

Regionale Wasserversorgung Basel-Landschaft 21

Gesamtsynthese

Adrian Auckenthaler und Urs von Gunten (Hrsg.)



BASEL
LANDSCHAFT

eawag
aquatic research

Universität
Basel

ETH zürich

EPFL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

u^b
UNIVERSITÄT
DU SAARLANDE

Impressum

Redaktion:

Dr. Adrian Auckenthaler
Dr. Sebastian Stoll
Prof. Dr. Urs von Gunten

Autoren:

Dr. Adrian Auckenthaler
Dr. Michael Besmer
Dr. Jannis Epting
Dr. Frederik Hammes
Prof. Dr. Juliane Hollender
Prof. Dr. Peter Huggenberger
Prof. Dr. Karin Ingold
Dr. Eva Lieberherr
Dr. Tony Merle
Dr. Christian Möck
Dr. Dirk Radny
Prof. Dr. Urs von Gunten
Dr. Alexander Widmer

In Zusammenarbeit:

Dr. Dominik Bänninger, Achim Benthaus, Dr. Michael Berg, Dr. Rainer Fretz-Männel, Thomas Gabriel, Thomas Meier, Prof. Dr. Mario Schirmer, Heinz Singer, Dr. Stefanie Weber.

Projekt Regionale Wasserversorgung Basel-Landschaft 21

Gesamtprojektleitung:

Dr. Adrian Auckenthaler, Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Landschaft
Prof. Dr. Urs von Gunten, Eawag und EPFL

Projektkoordination:

Dr. Paul Borer, Eawag
Dr. Sebastian Stoll, Eawag

Steuerungsgruppe:

Dr. Alberto Isenburg, Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Landschaft
Dr. Tove Larsen, Eawag
Prof. Dr. Hansruedi Siegrist, Eawag
Dr. Peter Wenk, Amt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen

Begleitgruppe:

Dr. Richard Hürzeler, F. Hoffmann-La Roche AG
Dr. Kurt Rüegg, Energie Wasser Luzern und SVGW
Dr. Andreas Peter, Wasserversorgung Zürich
Dr. Michael Schärer, Bundesamt für Umwelt
Pierre Studer, Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen

Liestal, Dübendorf, Oktober 2016

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
3	Karstsysteme und mikrobiologische Trinkwassersicherheit (TP1)	5
3.1	Ausgangslage.....	5
3.2	Spezifische methodische Neuerungen.....	5
3.3	Erkenntnisse aus den Fallstudien.....	6
4	Flussnahe Trinkwasserfassungen (TP2)	11
4.1	Einfluss von Fluss-Grundwasser Interaktionen auf die Grundwasserqualität.....	11
4.2	Auswirkungen von Revitalisierungen auf die Rohwasserqualität.....	13
4.3	Überwachung, Management und Aufbereitung von flussnahem Grundwasser.....	15
5	Wassermanagement Hardwald (TP3)	17
5.1	Ausgangslage Hardwald.....	17
5.2	Verwendete Methoden.....	17
5.3	Charakterisierung verschiedener Grundwässer.....	18
5.4	Einmischung des infiltrierten Rheinwassers.....	18
5.5	Verteilung der Stoffe am Feststoff und im Grundwasser.....	19
5.6	Stoffeintrag über die Rheinwasserinfiltration.....	19
5.7	Dynamik der Fließverhältnisse.....	20
5.8	Modellierung der Grundwasserströmungsverhältnisse.....	21
5.9	Adaptives Grundwassermanagement.....	22
5.10	Beurteilung der Sicherheit der Trinkwasserbrunnen.....	22
5.11	Nutzen der Sanierung der Deponie Feldreben.....	23
6	Trinkwasseraufbereitung Hardwald (TP4)	24
6.1	Ausgangslage.....	24
6.2	Laborexperimente.....	25
6.3	Pilotanlage.....	27
6.4	Folgerungen aus den Experimenten im Labor- und Pilotmasstab für den Betrieb der Wasseraufbereitung im Hardwald.....	29
6.5	Vergleichende Betrachtungen.....	31
7	Organisationsstrukturen der Wasserversorgung (TP5)	33
7.1	Herausforderungen und Ziele der Wasserversorgung.....	33
7.2	Organisationsformen.....	35
7.3	Umsetzung der Regionalisierung.....	38
8	Vergleich der heutigen Wasserversorgungen	41
8.1	Water Safety Management in den verschiedenen Grundwassersystemen.....	41
8.2	Risiken in den Einzugsgebieten und allgemeiner Gewässerschutz.....	42
8.3	Grundwasserschutzzonen und konkurrierende Nutzungen.....	43
8.4	Wasserqualität und Trinkwasseraufbereitung.....	45
9	Versorgungssicherheit	50
10	Ausblick	54
10.1	Wasserversorgungen in urbanen Regionen.....	54
10.2	Wasserversorgung in ländlichen Regionen.....	54
10.3	Instrumente zur Förderung der Zusammenarbeit und der Umsetzung der Regionalisierung.....	55
10.4	Auswirkungen der Regionalisierung auf die Wasserversorgungen.....	56
11	Empfehlungen	58

