

# KARSTWASSER ZU TRINKWASSER

## ABSCHÄTZUNG DES POTENZIALS VON KARST-GRUNDWASSERRESSOURCEN AM JURA-SÜDFUSS

**Nimmt der Druck auf Grundwasserfassungen infolge Landnutzung und Klimawandel zu, müssen auch alternative Ressourcen für die Trinkwasserversorgung in Betracht gezogen werden. So bilden etwa die tieferen Karst-Grundwasserleiter am Jura-Südfuss eine bislang ungenutzte Ergänzung zu den Lockergesteins-Grundwasserleitern des angrenzenden Mittellandes. In einem Pilotprojekt wird das Potenzial diese Ressourcen erhoben und neue Möglichkeiten für deren allfällige Erschliessung werden aufgezeigt.**

*Pierre-Yves Jeannin\*, Arnauld Malard, Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung SSKA*

*Michael Sinreich, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie*

*Rainer Hug, Amt für Umwelt, Abteilung Wasser, Kanton Solothurn*

*Stefan Mürner, Amt für Wasser und Abfall, Siedlungswasserwirtschaft / Trinkwasser und Abwasser, Kanton Bern*

*Markus Biner, Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfachs SVGW*

### RÉSUMÉ

#### DE L'EAU KARSTIQUE POUR L'EAU POTABLE: ESTIMATION DES RESSOURCES POTENTIELLES EN EAU SOUTERRAINE KARSTIQUE DU PIED DU JURA

Les ressources en eau du plateau suisse sont issues essentiellement des eaux souterraines pompées sous les plaines alluviales le long des cours d'eau principaux (Aar, Emme, Sarine, etc.). En raison d'une agriculture intensive, les taux de polluants persistants dans les eaux des captages, augmentent. En outre, la délimitation de zones de protection devient de plus en plus difficile avec l'extension des zones industrielles et urbaines dans ces secteurs. Considérant de surcroît l'augmentation des périodes de sécheresse qui induit une demande dépassant l'offre à certains moments de l'année, il devient impératif de trouver des ressources alternatives.

Les couches calcaires formant l'ossature du Jura suisse, sont karstifiées et permettent à l'essentiel des eaux de précipitation de s'infiltrer dans le sous-sol. Une part importante des eaux infiltrées ressort à différentes sources situées au pied du Jura, mais une partie continue son trajet souterrain vers le sud-est et alimente «par-dessous» certaines nappes et sources du plateau suisse. L'approche KARSYS, combinant modèles géologique 3D, principes hydrauliques et bilans hydriques a été utilisée pour l'évaluation.

### GRUNDLAGEN UND VORGEHEN

#### AUSGANGSSITUATION

Der grösste Teil der Trinkwasserressourcen im Schweizer Mittelland stammt aus Pumpbrunnen in Lockergesteins-Grundwasserleitern [1]. Diese sind vor allem entlang der grossen Flusstäler verbreitet und stehen zunehmend unter Druck von Landwirtschaft, Siedlung und Verkehr. Seit Jahren beeinträchtigen persistente, also kaum abbaubare Stoffe wie Nitrat oder Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, diese Grundwasserleiter [2]. Da solche Fassungen oftmals denselben Risiken im Einzugsgebiet unterworfen sind, besteht die Gefahr, dass nicht nur einzelne Grundwasserfassungen ausfallen, sondern gleich ganze oder gar mehrere Grundwasservorkommen die Anforderungen an die Nutzung als Trinkwasser zeitgleich nicht mehr erfüllen können (Ereignisse mit Breitbandwirkung). Einen solchen Fall zeitgleicher, flächiger Belastung mit Spurenstoffen zeigte in den letzten Jahren eindrücklich das Beispiel Chlorothalonil.<sup>1</sup> Angesichts dessen müssen auch alternative Grundwasserressourcen in Betracht gezogen werden.

\* Kontakt: pierre-yves.jeannin@isska.ch

(©AdobeStock)

Entsprechend entwickeln Kantone eine Diversifizierung der Wasserbeschaffung, um eine Reduktion von Risiken zu erreichen und um ausreichend Ersatz- oder Mischwasser bei einer Beeinträchtigung der Ressourcen in den alluvialen Grundwasserleitern bereitstellen zu können. Gleichzeitig müssen Wasserversorger verschiedene Standbeine haben, damit sie vor dem Hintergrund des Klimawandels [3] und bei allfälligen Verunreinigungen des Grundwassers trotzdem für genügend Trinkwasser sorgen können. Zusätzliche Wasserressourcen könnten Trinkwasserversorgungen neuen Spielraum verschaffen. Für Wasserversorgungen im Mittelland, die unter hohem Nutzungsdruck stehen, kann dabei Karstgrundwasser aus dem angrenzenden Juragebirge eine Lösungsmöglichkeit darstellen. Allerdings weiss man noch wenig über das Potenzial und die hydrogeologischen Grundlagen v. a. tieferer Karstwasservorkommen [4]. Vor diesem Hintergrund wird derzeit ein von Kantonen, Bund und Wasserversorgung getragenes Pilotprojekt im Raum Solothurn-Bern durchgeführt. Es untersucht, wo Grundwasservorkommen im Karst neu genutzt werden könnten. Das generelle Ziel des Projekts *Karstwasser zu Trinkwasser* (KwTw) ist

<sup>1</sup> [www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet/pestizide-im-grundwasser/chlorothalonil-metaboliten-im-grundwasser.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet/pestizide-im-grundwasser/chlorothalonil-metaboliten-im-grundwasser.html)

es, die vorhandenen, hinsichtlich Spurenstoffen in der Regel unbeeinträchtigten Karst-Grundwasserressourcen am Nordrand des Schweizer Mittellandes zu evaluieren und als zusätzliche Ressource für die Trinkwasserversorgung nutzbar machen zu können.

Die konkrete Erschliessung einer solchen alternativen Ressource erfordert drei Schritte:

- Bewertung hinsichtlich Ergiebigkeit
- Konzept der möglichen Nutzungsszenarien
- Managementplan für die betreffende Region

Die vorliegende Studie fokussiert mit den beiden ersten Punkten auf die Potenzialerhebung der Ressourcen, hauptsächlich derjenigen der verkarsteten Kalksteinschichten. Dieser Schritt soll einen allgemeinen Überblick über die Möglichkeiten und eine Gesamtbeurteilung der Grundwasserressourcen der betrachteten Region liefern. Gleichzeitig wurden aus der Literatur Lösungsansätze eruiert, um neue Karstgrundwasservorkommen mit bestehenden Fassungen zu kombinieren. Die ersten Ergebnisse der Pilotstudie sind in diesem Artikel zusammengefasst.

### HYDROGEOLOGIE

Der geologische Untergrund des Mittellands wird vor allem von den wenig durchlässigen Kluft-Grundwasserleitern der Molasse gebildet (*Fig. 1, gelbe Schichten*). In alten morphologischen

Rinnen und Senken sind dort alluviale Lockergesteine abgelagert, welche die heutigen Talebenen der Flüsse bilden. Diese Ablagerungen sind gut durchlässig und ergiebig; entsprechend intensiv werden sie genutzt. Etwa die Hälfte des Schweizer Trinkwassers wird an Pumpbrunnen aus solchen Lockergesteins-Grundwasserleitern gewonnen. Neben diesen Ressourcen steht im Mittelland wenig oberflächennahes Grundwasser zur Verfügung, da die Molasse nur eher kleine und lokale Quellvorkommen speist. Im angrenzenden Jura jedoch versickert der Hauptteil des Niederschlagswassers in die gefalteten und verkarsteten Kalkgesteine, deren Schichten am Jura-Südfuss unter das Molassebecken abtauchen (*Fig. 1, blaue Schichten*). Da sich die Juraketten für intensive Landwirtschaft wenig eignen und sich dort wie Siedlungen und Verkehr auf die Talböden beschränkt, weisen diese Karstwasservorkommen eine generell geringere Belastung mit persistenten Stoffen auf.

