on COSMO-CLM experiments – spatial patterns and driving forces. *Meteorologische Zeitschrift*, 25(2), 137–148. doi:10.1127/metz/2015/0604
- Himmelsbach, T. & Reichling, J. (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hrsg.). (o.J.). Grundwasser. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/grundwasser_node.html [1.7.2021].
- Humer, F., Wemhöner, U., Philippitsch, R., Elster, D., Schubert, G., Kaminsky, E.-F. et al. (2019). Uran im Grundwasser: Endbericht zum DaFNE-Forschungsprojekt Nr. 101204. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) (Hrsg.). Wien. <https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/Uran-im-Grundwasser---Endbericht.html> [1.7.2021].
- Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E. & Ward, R. S. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 163, 287–303. doi:10.1016/j.envpol.2011.12.034
- Loiskandl-Weisz, H., Philippitsch, R., Wemhöner, U., Schartner, C., Schubert, G. & Schedl, A. (2012). Metalle im Grundwasser Österreichs: Karten und Erläuterungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (Hrsg.). Wien: Sektion VII. <https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/Metalle-im-Grundwasser-in-Oesterreich---Karten.html> [1.7.2021].
- Philippitsch, R., Grath, J., Hummer, F., Brielmann, H., Wemhöner, U., Schartner, C. et al. (2017). Grundwasseralter 2015-2017: Ausgewählte Grundwasserkörper. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (Hrsg.). Wien. <https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/wasserqualitaet/grundwasser/grundwasseralter2015-2017.html> [1.7.2021].
- Savio, D., Stadler, P., Reischer, G. H., Kirschner, A. K. T., Demeter, K., Linke, R. et al. (2018). Opening the black box of spring water microbiology from alpine karst aquifers to support proactive drinking water resource management. *WIREs. Water*, 5(3), e1282. doi:10.1002/wat2.1282
- Schönlaub, H. P. & Daurer, A. (Hrsg.). (2001). *GeoAustria: Das strategische Programmpaket der Geologischen Bundesanstalt (Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Bd. 57)*. Wien: Verlag der Geologischen Bundesanstalt (GBA). <https://opac.geologie.ac.at/ais312/detail.aspx?parentpreref=1.7.2021>.
- Schubert, G. (2003). Hydrogeologische Karte der Republik Österreich: mit Kurzerläuterungen. Wien: Geologische Bundesanstalt (GBA). <https://www.geologie.ac.at/forschung-entwicklung/kartierung-landesaufnahme/wasser/hydrogeologische-karte> [1.7.2021].
- Schubert, G., Berka, R., Katzlberger, C., Motschka, K., Denner, M., Grath, J. et al. (2018). Radionuclides in groundwater, rocks and stream sediments in Austria – results from a recent survey. *Geological Society, London, Special Publications*, 451(1), 83–112. doi:10.1144/SP451.10
- Schubert, G., Philippitsch, R., Berka, R., Finger, F. & Schuster, R. (Hrsg.). (2015). *Trinkbare Tiefengrundwässer in Österreich (Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, Band 64)*. Wien: Geologische Bundesanstalt. ISBN: 978-3-85316-085-5.
- Stumpp, C., Žurek, A. J., Wachniew, P., Gargini, A., Gemitzi, A., Filippini, M. et al. (2016). A decision tree tool supporting the assessment of groundwater vulnerability. *Environmental Earth Sciences*, 75(13). doi:10.1007/s12665-016-5859-z
- Umweltbundesamt (UBA). (2016). *Elfter Umweltkontrollbericht: Umweltsituation in Österreich: Bericht des Umweltministers an den Nationalrat (Report / Umweltbundesamt, REP-0600, 2. korrigierte Auflage)*. Wien: Umweltbundesamt GmbH. ISBN: 978-3-99004-414-8.
- Wachniew, P., Žurek, A. J., Stumpp, C., Gemitzi, A., Gargini, A., Filippini, M. et al. (2016). Toward operational methods for the assessment of intrinsic groundwater vulnerability: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(9), 827–884. doi:10.1080/10643389.2016.1160816
- World Health Organization (WHO) (Hrsg.). (2017). *Guidelines for drinking-water quality (Fourth edition incorporating the first addendum)*. Genf: World Health Organization (WHO). ISBN: 978-92-4-154995-0.
- WRG. (1959). *Kundmachung der Bundesregierung vom 8. September 1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird. (Wasserrechtsgesetz - WRG), StF: BGBl. Nr. 215/1959 (WV)*. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010290> [30.6.2021].
- Zoboli, O., Clara, M., Gabriel, O., Scheffknecht, C., Hummer, M., Brielmann, H. et al. (2019). Occurrence and levels of micropollutants across environmental and engineered compartments in Austria. *Journal of Environmental Management*, 232, 636–653. doi:10.1016/j.jenvman.2018.10.074