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die 260'000 Einwohner des Kantons Basel-Landschaft werden durch 95 Wasserversorgungen mit Trinkwasser versorgt. Die grösseren Wasserversorgungen liegen in den urban genutzten Tälern, in denen sich auch die bedeutenden Grundwasservorkommen befinden. Die Herausforderungen bei der Nutzung dieses Grundwassers liegen einerseits in der Konkurrenz des Grundwasserschutzes mit Siedlungsgebieten und andererseits beim Eintrag von Spurenstoffen, die hauptsächlich über die Abwasserreinigung via Oberflächengewässer ins Grundwasser eingetragen werden. Die kleineren Wasserversorgungen liegen in den Hügellagen und nutzen neben geringmächtigen Grundwasservorkommen im Lockergestein hauptsächlich Karstquellen. Hier bilden die landwirtschaftlichen Aktivitäten und die kleineren Kläranlagen im Einzugsgebiet sowie der rasche Eintrag von Mikroorganismen über präferenzielle Fliesswege bei Niederschlagsereignissen die Herausforderungen. Der Vernetzungsgrad der Wasserversorgungen in den 86 Gemeinden besteht heute hauptsächlich aus technischen Systemen wie Verbindungsleitungen. Organisatorisch sind die meisten Wasserversorgungen unabhängig.

Mit dem Projekt „Regionale Wasserversorgung Basel-Landschaft 21“ wurden Methoden zur Erfassung und Beurteilung der mikrobiologischen und chemischen Wasserqualität erarbeitet, weitergehende Aufbereitungsmethoden zur Entfernung von Spurenstoffen im Hardwald ermittelt und geeignete Zusammenarbeitformen für die Wasserversorgungen aufgezeigt. Die Arbeiten wurden in verschiedenen für den Kanton typischen Modellregionen und an Modellstandorten durchgeführt.

Die Dynamik der Qualitätsveränderung bei Karstquellen konnte mit der Online-Durchflusszytometrie sehr gut beschrieben werden. Es zeigte sich, dass die direkte Messung der Mikroorganismen nicht wirklich durch abiotische Proxies wie die Leitfähigkeits-, oder Trübungsmessung ersetzt werden kann. Bei belasteten Quellen kann ein Wassermanagement deshalb die Aufbereitung nicht ersetzen. Auch Fluss-Grundwasser-Interaktionssysteme zeigen bei Hochwässern starke qualitative Veränderungen, einerseits bei mikrobiologischen Parametern und andererseits bei Spurenstoffen. In diesen Systemen sind jedoch auch die Trockenwettersituationen für den Eintrag von Spurenstoffen ins Grundwasser relevant. An allen untersuchten Standorten mit Oberflächenwassereinfluss konnten von 543 ausgewählten Substanzen zwischen 40 und 60 im Grundwasser nachgewiesen werden. Die gemessenen Konzentrationen im Bereich von tiefen ng/L lagen jedoch stets unterhalb der gesetzlichen Anforderungen.

Für die flussnahen Trinkwasserfassungen kann der Zustrom von regionalem Grundwasser ebenfalls bedeutend sein und wesentlich zur Spurenstoffbelastung beitragen. Für die Abschätzung der unterschiedlichen Grundwasseranteile in einer Fassung eignen sich Grundwasserströmungsmodelle. Sie dienen auch zur Beurteilung von Gefährdungssituationen oder der Auswirkungen von Revitalisierung von Flüssen. Je komplexer die Systeme sind, desto bedeutender sind Modellierungen und Szenarioberechnungen für verschiedene hydraulische Zustände. Dies zeigt sich insbesondere für die Wasserversorgung im Hardwald, deren Betriebssicherheit wesentlich von der kontinuierlichen und optimierten Verteilung des Rheinwasserinfiltrats abhängig ist. Für das Verständnis von kleinskaligen Prozessen oder zu Identifizierungen von Beimischungen geringer Wassermengen aus regionalen oder lokalen dynamischen Systemen braucht es neben Modellberechnungen jedoch auch eine vertiefte Analyse von geochemischen Daten, Isotopenmessungen oder Spurenstoffuntersuchungen.

Bei der Infiltration von Rheinwasser im Hardwald werden etwa 50% der im Rhein vorhandenen Spurenstoffe entfernt. Die im Grundwasser des Hardwalds gemessenen Spurenstoffe lassen sich in Abhängigkeit der Laufzeit des vorhandenen Aktivkohlefilters weitestgehend entfernen. Mittels Aktivkohlefiltern im Labormassstab konnte das Durchbruchverhalten von Stoffen simuliert und Rückschlüsse auf die Betriebsdauer der Grossanlage gezogen werden. Eine zusätzliche Oxidationsstufe könnte die Betriebsdauer des Aktivkohlefilters erhöhen und eine zusätzliche Sicherheit für schlecht adsorbierbare Substanzen sein.

Die Wasserversorgungen sind sich ihren Herausforderungen durchaus bewusst. Grösste Priorität haben für sie der Ressourcenschutz und die Versorgungssicherheit, gefolgt von der Trinkwasserquali-

tät. In ländlichen Gebieten sind auch die finanziellen Aspekte und die Erneuerung der Infrastruktur von Bedeutung. Ist der Problemdruck in den Wasserversorgungen gross, tendieren sie dazu, die Aufgaben in eigener Regie zu lösen. Ansonsten steht der Zweckverband, unter Wahrung der eigenen Mitsprache, als Organisationsstruktur zur gemeinsamen Lösung der Herausforderungen im Vordergrund. Es zeigt sich auch, dass zur Umsetzung des Ressourcenschutzes eine Koordination mit anderen Sektoren, wie der Raumplanung und der Landwirtschaft wichtig ist.