Infolgedessen können die durch den örtlichen Niederschlag gebildeten Ressourcen des Jurakarsts neben den Karstquellen auch für eine weitergehende Nutzung in Betracht gezogen werden. Auch alluviale Grundwasserleiter werden in die Überlegungen miteinbezogen, entweder als allfällige Reservoir für eine künstliche Anreicherung, oder weil angenommen werden kann, dass bereits unter natürlichen Bedingungen Karstwasser unterirdisch in diese infiltriert und dadurch

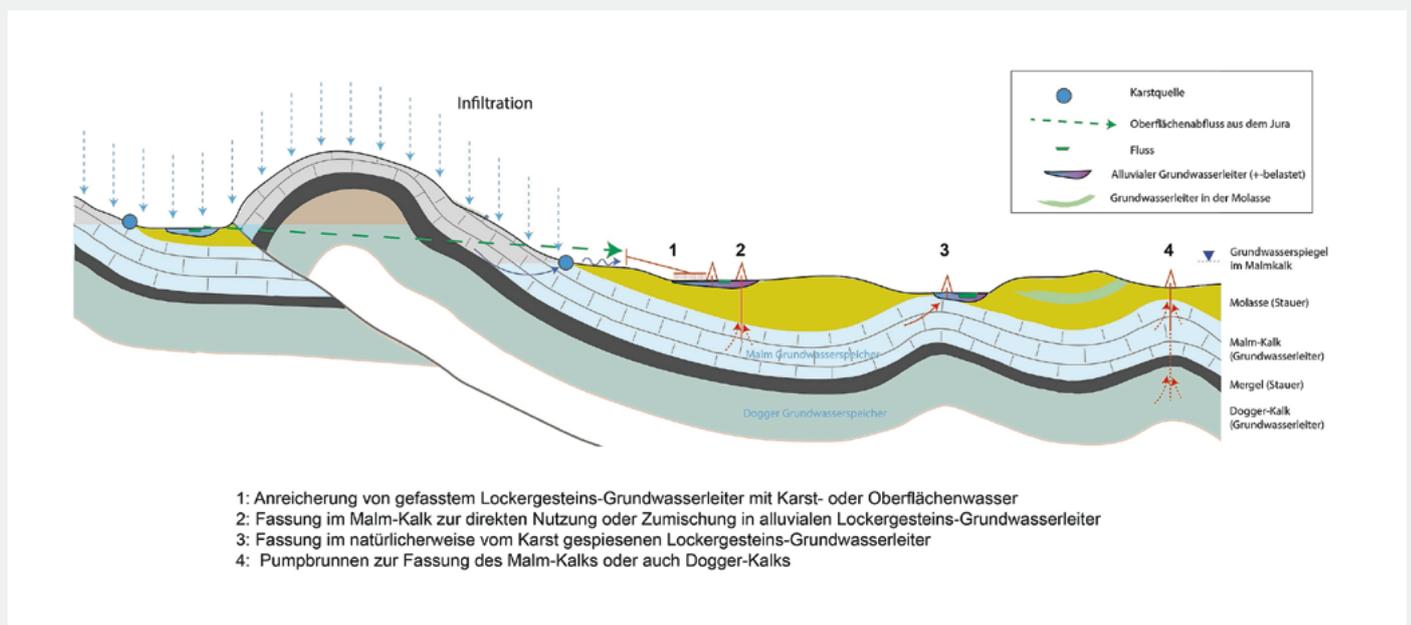


Fig. 1 Skizze der hydrogeologischen Situation an der Grenze zwischen Jura und Mittelland mit Infiltration (Grundwasserneubildung) im Jura und potenzieller Nutzung der Karst-Grundwasserleiter am Jura-Südfuss.

allfällige Schadstoffeinträge in den Tal-ebenen verdünnt. *Figur 1* verdeutlicht die Möglichkeiten einer Erschliessung all dieser Grundwasservorkommen.

### WASSERRESSOURCEN

Zur Erhebung der Wasserressourcen wurde der KARSYS-Ansatz angewendet [5]. Dabei handelt es sich um einen konzeptionellen Ansatz zum Verständnis der unterirdischen Fliessverhältnisse in verkarsteten Kalkgesteinen. Er umfasst die Sammlung und Interpretation aller verfügbaren Daten über eine Region und

deren Darstellung in einem 3D-Modell des Untergrunds. Die Vorgehensweise besteht aus fünf wesentlichen Schritten, die in *Figur 2* aufgezeigt sind. Nach der Festlegung eines angemessenen Untersuchungsperimeters werden zunächst die hydrogeologisch relevanten Einheiten identifiziert (verkarstete und stauende Schichten). Die Geometrie dieser Einheiten wird dann in 3D modelliert und mit der Lage der Karstquellen in Bezug gesetzt. Verkarstete Schichten unterhalb dieser Quellniveaus bilden somit die gesättigte Zone des Karst-Grund-

wasserleiters. Im 3D-Modell können dann die Hauptströmungsrichtungen des Grundwassers definiert werden, das diese Quellen speist. Aus dem 3D-Modell können letztlich verschiedene Karten für unterschiedliche Anwendungen erstellt werden.

Das Untersuchungsgebiet ist in *Figur 3* skizziert. Dieses Gebiet zwischen La Neuveville (BE) im Westen und Aarau (AG) im Osten wurde für die KARSYS-Modellierung in sieben Teilabschnitte (3D-Modelle) untergliedert. Über die Online-Software *Visual KARSYS* sind die produzierten Modelle online zugänglich.<sup>2</sup> Dabei ist zu beachten, dass die Konstruktion der Modelle in dieser Projektphase vollständig auf vorhandenen Daten und deren Interpretation beruht. Es wurden keine Feldkampagnen zur Vervollständigung oder Validierung der verwendeten Daten durchgeführt. Für die Juraketten wurden bestehende geologische Karten sowie geologische Profilschnitte herangezogen. Für die Modellierung der Jura-Kalke unterhalb der Molasse wurde zum grossen Teil auf die in *GeoMoI*<sup>3</sup> vorhandenen Daten zurückgegriffen (aus *beta.swissgeol.ch*). Für die Ressourcenerhebung wurde das gängige Prinzip angewendet, dass die Abflussmenge einer Quelle (oder Quellgruppe) der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet entspricht. Bei Abweichungen davon ist von zusätzlichen tieferreichenden Fliesssystemen auszugehen. Dazu wurden die jährliche Neubildungsmenge bzw. die durchschnittliche unterirdische Abflussmenge mittels üblicher im Untersuchungsgebiet zu erwartender Werte abgeschätzt. Die Quellabflüsse konnten auf Basis bestehender Erhebungen und Kataster annähernd erfasst werden. Daneben wurden für den Oberflächenabfluss die auf topografischen Karten verzeichneten Bäche aufgenommen sowie deren Einzugsgebiete mithilfe digitaler Geländemodelle bestimmt. Für einige Wasserläufe sind Abflussmessungen verfügbar; meist handelt es sich aber um Näherungswerte, da die Wechselwirkung mit dem darunterliegenden Karstgestein im Allgemeinen nicht genau bekannt ist.