Im Projekt „Regionale Wasserversorgung Basel-Landschaft 21“ wurden verschiedene Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Grundwassersystemen erarbeitet und Lösungsansätze zur Optimierung der Trinkwassersicherheit entwickelt. Auch wurde aufgezeigt, wie der Kanton die Wasserversorgungen bei Regionalisierungsprozessen unterstützen kann. Nun liegt es an den verschiedenen Akteuren und Entscheidungsträgern, die Erkenntnisse umzusetzen und so zu einer langfristig guten Trinkwasserqualität beizutragen.

2 EINLEITUNG

Das Trinkwasser im Kanton Basel-Landschaft wird ausschliesslich aus natürlichem oder künstlich angereichertem Grundwasser gewonnen. Die Wasserversorgungen stehen jedoch vor grossen Herausforderungen, da ein erheblicher Nutzungsdruck gegenüber den Trinkwasserschutzgebieten besteht und mikrobiologische und chemische Belastungen z.T. Trinkwasseraufbereitungen notwendig machen.

Die Siedlungs-, Gewerbe- und Industriegebiete konzentrieren sich hauptsächlich auf die Tallandschaften des Rheins, der Birs und der Ergolz, die gleichzeitig auch die bedeutendsten Grundwasservorkommen aufweisen. Dieses Grundwasser wird für die Wasserversorgung von rund 350'000 Menschen genutzt. Die Industriegeschichte und die weiteren zahlreichen Nutzungen durch Siedlungsgebiete, Verkehrswege und die Abwasserentsorgung in den Talsohlen haben zu einer Gefährdung und teilweise auch zu Belastungen des Grundwassers geführt.

Im Gegensatz zu den Haupttälern sind die hügeligen Gebiete des Kantons BL durch ihre ländliche Struktur geprägt. In diesen Gebieten sind vergleichsweise wenige Nutzungen vorhanden. Die zu Trinkwasserzwecken genutzten Grundwasserkörper sind aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten dennoch gefährdet. Durch die meist schlechte Filterwirkung des karstigen Untergrundes können insbesondere durch Viehwirtschaft fäkale Verunreinigungen bis in die genutzten Quellen und teilweise ins Trinkwasser gelangen.

Sowohl in den drei Haupttälern des Rheins, der Birs und der Ergolz als auch in den hügeligen Gebieten sind die Wasserversorgungen somit heute vor grosse Herausforderungen gestellt.

Im Projekt „Regionale Wasserversorgung BL 21“ wurden in 5 Teilprojekten (siehe Abbildung 2.1) die Wasserqualität und die Herkunft von Mikroorganismen und Spurenstoffen in verschiedenen Grundwassersystemen bei unterschiedlichen hydraulischen Gegebenheiten untersucht. Dabei wurden Möglichkeiten zur weitergehenden Trinkwasseraufbereitung im Hardwald evaluiert und analysiert und ob die Wasserversorgungen die anstehenden Herausforderungen mit den bestehenden Organisationsstrukturen lösen können.

Im **Teilprojekt 1** wurde Trinkwasser aus Karstgebieten hinsichtlich der mikrobiologischen Sicherheit untersucht. Der Fokus lag dabei auf der Beschreibung der kurz- und langfristigen Dynamik der mikrobiologischen Wasserqualität von Karstquellen und des Aufwuchses von Bakterien. Dazu wurde neben anderen Methoden die Online-Durchflusssyztometrie eingesetzt.

Die Fluss-Grundwasser-Interaktion und die Auswirkungen von Revitalisierungen auf die Grundwasserqualität wurden im **Teilprojekt 2** untersucht. Dabei wurden ausgewählte Fliessgewässer und Grundwasserleiter bei Trockenwetter und Hochwasserereignissen beprobt und Modellierungen der Grundwasserströmungsverhältnisse durchgeführt, um für flussnahe Wasserfassungen die Belastungen mit Bakterien und Spurenstoffen abzuschätzen.

Die **Teilprojekte 3 und 4** betrafen die Trinkwassersicherheit im Hardwald. Einerseits wurden diverse Analysen, ein Markierversuch und Modellierungen der Grundwasserströmungsverhältnisse durchgeführt, um das Wassermanagement von künstlicher Infiltration und Trinkwasserentnahme zu optimieren. Andererseits wurde mit Laboranalysen und einer Pilotanlage die Wirkung der vorhandenen Trinkwasseraufbereitung mit Aktivkohle untersucht und abgeklärt, inwiefern zusätzliche oxidative Aufbereitungsschritte zur weitergehenden Entfernung von Spurenstoffen oder der Verlängerung der Laufzeit der Aktivkohlefilters beitragen können.

Das **Teilprojekt 5** beschäftigte sich mit den Organisationsformen der Wasserversorgungen und mit dem Regionalisierungspotential. Mit Befragungen der Stakeholder und Experten wurden die Herausforderungen in den Wasserversorgungen ermittelt und die Präferenzen der Zusammenarbeit unter den Wasserversorgungen und zwischen Gemeinden und dem Kanton identifiziert.

In der Gesamtsynthese des Projektes „Regionale Wasserversorgung BL 21“ werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und die Auswirkungen für die Wasserversorgungen und den Kanton

aufgezeigt. In den Kapiteln 3 bis 6 sind die Ergebnisse der 5 Teilprojekte zusammengestellt. Anschliessend werden in den Kapiteln 7 und 8 die verschiedenen Grundwassersysteme vergleichend beurteilt, unter Einbezug der Aspekte der quantitativen Versorgungssicherheit. Im Kapitel 9 „Ausblick“ wird skizziert, wie die Wasserversorgungen im ländlichen und urbanen Raum in Zukunft aussehen könnten. Die Empfehlungen für das weitere Vorgehen sind im Kapitel 10 aufgeführt.

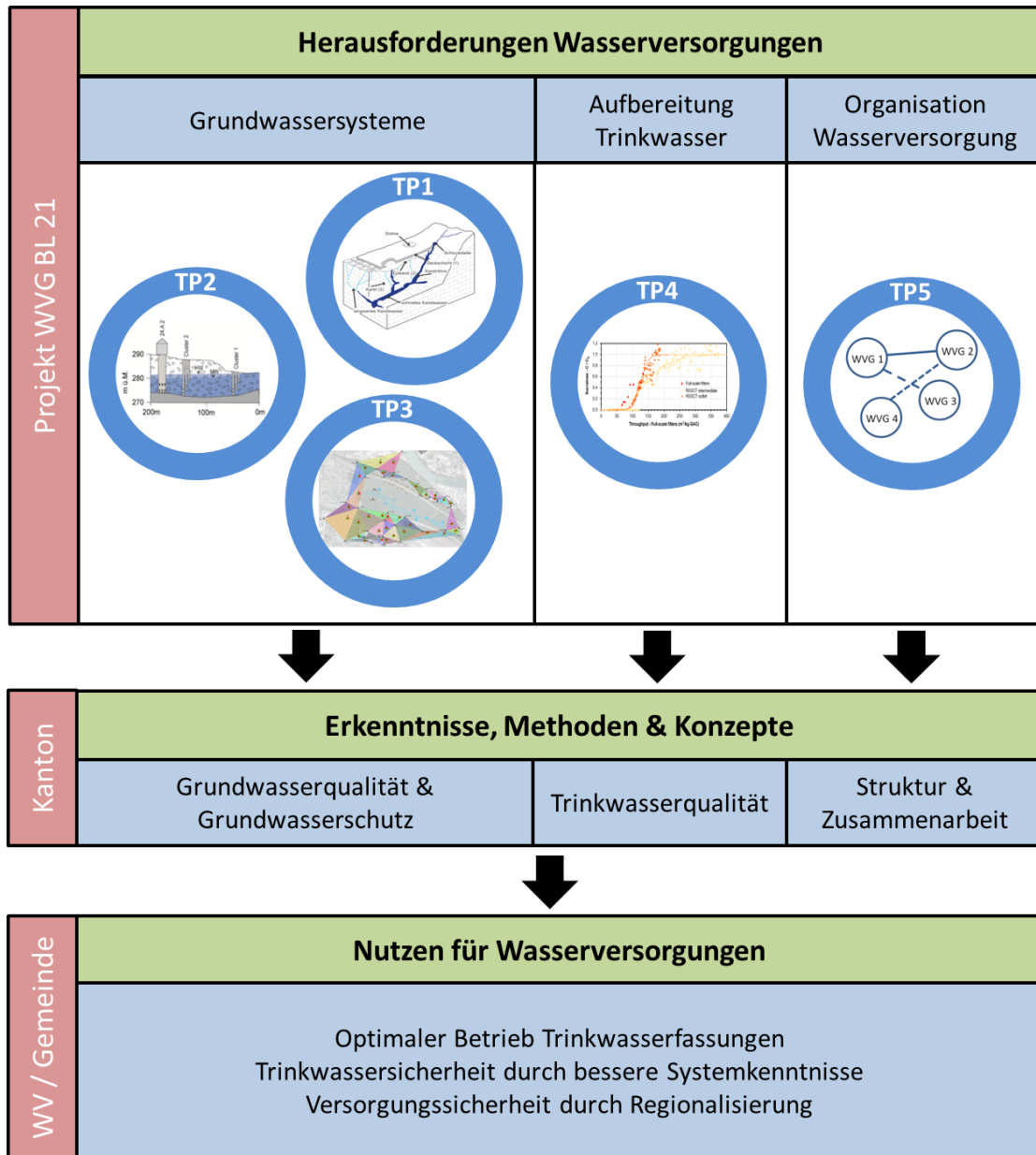


Abb. 2.1: Struktur Projekt „Regionale Wasserversorgung Basel-Landschaft 21“: Die fünf Teilprojekte zur Beschreibung der Grundwassersysteme (Karst, Fluss-Grundwasser-Interaktion und Hardwald), zur Wirkung der Trinkwasseraufbereitung und zur Organisation in der Wasserversorgung liefern dem Kanton Erkenntnisse, Methoden und Konzepte zur Grund- und Trinkwasserqualität und zum Grundwasserschutz sowie zur Struktur und Zusammenarbeit der Wasserversorgungen. Die Wasserversorgungen können daraus einen Nutzen ziehen unter anderem für den Betrieb ihrer Fassungen, die regionale Zusammenarbeit und die Versorgungssicherheit.