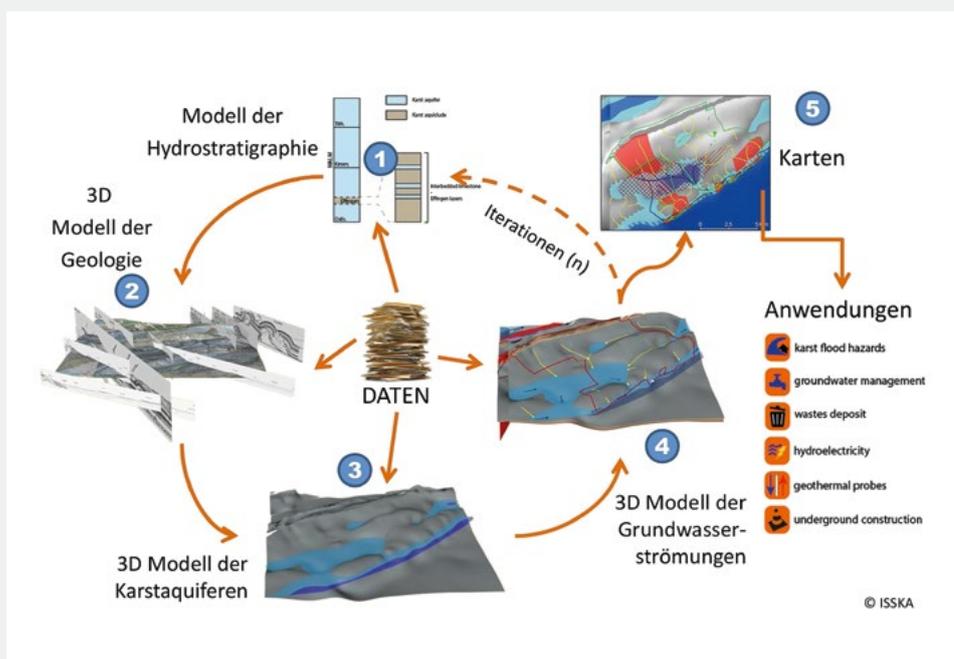


Fig. 2 Prinzip des KARSYS-Ansatzes zur Erstellung eines konzeptionellen 3D-Modells der Grundwasservorkommen und unterirdischen Fliesssysteme im Karst. Die nummerierten Etappen sind im Text beschrieben.

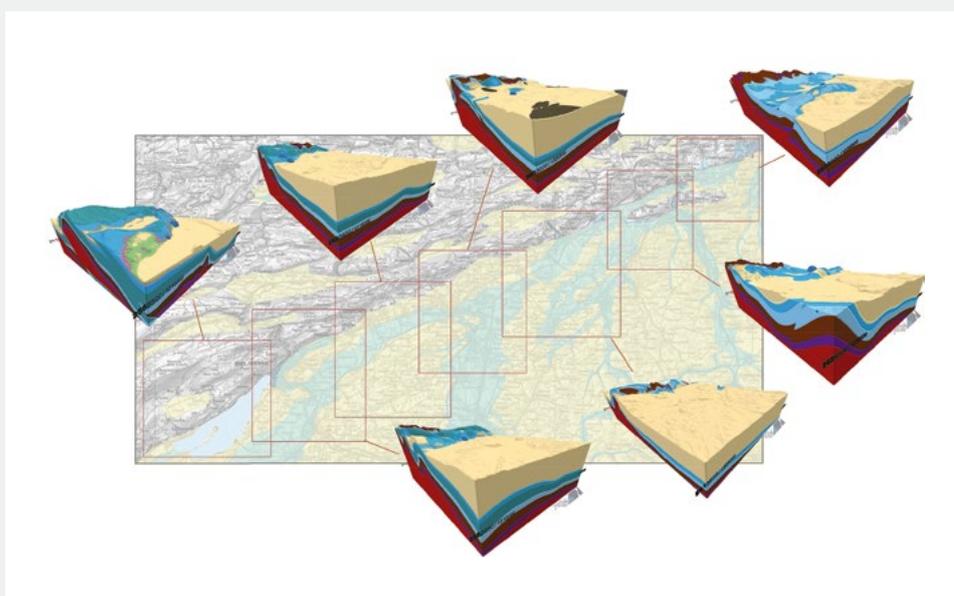


Fig. 3 Untersuchungsgebiet zwischen Neuveville (BE) und Aarau (SO) mit den KARSYS-Modellen für die sieben Teilabschnitte. (Hintergrund aus Swisstopo, map.geo.admin)

<sup>2</sup> Unter [visualkarsys.com](http://visualkarsys.com) können sich Interessierte einen Account eröffnen und beim Projektleiter ein Zugangsrecht zum Projekt beantragen.

<sup>3</sup> [www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geologie/geologische-daten/3d-geologie/tief/geomol.html](http://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geologie/geologische-daten/3d-geologie/tief/geomol.html)

## ERGEBNISSE DER RESSOURCEN-ERHEBUNG

### SYNTHESE

Die gesamthaft erhobenen Wasserressourcen im Bereich des Jura-Südfusses zwischen La Neuville und Aarau wurden in sieben Ressourcentypen unterteilt (Tab. 1). Dabei handelt es sich um hydrologische Systeme von Oberflächenwasser, Karst-Grundwasserleitern und Lockergesteins-Grundwasserleitern. In der Tabelle sind auch die Ergebnisse für die Grösse und die ungefähre durchschnittliche Abflussmenge der jeweiligen Fliessysteme aufgeführt.

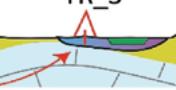
Im Folgenden sind die wichtigsten Grundwasserressourcen am Jura-Südfuss zu-

sammengefasst, nämlich der Karst der Juraflanke, die tieferliegenden Kalke unterhalb der Molasse sowie quartäre Lockergesteins-Grundwasserleiter. Die entsprechenden Nutzungsszenarien sowie die zu jeder Wasserressource identifizierten Zielobjekte für deren allfällige Erschliessung bzw. potenzielle Nutzung sind in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

### KARST DER JURAFLANKE

Bereits in Vorgängerstudien waren die bisher genutzten Karstwasserressourcen der ersten Jurakette für die Kantone Bern und Solothurn evaluiert worden (Projekte *KarstBERN* [6] und *KARSYS Solothurn* [7]). Im Rahmen der vorliegenden Studie sind

nun Ressourcen zusätzlich identifiziert bzw. genauer dokumentiert (s. Fig. 1 sowie Ressourcentyp TR 2 der Tab. 1). Von besonderem Interesse sind Einzugsgebiete, für die bisher keine konkreten Abflüsse über vorhandene Quellen bekannt sind. Die verkarsteten Jurakalke haben ein hohes Infiltrationsvermögen für Niederschlagswasser. So beträgt das durchschnittliche Dargebot – je nach Höhenlage – 20-50 l/s pro km<sup>2</sup> [8], bei Niedrigabfluss immerhin noch 3-10 l/s pro km<sup>2</sup> [7]. Damit erzeugt eine 10 km<sup>2</sup> grosse Karstoberfläche einen durchschnittlichen jährlichen Abfluss von 200 bis 500 l/s, mit einem Mindestabfluss von 30 l/s. Der Vergleich der ermittelten Einzugsgebiete mit den Abflüssen der vor-