3 KARSTSYSTEME UND MIKROBIOLOGISCHE TRINKWASSERSICHERHEIT (TP1)

3.1 AUSGANGSLAGE

In den hügeligen, ländlich geprägten Gebieten des Kantons Basel-Landschaft basiert die Trinkwasserversorgung vielerorts auf Karstquellen. Gerade kleinere Gemeinden sind auf die Nutzung dieser Wasserressourcen angewiesen, da die Möglichkeit Wasser aus Lockergesteinsgrundwasserleitern (z.B. durch regionale Verbindungsleitungen) zu beziehen teilweise fehlen. Die Trinkwasseraufbereitung wird sehr unterschiedlich gehandhabt und reicht von einfachen UV-Anlagen bis zu mehrstufigen Anlagen. Die Karstquellen weisen eine starke zeitliche Variabilität und eine erhöhte Vulnerabilität auf. Grund dafür ist ein duales Fliessverhalten durch „schnelle“ (Hohlraumsystem) und „langsame“ (diffuses System) Wasserkomponenten. In Trockenwettersituationen wird die Quellschüttung durch das diffuse System dominiert, das in der Regel gut gefiltertes Wasser liefert. Bei Niederschlagsereignissen wird das Hohlraumsystem aktiviert, durch welches Wasser rasch von der Oberfläche in den Untergrund und zu den Quellen gelangen kann. Aufgrund der deutlich geringeren Filtrationswirkung besteht während dieser Phasen eine grössere Wahrscheinlichkeit von erhöhten Konzentrationen an Mikroorganismen im Quellwasser.

Das mikrobiologische Risiko in Karstquellen unterscheidet sich folglich hinsichtlich der räumlichen und insbesondere der zeitlichen Variabilität. Dadurch treten mit unterschiedlicher Häufigkeit und Stärke Abweichungen der Bakterienkonzentration im Vergleich zu mittleren hydrologischen Randbedingungen und während Basisabfluss der Quellen auf. Da die Risiken von Verunreinigungen des Quellwassers in Zukunft angesichts der zunehmenden Landnutzung, dem Bevölkerungswachstum sowie verstärkten Wetterschwankungen, inklusive Extremereignissen eher zunehmen, sind belastbare Grundlagen für eine Verbesserung des planerischen Grundwasserschutzes und des Schutzes des Trinkwassers von Bedeutung. Mikrobiologische Risiken im Trinkwasser werden beeinflusst durch: (1) den Schutz der Grundwasserressourcen, (2) ein gutes Verständnis der Systemeigenschaften und Kontaminationsdynamiken, (3) eine adäquate Trinkwasseraufbereitung und (4) ein intaktes Leitungsnetz. Bei einigen Quellen wird die Quellschüttung mittels Online-Messung erfasst. Des Weiteren wird die Trübung bei fast allen Quellen mit UV-Desinfektion (ca. 70 % aller Quellen) via Online-Messung erfasst, um eine ausreichende Bestrahlungsintensität zu gewährleisten.

Für mikrobiologische Parameter existieren aktuell noch keine verlässlichen Online-Messungen oder Sensoren. Das Monitoring der mikrobiologischen Wasserqualität erfolgt durch die Analyse von erhobenen Proben durch das Amt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (ALV) BL. Turnus und Umfang der Probenahmen richten sich nach der Abgabemenge von Trinkwasser und erfolgen mindestens einmal pro Quartal (maximal alle 14 Tage). Die Analysen erfolgen mittels Plattierung für die aerobe mesophile Keimzahl (AMK), sowie für die Indikatororganismen *E. coli*, Enterokokken und Clostridien. Dadurch ist das Wissen über zeitliche Fluktuationen (und die räumliche Variabilität) der mikrobiologischen Wasserqualität der Karstquellen begrenzt. Dies beeinträchtigt die Risikobeurteilung der Variabilität sowie die diesbezügliche Evaluation bestehender Monitoring-Strategien und Trinkwasseraufbereitungen.

Dieses Teilprojekt untersuchte parallel zu den konventionellen Methoden alternative Monitoring- und Modellierungsansätze für die Beurteilung von Dynamiken in Karstquellen, der Trinkwasseraufbereitung und den Verteilnetzen. Diese Untersuchungen erfolgten anhand mehrerer Fallstudien mit einem Fokus auf der Modellregion Waldenburgertal.

3.2 SPEZIFISCHE METHODISCHE NEUERUNGEN

Zur Beschreibung der hydrogeologischen Situation, der Ermittlung der Vulnerabilität und mikrobiologischer Veränderungen von Karstquellen, sowie der Evaluation der Netzwasserstabilität wurden verschiedene Methoden angewandt.