Typ der Ressource	Name	Beschreibung	Ressource	Einzugsgeb.
			[l/s]	[km <sup>2</sup> ]
 <p>TR_1</p>	<b>Oberflächenwasser interner Jura</b>	Oberflächenwasser (Flüsse) oder an Oberfläche kommend (Quellen), aus Einzugsgebieten jenseits der Südflanke der ersten Jurafalte.	2050	>300
 <p>TR_2</p>	<b>Malm der Juraflanke</b>	Unterirdische Wässer, eventuell aus Quellen, aus Einzugsgebieten der Juraflanke/des Jurafusses der ersten Jurafalte.	2925	55
 <p>TR_3</p>	<b>Tunnel</b>	Unterirdische Wässer, die in Tunnels austreten, welche die erste Jurafalte queren.	420	10
 <p>TR_4</p>	<b>Poröser Aquifer, hangend</b>	Unterirdische Wässer oder Quellen aus Lockergesteins-Grundwasserleitern (v.a. Moränen), die der ersten Jurafalte aufliegen.	300	10
 <p>TR_5</p>	<b>Quartär gespeisen von Karst</b>	Unterirdische Wässer in grossen alluvialen (oder evtl. Moränen-) Lockergesteins-Grundwasserleitern am Jurafuss, mehr oder weniger vom Karst gespeisen und in Verbindung mit Hauptflüssen (Aare und Dünern).	395	20
 <p>TR_6</p>	<b>Tiefgelegener Malm</b>	Unterirdische Wässer in den Malmkalken unter dem Schweizer Mittelland.	260	5
 <p>TR_7</p>	<b>Tiefgelegener Dogger</b>	Unterirdische Wässer in den Doggerkalken unter dem Schweizer Mittelland.	150	7
<b>TOTAL</b>			<b>6500</b>	

Tab. 1 Haupttypen der Ressourcen, die im Untersuchungsperimeter identifiziert wurden. Zahlenangaben zur Grösse der Ressourcen entsprechen abgeschätzten Jahresmittelwerten. Die Piktogramme beziehen sich auf Elemente von Figur 1.

handenen Quellen und Fassungen ermöglicht eine Beurteilung, ob die ermittelten Flächen den beobachteten Quellabflüssen entsprechen. Wenn das geschätzte Einzugsgebiet grösser ist, dann ist es wahrscheinlich, dass ein Teil des Abflusses an anderer Stelle zutage tritt. Darüber hinaus gibt es Bereiche, in denen der KARSYS-Ansatz Einzugsgebiete ohne bekannte Abflüsse anzeigt. Da Niederschlagswasser nachweislich versickert, müssen entsprechende, heute noch unbekannte Austrittspunkte existieren. Dies können ungenutzte bzw. nicht-gemessene Quellen, diffuse Austritte bzw. unterirdische Übertritte in andere Grundwasserleiter oder Verbindungen zu tieferen Karstvorkommen sein. Alle Varianten stellen eine gewisse Wasserressource dar, die bestehende Wasserfassungen ergänzen könnte.

Im Rahmen der Erhebung wurden an mehreren Stellen potenzielle Ressourcen dieser Art identifiziert. Im gesamten Untersuchungsgebiet liegt die potenzielle Ressource in einem Bereich von 3000 l/s bei mittlerem Abfluss und noch 300 l/s bei niedrigem Wasserstand. Die erhaltene Summe der Abflussmengen zieht die aktuelle Nutzung (vermutlich zwischen 1000 und 2000 l/s) nicht in Betracht, sodass sich eine zusätzliche Ressource von 1000–2000 l/s bei mittleren Abflussverhältnissen ergibt.

Es gibt einige gut bekannte Quellen und Fassungen, deren Ressourcen nicht, nicht vollständig oder nicht mehr genutzt werden. Ein Beispiel ist die *Merlin*-Quelle oberhalb Biel, die aktuell wegen ungenügender mikrobiologischer Qualität nur noch zur Notwasserversorgung vorgehalten wird. Sie stellt eine Niedrigwasser-Ressource von mehr als 50 l/s (mehr als 200 l/s durchschnittlicher Abfluss) dar, die in Mangelsituationen oder als Zumischung genutzt werden könnte. Eine Besonderheit ist die Drainage von Karstgrundwasser durch Tunnelbauten (Ressourcentyp TR 3). Drei Bahntunnels durchqueren das Untersuchungsgebiet, nämlich der Grenchenberg-, der Weissenstein- und der Hauenstein-Tunnel. Die beiden erstgenannten haben die Druckhöhe in den Karstmassiven am Jurafuss um rund 150 m deutlich abgesenkt, indem die Tunnelröhren das Wasser weit unter dem natürlichen Quellniveau ableiten. Dies hat zu einem erheblichen Abfluss aus diesen Tunnels geführt. Diese Ressource wird derzeit

nur im Grenchenberg-Tunnel teilweise genutzt.

#### KARST UNTER DER MOLASSE

Die Kalke, welche die Karst-Grundwasserleiter des Jura-Südfusses bilden, erstrecken sich zum grössten Teil auch tieferliegend unter die Molasseschichten des Mittellandes (s. *Fig. 1* sowie Ressourcentypen TR 6 und TR 7 der *Tab. 1*). Diese mehr oder weniger verkarsteten Kalksteine sind dort wassergesättigt. Der grösste Teil des im Jura versickerten Niederschlagswassers tritt an Karstquellen wieder an die Oberfläche. Diese Quellen befinden sich am Rand des Juras, wo die geringdurchlässigen Molasseschichten Wasser in den darunterliegenden Kalkschichten bis auf das Höhengniveau der Quellen stauen. Die hydraulische Druckhöhe im tieferen Grundwasserleiter wird dann durch die Höhenlage der Karstquellen an der Juraflanke bestimmt.

Die in diesen Kalksteinen gespeicherten Wassermengen sind beachtlich und betragen im Untersuchungsgebiet mehrere Kubikkilometer. Das Vorliegen eines bedeutenden Speichervolumens hat den grossen Vorteil, dass bei Bedarf eine signifikante Menge entnommen werden kann, was besonders in Zeiten von Trockenheit interessant ist. Für eine nachhaltige Nutzung – auch um die heutigen Quellabflüsse nicht zu beeinträchtigen – sollte die Entnahme die jährliche Neubildung für diesen Aquifertyp jedoch nicht überschreiten; letztere ist allerdings recht hoch. Insgesamt ergibt sich ein Potenzial von gut 400 l/s mittleren Abflusses (TR 6 + TR 7).