Die Durchflusszytometrie wurde als Methode zur raschen, exakten und direkten Bestimmung der Totalzellzahl eingeführt. Die automatisierte Online-Durchflusszytometrie wurde als Werkzeug für das

Online-Monitoring von mikrobiologischen Dynamiken mit hoher zeitlicher Auflösung (alle 15 Minuten) während längerer Messperioden (Wochen bis Monate) zum ersten Mal überhaupt im Feld eingesetzt.

Die Verletzlichkeit der Karstquellen für mikrobiologische Verunreinigungen kann mit Hilfe des dynamische Vulnerabilitätsindex (DVI) ermittelt werden, welcher auf der hydrologischen Modellierung der schnellen und langsamen Wasserwege basiert. Anhand von Niederschlags-, Evapotranspirations- und Quellschüttungsdaten wird der zeitliche Verlauf des Verhältnisses von schnellen und langsamen Wasserkomponenten bestimmt. Daraus wird ermittelt, wann Belastungen in Quellen auftreten können. Zudem ist der DVI eine wichtige Grundlage für den planerischen Grundwasserschutz.

Online-Messpanels zur Erfassung der Dynamiken mehrerer abiotischer Variablen wurden an einem Standort mit drei Quellen installiert. Die multivariate Analyse der abiotischen Variablen wurde mit dem Ziel eingesetzt, bessere Aussagen über die Stabilität und Dynamiken in der Wasserqualität machen zu können, als dies aufgrund einzelner Variablen möglich ist.

Biofilmfallen wurden an verschiedenen Stellen in Verteilnetzen installiert und nach mehreren Monaten nebst konventionellen Methoden auch mittels Sequenzierung analysiert. Dadurch konnten die indigenen mikrobiologischen Gemeinschaften in den Biofilmen von Trinkwasserverteilsystemen detailliert charakterisiert werden.

3.3 ERKENNTNISSE AUS DEN FALLSTUDIEN

3.3.1 NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE FÜHREN ZU VERUNREINIGUNGEN IN KARSTQUELLEN

In mehreren intensiven Monitoring-Kampagnen wurden Bakterienkonzentrationen während drei Jahren in insgesamt sechs Quellen untersucht. Hierbei wurden sowohl Trockenwetterbedingungen (i.d.R. keine oder nur geringe Belastungen der Quellen), als auch Tage nach Niederschlägen und mögliche Einflüsse durch oberflächennahe Verunreinigungen erfasst. Anhand dieser Beispiele konnte gezeigt werden, dass in den untersuchten Quellen Niederschlagsereignisse die dominanten Treiber für die zeitliche Variabilität in der Bakterienkonzentration sind. Nach Niederschlagsereignissen mit einer Intensität von mehr als rund 10 mm pro Tag zeigte sich ein Anstieg der Quellschüttung, der Totalzellzahl sowie der Indikatororganismen. Die Reaktionszeit war von Quelle zu Quelle unterschiedlich und reichte von wenigen Stunden bis zu rund einem Tag. Haupteinflussfaktoren bezüglich Dauer und Intensität der mikrobiologischen Veränderungen waren die lokale Geologie, die Vegetation im Einzugsgebiet, die Intensität des Niederschlagsereignisses, die vorherige Bodenfeuchte sowie die Jahreszeit. Die Zunahme der Totalzellzahl nach Niederschlagsereignissen erreichte teilweise einen Faktor von 50 und die Konzentration an Indikatororganismen stieg dabei auf über $1'500 \text{ KBE } 100 \text{ mL}^{-1}$ an.

Basierend auf der Analyse von Niederschlagsmessungen und den intensiven Online-Durchflussszytometrie-Messungen wurde die durchschnittliche Anzahl Niederschlagsereignisse mit nachfolgendem Anstieg der Bakterienkonzentration auf rund 30 pro Jahr geschätzt. Das Ausmass der Zunahme in der Bakterienkonzentration variiert von Quelle zu Quelle (und ebenso zwischen verschiedenen Niederschlagsereignissen). Es muss aber damit gerechnet werden, dass alle Quellen eine ähnliche Anzahl an Ereignissen mit erhöhten Bakterienkonzentrationen aufweisen.

3.3.2 VULNERABILITÄT VON QUELLEN

Die hydrogeologischen Vulnerabilitätsstudien konzentrierten sich auf die Quellen Martinsmatt der Gemeinde Oberdorf sowie die z'Hof Quellen der Gemeinden Nieder- und Oberdorf im Waldenburgerthal. Zudem wurden Resultate aus Referenzgebieten, welche im Rahmen von früheren Arbeiten untersucht wurden, einschliesslich der Lützelquelle der Gemeinde Röschenz, sowie der Tugmatt-, Wolfenried- und Untere Rappenfluhquellen der Gemeinde Frenkendorf beigezogen.

Die hydrologischen Messungen zeigen, dass im Untersuchungszeitraum 2014 und 2015 im Vergleich zum langjährigen Mittel, im Winter eher kalte und trockene Bedingungen vorherrschten, während es von Juni bis August feucht und warm war. Da die Grundwasserneubildung hauptsächlich während des Winterhalbjahres stattfindet, spiegelten sich die vergleichsweise trockenen Bedingungen auch in ge-

ringen Quellschüttungen wider. Bezüglich der Repräsentativität des Untersuchungszeitraums müssen die vergleichsweise trockenen Bedingungen bei der Interpretation der hydrologischen Modellierung aber auch bei der Interpretation der abiotischen und mikrobiologischen Messungen berücksichtigt werden.

Geologische 3D-Modelle ermöglichen eine Analyse des unterirdischen Zustroms zu Quellen (Einzugsgebietsgrösse, Volumen der grundwasserleitenden Schichten). Die Kenntnis von ober- und unterirdischen Einzugsgebieten und Kompartimenten verschiedener geologischer Einheiten ist eine wichtige Grundlage für den planerischen Schutz des Grundwassers in Karstgebieten. Die Grössen der kalibrierten Einzugsgebiete liegen zwischen 16 ha und 1 km² (total 2.0 km²). Unter Berücksichtigung der geologischen Strukturen und der geochemischen Signatur umfasst das unterirdische Einzugsgebiet der Martinsmattquelle episodisch (in Abhängigkeit des hydrologischen Zustandes während niederschlagsreichen Perioden) weitere, teilweise über Kluftsysteme verbundene, Aquifer-Kompartimente. Bei den z'Hof Quellen der Gemeinden Oberdorf und Niederdorf steht das unterirdische Einzugsgebiet ebenfalls mit weiteren Aquifer-Kompartimenten, welche über Kluftsysteme verbunden sind, in Verbindung. Aufgrund der vorliegenden Daten kann ein starker Zusammenhang zwischen Quellschüttung und kalibrierten Einzugsgebietsgrössen für die untersuchten Karstsysteme abgeleitet werden. Dies erlaubt es, auf Grundlage der mittleren Quellschüttung, das Einzugsgebiet von Karstsystemen, in denen keine Detailuntersuchungen durchgeführt wurden, abzuschätzen.

3.3.3 DIE TOTALZELLZAHL EIGNET SICH FÜR DIE MESSUNG MIKROBIOLOGISCHER BELASTUNGEN IN KARSTQUELLEN

Im Grundwasser leben harmlose, indigene Bakterien, deren Konzentration unter Normalbedingungen zwischen 5'000 und 50'000 Zellen mL⁻¹ beträgt. Dies wurde während Trockenwetter in den meisten untersuchten Quellen bestätigt. Zur Detektion von Verunreinigungen des Grundwassers durch fäkale Pathogene (z.B. *Campylobacter*, *Salmonella*) aus der Landwirtschaft oder Entlastungen von Kläranlagen in infiltrierende Oberflächengewässer wird die Plattierung von Indikatororganismen (z.B. *E. coli*, Enterokokken) eingesetzt. Die AMK-Plattierung wird Zwecks Aussagen zur allgemeinen mikrobiologischen Qualität durchgeführt. In allen untersuchten Quellen, in denen die Durchflusszytometrie parallel zur Plattierung angewendet wurde, zeigte sich eine klare zeitliche Übereinstimmung der Anstiege in den gemessenen Konzentrationen. Während die Totalzellzahl von einer (in der Regel) tiefen Basislinie aus anstieg, lag die Konzentration der Indikatororganismen während Trockenwetter oft bei 0 KBE 100 mL⁻¹ und stieg je nach Quelle und Niederschlagsereignis unterschiedlich stark an. Ungeachtet verschiedener Proportionalitäten sowie leichten Unterschieden in den zeitlichen Verläufen war die Totalzellzahl stets ein robuster und zugleich sensitiver Parameter, um Veränderungen in der Bakterienkonzentration zu ermitteln. Hingegen wies die Analyse der AMK oftmals starke (methodenbedingte) Streuungen auf, was eine Interpretation enorm erschwerte oder sogar verunmöglichte. Ein weiterer Vorteil der Analysen mittels Durchflusszytometrie liegt in deren Automatisierbarkeit, die ebenfalls im Rahmen dieses Projektes demonstriert wurde. Damit bietet sich die Totalzellzahl als wertvoller Parameter für mikrobiologische Verunreinigungen in (Karst-) Quellen an. Insbesondere kann durch das Monitoring ein optimales System- und Prozessverständnis erarbeitet werden. Dies gilt insbesondere für die Bereiche der Trinkwasseraufbereitung und -verteilung, wo Indikatororganismen typischerweise nicht oder nur in sehr tiefen Konzentrationen auftreten.

3.3.4 VERSCHIEDENE ABIOTISCHE VARIABLEN REAGIEREN NACH NIEDERSCHLAGSEREIGNISSEN

In der Fallstudie Oberdorf wurden mittels Online-Messpanels während zwei Jahren kontinuierlich abiotische Messungen aufgezeichnet. Parallel dazu wurden mit dem Online-Durchflusszytometer zwei Messkampagnen von insgesamt mehr als vier Monaten durchgeführt, wobei mehrere Niederschlagsereignisse erfasst wurden. Die abiotischen Variablen Quellschüttung (Q), Spektraler Absorptionskoeffizient (SAK), Trübung und elektrische Leitfähigkeit zeigten klare Reaktionen nach Niederschlagsereignissen. Temperatur und pH erwiesen sich an diesen Standorten hingegen als wenig sensitiv. Ein detaillierter Vergleich mit der Totalzellzahl zeigte auf, dass keine einzelne der obigen Variablen gut mit