In dieser Studie wurden vor allem Standorte gesucht, deren Karstgrundwasser infolge der Tiefenlage weder zu warm noch zu sehr mineralisiert sein sollte. Solche Orte befinden sich dort, wo das Karstgrundwasser unter den Molasseschichten weiterströmt und dadurch regelmässig erneuert wird. Die Kalkschichten setzen sich Richtung Süd-Osten unter der Molasse fort und enthalten eine bedeutende Menge an Wasser. Eine Grundwasserströmung unter der Molasse gibt es aber nur, wenn Wasser wieder zur Geländeoberfläche gelangen kann, d.h. wo eine hydraulische Verbindung zwischen dem Karst-Grundwasserleiter und dem Oberflächenabfluss gegeben ist. Das ist dann der Fall, wenn Antiklinalen (Dom-Strukturen) die

wasserführenden Kalkschichten nahe zur Oberfläche des Molassebeckens führen. Tektonische Verwerfungen, die oft im Zusammenhang mit solchen Antiklinalen stehen, erlauben dem Wasser bis zur Oberfläche bzw. in alluviale Grundwasserleiter zu strömen (Ressourcentyp TR 5). Deshalb zielte die Erhebung gerade auf solche Strukturen ab.

#### QUARTÄRE GRUNDWASSERLEITER

Es wurden zwei Kategorien von quartären Grundwasserleitern betrachtet: Moränenablagerungen entlang der Juraflanke, die mit dem unterliegenden Karstgestein wechselwirken (Ressourcentyp TR 4 der *Tab. 1*), sowie hauptsächlich alluviale Lockergesteins-Grundwasserleiter am Jura-Südfuss, die mehr oder weniger durch den Karst gespeisen werden (Ressourcentyp TR 5). Zusammen machen diese Ressourcen einen mittleren Abfluss von etwa 700 l/s aus. Quartäre Grundwasserleiter, die eindeutig dem Molassebereich zuzuordnen sind, wurden hier nicht berücksichtigt.

#### NUTZUNGSZENARIOEN

Die Nutzung von Grundwasser aus dem Karstgebiet hängt einerseits von den verschiedenen Ressourcentypen, andererseits aber von den unterschiedlichen Nutzungsszenarien ab. Dies gilt sowohl in mengenmässiger wie auch in qualitativer Hinsicht. So können die Karst-Grundwasserleiter entweder direkt erschlossen oder aber zur Zumischung in andere Vorkommen oder auch selbst als Speicherraum herangezogen werden. Dies kann dann je nach Grundwasservorkommen und Infrastruktur vorhandener Fassungen auf verschiedene Arten erfolgen. Einige Szenarien sind in *Figur 4* aufgezeigt, weitere Optionen sind ebenfalls denkbar. Jedes Szenario beinhaltet Vor- und Nachteile, die je nach lokalen Bedingungen mehr oder weniger bedeutend sind. In allen Fällen wird eine Wasserressource benötigt, die nur gering (oder idealerweise nicht) durch persistente Stoffe belastet ist, was für die Karst-Grundwasserleiter in der Regel der Fall ist.

Im *Szenario 1* wird belastetes Grundwasser aus einem alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleiter im Trinkwassersystem (z.B. an der Grundwasserfassung oder in einem Reservoir) mit unbelastetem Karstgrundwasser gemischt, sodass

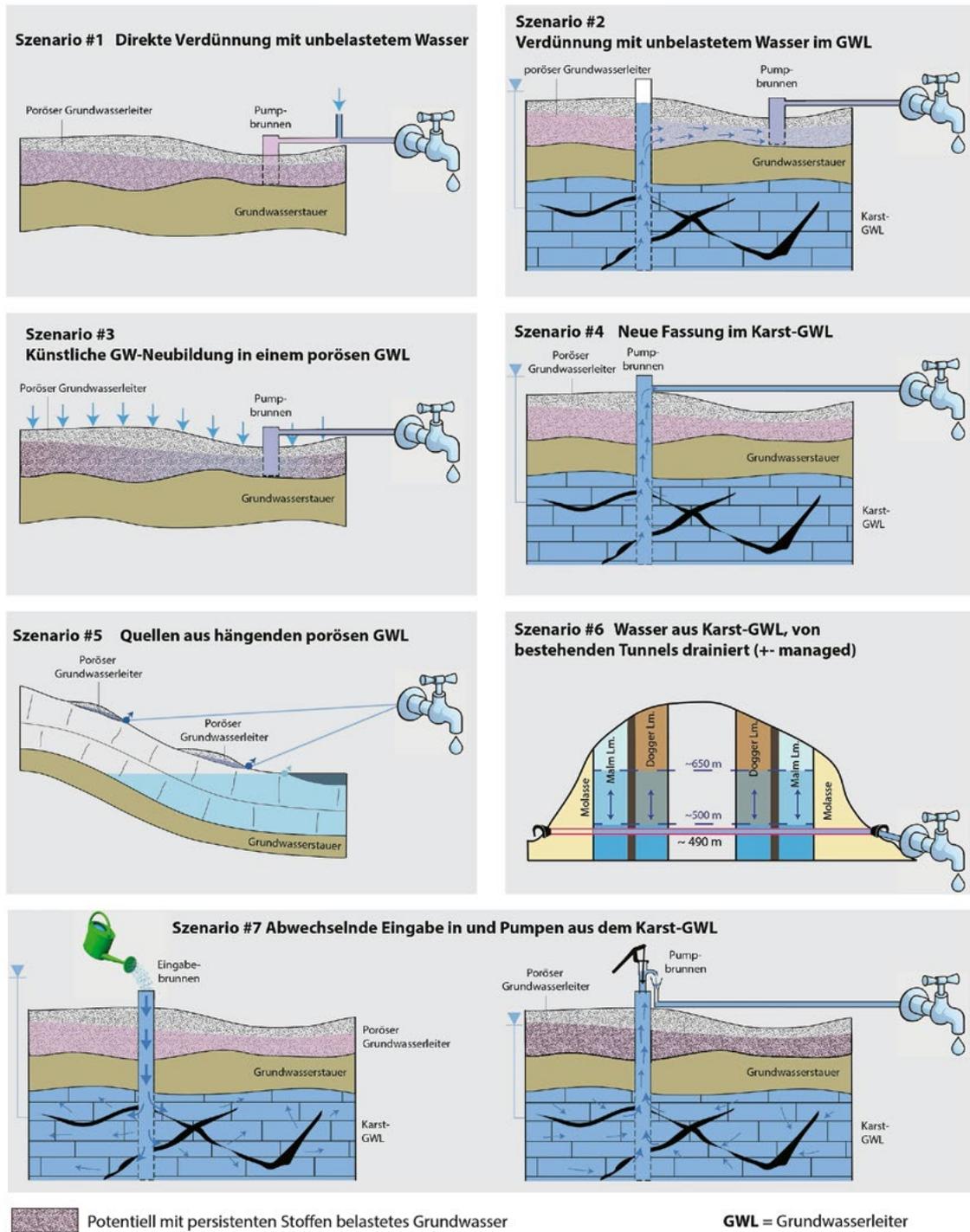


Fig. 4 Mögliche Szenarien der Nutzung von Karst-Grundwasserressourcen. Dies gilt sowohl hinsichtlich einer Verbesserung der Wasserqualität von belasteten alluvialen Grundwasserleitern als auch zur Erhöhung des Fassungsangebotes insgesamt.

im Mischwasser die Höchstwerte für Trinkwasser eingehalten werden. Im Szenario 2 lässt man unbelastetes Wasser vom Karst direkt in ein belastetes Lockergesteins-Grundwasservorkommen strömen. Eine solche Verbindung besteht oft auch schon auf natürliche Weise, kann aber auch künstlich durch eine

Verbindung beider Grundwasserstockwerke generiert werden. Für einige Gebiete im Untersuchungsperimeter ist bereits bekannt, dass Karstgrundwasser auf natürliche Weise diffus in den Lockergesteins-Grundwasserleiter infiltriert und so lokal die Grundwasserqualität verbessert (z. B. [9]).

Im Szenario 3 wird unbelastetes Wasser, welches aus dem Karst stammen kann, genutzt, um einen belasteten alluvialen Grundwasserleiter anzureichern (künstliche Grundwasserneubildung) und damit die Belastung zu verdünnen. Die Szenarien 2 und 3 sind auch aus rein quantitativen Gesichtspunkten denkbar,

d. h. um das aktuelle oder Niedrigwasser-Dargebot eines Lockergesteins-Grundwasserleiters zu erhöhen.

Im *Szenario 4* wird tieferes Karstgrundwasser direkt erschlossen.

Im *Szenario 5* werden kleinere, hängende Lockergesteins-Grundwasservorkommen genutzt, die ausserhalb von Gebieten intensiver Nutzung im Karst liegen.

*Szenario 6* ist ein Spezialfall, in dem der Abfluss von Karstgrundwasser, das durch bestehende Tunnel drainagen stark abgesenkt worden war, künstlich geregelt wird. Hier ist vorstellbar, die vormaligen Speicherkapazitäten der Kalkformationen teilweise wiederherzustellen und damit die nutzbare Grundwasserressource zu regulieren. Zudem würde eine Drainage-regulierung ermöglichen, den bei Niedrigwasser verfügbaren Abfluss zu erhöhen.

*Szenario 7* enthält die Möglichkeit eines echten Wassermanagements mit Einspeisung unbelasteten bzw. nur mikrobiologisch beeinträchtigten Wassers in den Karst-Grundwasserleiter im Winter zu Zeiten hoher Wasserverfügbarkeit,

und Entnahme einwandfreien Wassers im Sommer, wenn das natürliche Dargebot gering und der Bedarf hoch sind. Neben technische Herausforderungen birgt eine solche Nutzung zwei Hauptschwierigkeiten: Erstens wären aufgrund der mässigen Gesteinsdurchlässigkeit eine Vielzahl von Versickerungs- und Pumpbrunnen nötig, und zweitens kann das eingespiesene Wasser bei längerer Verweilzeit durchaus hydrothermal und deutlich mineralisiert werden.

## NUTZUNGSPOTENZIAL

Basierend auf der Ressourcenerhebung und der in Betracht zu ziehenden Nutzungsszenarien konnten im Untersuchungsperimeter diejenigen Zielobjekte bestimmt werden, für die eine nähere Betrachtung vielversprechend erscheint (*Fig. 5*). Es wurden 53 Zielobjekte identifiziert und hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen sowie allfälliger Fassungsoptionen abgeschätzt. Die Evaluierung wurde anhand der folgenden Parameter vorgenommen: Typ

der Ressource, abgeschätzter Abfluss der Ressource (Ergiebigkeit), Unsicherheiten, mögliche Szenarien zur Fassung bzw. Bewirtschaftung.

Eine solche Evaluierung ermöglicht es, die mit der Nutzung jedes Zielobjekts verbundenen Möglichkeiten und Risiken grob abzuklären. Sie liefert eine hydrogeologische Grundlage für nachfolgende Etappen des Projekts. Eine vollständige Auflistung der identifizierten Zielobjekte steht nun den Behörden beider am Projekt beteiligten Kantone und der Trägerschaften der Wasserversorgung als Basis für die Entwicklung neuer Strategien zur Wasserbeschaffung zur Verfügung.

Zwei Drittel der 53 Zielobjekte dieser Studie wurden auf noch recht hoher Flughöhe als vielversprechend eingestuft. Weitere, für die Trinkwassernutzung als eher unsicher eingestufte Zielobjekte könnten zudem teilweise für Brauchwassernutzungen bzw. Geothermie interessant sein.

Die Zielobjekte sind in *Tabelle 2* hinsichtlich Ressourcentyp und ihrer möglichen Nutzungsszenarien zusammengefasst. Da es sich bei *Szenario 1* eigentlich nicht um einen hydrogeologischen Kontext handelt und es im Prinzip in Kombination mit allen sechs weiteren Szenarien umgesetzt werden könnte, wurde es nicht explizit als Zielobjekt berücksichtigt.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der hier angewendete Ansatz ist sowohl klassisch als auch innovativ. Er ist konventionell in dem Sinne, als dass er die Standardmethoden einer Ressourcenerhebung (Abschätzung der Neubildung, des Abflusses und der Strömungsverhältnisse im Grundwasserleiter) anwendet. Neu ist, dass die meisten dieser Daten mittels *KARSYS* explizit in einem dreidimensionalen Modell erfasst wurden.

In dieser Studie wurden sieben Typen von Wasserressourcen identifiziert, die einen Gesamtabfluss in der Grösse von gut 6 m<sup>3</sup>/s darstellen. Obwohl klar ist, dass ein Teil davon nicht nutzbar sein wird – sei es, weil ein Anteil über bestehende Karstquellen bereits genutzt wird, sei es, weil er für z. B. ökologische Zwecke verbleiben muss – so gibt es im Untersuchungsperimeter immer noch ein Potenzial von 1 bis 2 m<sup>3</sup>/s an Karstgrundwasser (oder ~86 000 bis 172 000 m<sup>3</sup> pro Tag) für neue Fassungen. Dies entspricht der Menge der Versorgung

Ressourcentyp	Szenario	Kurzbeschreibung	Anzahl Zielobjekte
TR 5 & TR 2	#2 (oder #3) <b>2/3</b>	Fassung in einem alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleiter, der unterirdisch vom Karst gespiesen wird. Variante: Karstwasser für eine künstliche Grundwasseranreicherung.	5
TR 5	#2 (oder #4) <b>2/4</b>	Fassung in einem alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleiter, der unterirdisch vom Karst gespiesen wird. Variante: Karstwasser direkt nutzen	7
TR 5 & TR 1	#3 <b>3</b>	Fassung in einem alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleiter, der von Karst- und/oder Oberflächengewässer künstlich angereichert wird.	11
TR 5 & TR 1 & TR 2 & TR 6	#3 (oder #4) <b>3/4</b>	Fassung in einem alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleiter, der von Karst- und/oder Oberflächenwasser künstlich angereichert wird. Variante: Fassung direkt im Karst.	2
TR 6 TR 7	#4 <b>4</b>	Neue Fassung im Karst.	4
TR 6 & TR 5	#4 (oder #2) <b>4/2</b>	Neue Fassung im Karst. Variante: Mischung mit Wasser im alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleiter.	9
TR 5 & TR 6	#4 (oder #3) <b>4/3</b>	Fassung im Karst. Variante: Anreicherung des alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleiters mit Karstwasser.	1
TR 2	#4 Speziell <b>4*</b>	Neue Fassung von Karstwasseraustritten im Bielersee.	1
TR 4	#5 <b>5</b>	Fassung von hängenden quartären Lockergesteins-Grundwasserleitern der Juraflanke, die von Karstwasser gespiesen werden.	1
TR 4	#5 (oder #1) <b>5/1</b>	Fassung von quartären Lockergesteins-Grundwasserleitern der Juraflanke, evtl. als Zumischung zu belastetem Wasser.	2
TR 3	#6 <b>6</b>	Fassung und Wassermanagement von Tunnelabfluss.	5
TR 6/7 & TR 1/2	#7 <b>7</b>	Künstliche Eingabe von Karst- und/oder Oberflächenwasser in den tieferen Kalk-Grundwasserleiter im Winter, und Entnahme im Sommer.	5

Tab. 2 Ressourcentyp (s. Tab. 1) und Nutzungsszenario (s. Fig. 4) für die 53 identifizierten Zielobjekte. Bezeichnungen der Figur 5 in kursiv.

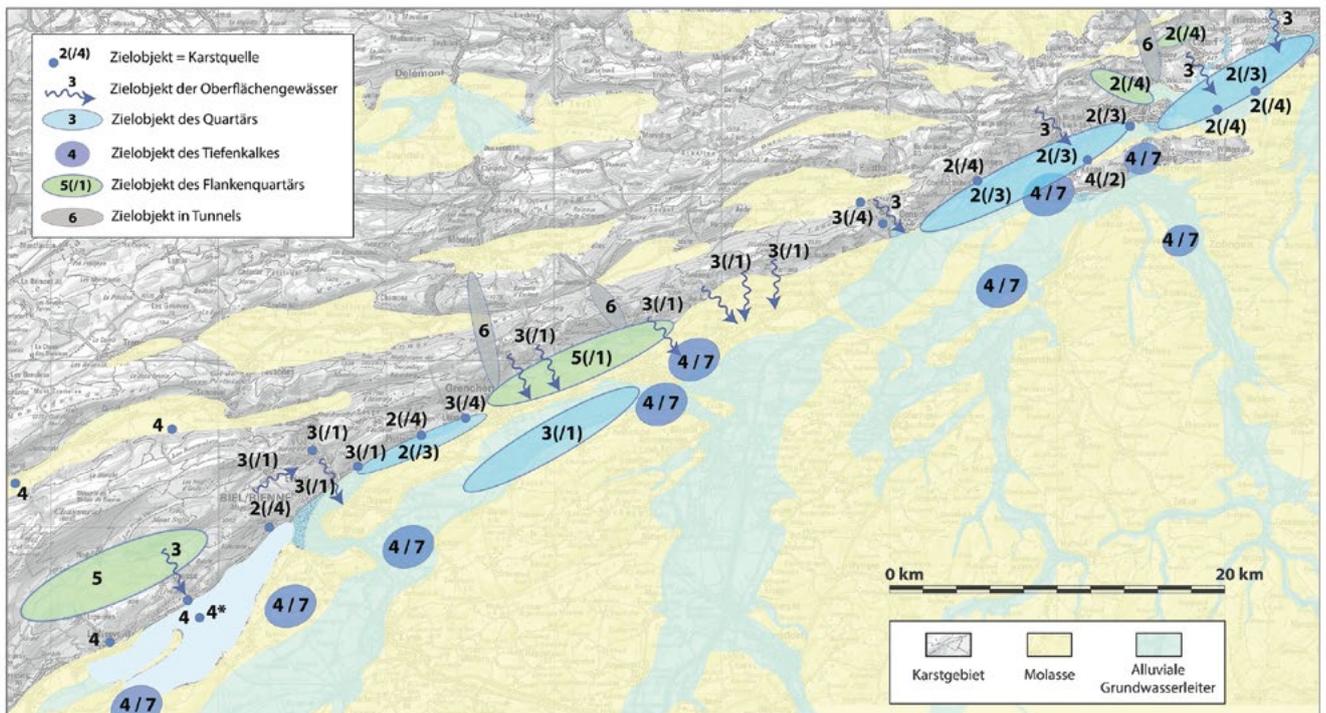


Fig. 5 Lage der 53 identifizierten Zielobjekte im Untersuchungsperimeter. Die Nummern beziehen sich auf die Nutzungsszenarien der Tabelle 2.

(Hintergrund aus Swisstopo, map.geo.admin)

für 300 000 bis 600 000 Einwohner und könnte somit mindestens den gesamten Kanton Solothurn mit dieser Ressource versorgen. Dies verdeutlicht die Bedeutung des identifizierten Potenzials an Karstgrundwasser am Jura-Südfuss. Allfällige Auswirkungen auf bereits genutzte Quellen, andere Grundwasservorkommen oder Oberflächengewässer müssen in späteren Phasen selbstverständlich vertieft abgeschätzt werden. Der hier entwickelte Ansatz kann prinzipiell für die Bewertung von Wasserressourcen überall dort angewendet werden, wo verkarstete Gesteine unter nicht verkarsteter Überdeckung zu liegen kommen. Betroffen ist natürlich der gesamte Bereich des Jura-Südfusses von Genf bis Baden, aber auch Teile der Voralpen. Innerhalb des Juras sind zudem viele Synklinalen mit Molasse und/oder quartären Ablagerungen gefüllt. Entlang der Alpentäler ist es ebenfalls nicht ungewöhnlich, dass Kalksteinformationen von Tälern durchschnitten werden, in denen sie von alluvialen oder glazialen Ablagerungen bedeckt sind. Weiter wurde das Potenzial zur künstlichen Speisung von Grundwasserleitern in die Bewertung einbezogen. Im vorliegenden Projekt könnte dies sowohl für Karst- als auch für Locker-

gesteins-Grundwasserleiter gelten. In diesem Stadium der Studie bleibt die Analyse jedoch sehr umfassend und grob. In der Schweiz wurde Grundwasseranreicherung bisher im Allgemeinen begrenzt angewendet, vor allem aber in Basel, Genf und Zürich, wo alluviale Grundwasserleiter mit Oberflächenwasser angereichert werden [10]. In der Schweiz sind soweit keine Fälle bekannt, wo Karstwasser zur Anreicherung von alluvialen Grundwasserleitern genutzt wird oder wo Karst-Grundwasserleiter künstlich gespiesen werden. In Ländern mit begrenzten Wasserressourcen sind solche Fälle aber häufig (z.B. [11–13]) und dort als *Managed Aquifer Recharge* (MAR) bekannt. Fälle, wo Fassungen in Bereichen erstellt wurden, in denen Karstgrundwasser direkt alluviale Grundwasserleiter auf natürliche Weise speist, sind in der Schweiz jedoch verbreitet (z.B. Pumpwerk *Moos Oensingen* im Gäu-Grundwasserleiter [9] oder Fassung *Lômenes* in der Allaine-Ebene [14]). Es zeigt, dass die Vorteile einer solchen Kopplung verschiedenen Orts schon länger erkannt sind. Die herkömmliche Nutzung von Karstquellen ist in der Regel mit der Ausscheidung von grossflächigen Grundwasserschutz zonen verbunden,

die mannigfaltige und schwerwiegende Nutzungskonflikte aufweisen können. Zudem erfordert die Nutzung der Karstquellen oft eine mehrstufige Aufbereitung des Karstwassers, da dieses aufgrund von schnellen Fließpfaden und mangelnder natürlicher Reinigungswirkung oberflächennaher Karstsysteme eine hohe Trübung und hohe mikrobiologische Belastung aufweisen kann. Beides ist mit ein Grund, dass heutzutage Karstquellen aufgegeben werden und vermehrt Grundwasser aus alluvialen Lockergesteins-Grundwasserleitern genutzt wird. Die in dieser Studie aufgezeigten Nutzungsszenarien sind daher auch in dem Sinne innovativ, als dass die ergiebige Karst-Grundwasserressource genutzt werden könnte, ohne dass grossflächige Schutzzonen und mehrstufige Aufbereitungen betrieben werden müssen. Der Ansatz kombiniert daher die Vorteile des Karstgrundwassers (hohe Verfügbarkeit, geringe Risiken für Belastung mit persistenten Stoffen) mit denjenigen von Lockergesteins-Grundwasser (kleine Schutzzonen, ergiebige Fassungen). Die Grundwasservorkommen des Mittelandes sind verbreitet Belastungen durch persistente Stoffe ausgesetzt. Daneben haben die vergangenen Jahre gezeigt,

dass manche Grundwasserfassungen und Quellen bei längerer Trockenheit an ihre Kapazitätsgrenze gelangen [3]. Es besteht also generell ein Bedarf an alternativen bzw. ergänzenden Trinkwasserressourcen. Ereignisse mit Breitbandwirkung, bei denen mehrere Bezugsorte zeitgleich betroffen sind (Bsp. Chlorothalonil), machen die Aufrechterhaltung der Wasserversorgung mancherorts schwierig. Effekte des Klimawandels wie temporäre Trockenheit oder erhöhter Bewässerungsbedarf, Pflanzenschutzmittel und bei deren Abbau entstehende Metaboliten oder Mikroverunreinigungen aus Industrie und Siedlung sind Beispiele von aktuellen Herausforderungen. Sie können zu Ereignissen führen, deren Auswirkungen mit unseren heutigen Strategien nicht oder nur schwer abzufedern sind. In diesem Pilotprojekt wurden neue Möglichkeiten für eine Erschliessung von Karstgrundwasser aufgezeigt. Damit liegen gerade am Jura-Südfuss durchaus valable Möglichkeiten zur Diversifizierung der Wasserbeschaffung und damit zur Risikodiversifizierung vor. Denn die Karst-Grundwasserressource ist nicht denselben Risiken ausgesetzt wie die Lockergesteins-Grundwasserleiter. Damit lässt sich die heutige Abhängigkeit der Wasserversorgung von den grossen alluvialen Grundwasserleitern reduzieren. Denn ein zweites Standbein mit Fassungen, die nicht nur hydrogeologisch unterschiedlich sind, sondern auch unterschiedliche Risikoprofile aufweisen, birgt Sicherheit und erhöht die Resilienz der Wasserversorgung. Mehrere Bezugsorte mit unterschiedlichem Risikoprofil ermöglichen auch bei Ereignissen mit Breitbandwirkung eine schnelle Umschaltung auf einen alternativen Bezugsort.

Der aufgezeigte Ansatz bildet ein Element der angesichts persistenter Belastungen sowie der Folgen des Klimawandels angebrachten Diversifizierung der Wasserversorgung. So will etwa der Kanton Solothurn mit dem Solothurner Wasser-*Swan*<sup>4</sup> eine qualitativ und quantitativ gesicherte Wasserversorgung für die

<sup>4</sup> <https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/wasser/integrale-wasserwirtschaft/solothurner-wassernetz/>

Zukunft sicherstellen. Mit einer Verbesserung der Vernetzung der Bezugsorte und Ausbau der Infrastrukturen sollen Engpässe bei der Wasserversorgung vermieden werden. *Swan* basiert unter anderem auf der Erschliessung und Nutzung von unterschiedlichen Wasserressourcen mit unterschiedlichen Risikoprofilen. Die Nutzung von Karstwasser – wie in dieser Studie aufgezeigt – spielt dabei eine wichtige Rolle.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sinreich M. et al. (2012): Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten. *Aqua & Gas*, 9: 16–28
- [2] BAFU (Hrsg.) (2019): Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1901: 138 S.
- [3] Hunkeler, D. et al. (2021). Effect of Climate Change on Groundwater Quantity and Quality in Switzerland. *Hydro-CH2018 Project*. Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Switzerland. 80 pp.
- [4] Waber, H. N. et al. (2015) : Tiefengrundwasser – Vorkommen, Nutzungspotenzial und Schutzwürdigkeit. *Aqua & Gas*, 4: 32–41
- [5] Jeannin, P.-Y. et al. (2013): KARSYS, a pragmatic approach to karst hydrogeological system conceptualisation. *Assessment of groundwater reserves and resources in Switzerland. Environmental Earth Sciences*, 69(3): 999–1013
- [6] ISSKA (2012) : Synthèse hydrogéologique des systèmes karstiques du canton de Berne. Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie. Rapport final non publié – mandant : Office des Eaux et des Déchets du canton de Berne, 13 p.
- [7] ISSKA (2020): Aquifères karstiques du canton de Soleure/application KARSYS – Karst-Grundwasser im Kt. Solothurn. Anwendung KARSYS. Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung. Schlussbericht – Auftraggeber: Amt für Umwelt, Kt. Solothurn, 113 S.
- [8] Malard, A.; Sinreich, M.; Jeannin, P.-Y. (2016): A novel approach for estimating karst groundwater recharge in mountainous regions and its application in Switzerland. *Hydrological Processes*, 30(13): 2153–2166
- [9] Pasquier, F. (1986) : Hydrodynamique de la nappe du Gäu (contons de Soleure et Berne). Thèse université Neuchâtel
- [10] Furrer, R.; Fleig, M.; Brauch, H.-J. (2000): Wasserförderung und -Aufbereitung im Rheineinzugsgebiet. Bericht der Internationalen Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet.

Rhein-Themen. Karlsruhe: DVGW-Technologiezentrum Wasser

- [11] Dillon, P. et al. (2019): Sixty Years of Global Progress in Managed Aquifer Recharge. *Hydrogeology Journal*, 27(1): 1–30
- [12] Ghiglieri, G. et al. (2014): Design of artificial aquifer recharge systems in dry regions of Maghreb (North Africa). Abstract volume of Flowpath, National Meeting on Hydrogeology, Italy, June 2014: 144–145
- [13] San Antonio Water Systems (2017). SAWS 2017 Water Management Plan: 94 p, [https://www.saws.org/wp-content/uploads/2019/02/20171107\\_SAWS-2017-Water-Management-Plan.pdf](https://www.saws.org/wp-content/uploads/2019/02/20171107_SAWS-2017-Water-Management-Plan.pdf)
- [14] ISSKA (2017). Etude d'impact sur la grotte de Milandre. Rapport final. Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie, rapport non publié – Mandant : OFROU, 309 p.

## > SUITE DU RÉSUMÉ

Tant les sources karstiques que ces circulations souterraines cachées présentent un potentiel intéressant d'eau exempte de polluants persistants, qui pourrait être utilisé pour l'alimentation en eau potable.

La première étape du Projet «De l'eau karstique pour l'eau potable» présentée ici avait pour but d'évaluer ces ressources et d'identifier des cibles potentielles pour des exploitations. L'analyse a mis en évidence un flux de 1 à 2 m<sup>3</sup>/s utilisable, ce qui correspond à l'alimentation de 300 000 à 600 000 habitants. Une cinquantaine de cibles potentielles ont été identifiées pour l'exploitation de cette ressource et il conviendra dans l'étape suivante de les documenter de manière suffisamment précise pour proposer des projets concrets de gestion active des eaux souterraines. Par gestion active, l'idée est, p.ex., de recharger artificiellement les aquifères pendant l'hiver pour y stocker de l'eau, afin de pouvoir la récupérer en été lorsque la demande dépasse l'offre.