der Bakterienkonzentration korrelierte hinsichtlich Zeitspanne bis zur Reaktion, Ausmass der Reaktion sowie Rückkehr zur Basislinie. In den meisten Fällen reagierte die Q zuerst, gefolgt von der Totalzellzahl. Die übrigen abiotischen Variablen reagierten gleichzeitig oder später als die Totalzellzahl. Die Rückkehr zur Basislinie erfolgte für Q und SAK langsamer und für die Trübung schneller als für die Totalzellzahl. Für alle Variablen unterschieden sich die Reaktionen zwischen verschiedenen Quellen und verschiedenen Niederschlagsereignissen. Die multivariate Analyse der abiotischen Variablen erhöhte deren Aussagekraft hinsichtlich Veränderungen im Systemzustand im Vergleich zu den einzelnen Variablen. Niederschlags- und Quellschüttungsmessungen können zur Frühwarnung eingesetzt werden, sofern diese regional respektive lokal verfügbar sind. Keine der abiotischen Messungen reagierte zuverlässig genug und mit genügender Übereinstimmung zur Totalzellzahl, um letztere zu approximieren. Dies traf auch auf die Trübung zu, die für die UV-Desinfektion zwingend notwendig bleibt, jedoch nicht als Indikator für die Bakterienkonzentration gesehen werden sollte, sondern als Verwurfskriterium das ein einwandfreies Funktionieren der UV-Desinfektion garantiert.

3.3.5 KONVENTIONELLES MONITORING DURCH STICHPROBEN UNTERSCHÄTZT DIE MIKROBIOLOGISCHE BELASTUNG

Aufgrund des aufgezeigten Zusammenhangs zwischen Niederschlagsereignissen und mikrobiologischen Verunreinigungen im Quellwasser war es möglich die Anzahl solcher Ereignisse anhand von Niederschlagsmessungen abzuschätzen. In einer untersuchten Quelle wurde die Detektionsrate von Ereignissen mit erhöhter Bakterienkonzentration mittels konventionellem Monitoring auf rund 6% (eine Probe pro Quartal) respektive 10% (eine Probe pro Monat) geschätzt. Durch die Häufigkeit von Niederschlagsereignissen kann erwartet werden, dass deutlich öfters und deutlich stärkere mikrobiologische Belastungen in Quellwasser auftreten, als dies anhand des konventionellen Monitorings erfasst werden kann. Um die effektive Belastung besser messen zu können, wurde ein systematischer und praktikabler Vorschlag für gezielte, zeitlich aufgelöste Ereignisbeprobungen erarbeitet.

3.3.6 ADÄQUATE TRINKWASSERAUFBEREITUNG SCHÜTZT VOR MIKROBIOLOGISCHEN RISIKEN IN QUELLWASSER

Die Gewährleistung der Trinkwassersicherheit ist in Systemen mit hoher Dynamik der mikrobiologischen Rohwasserqualität eine besondere Herausforderung. Entsprechend sollte die Trinkwasseraufbereitung im Verhältnis zu den jeweiligen Risiken ausgestaltet und umgesetzt werden. Untersuchungen in Reigoldswil zeigen exemplarisch wie eine mehrstufige Aufbereitung auch gegen starke Fluktuationen in der mikrobiologischen Quellwasserqualität vollständigen Schutz bieten kann. In diesem Beispiel filtert die Ultrafiltrationseinheit sämtliche (auch potentiell problematische) Bakterien aus dem Quellwasser. Eine spezifische Herausforderung im Kanton Basel-Landschaft aber auch in anderen ländlichen Gebieten ist die Heterogenität der Aufbereitungsmethoden. In einzelnen Trinkwasserversorgungen wird unterschiedlich aufbereitetes Wasser eingespeist (z.B. UV-Desinfektion, Chlorung, mehrstufige Aufbereitung mit biologischer Filtration). Die fallspezifische und angepasste Wahl der Aufbereitung je Quelle ist generell sehr zu begrüssen. Jedoch sollte innerhalb eines Verteilnetzes im Rahmen von geplanten Erneuerungen und / oder Regionalisierungen eine Vereinheitlichung oder zumindest sorgfältige Kombination angestrebt werden. Die UV-Desinfektion ist im Kanton weit verbreitet, wurde aber in diesem Projekt nicht spezifisch untersucht. Die Funktionstüchtigkeit der UV-Desinfektion dürfte jedoch bei korrektem Betrieb unter normalen Bedingungen gewährleistet sein. Zur Sicherheit wird empfohlen, die Gewährleistung der UV-Desinfektion bei Niederschlagsereignissen bis zum Verwurf in einer Studie experimentell im Feld zu überprüfen. Ausserdem sollten nur zertifizierte, dem Stand der Technik entsprechende Anlagen genutzt werden. Basierend auf einer ersten Abschätzung anhand der bestehenden Datensätzen des ALV für Indikatororganismen wurden alle Quellen hinsichtlich der mikrobiologischen Risiken gruppiert. Es wird empfohlen, diese Abschätzung zu verfeinern und mit Angaben zur jeweiligen Aufbereitung zu kombinieren. Dies erlaubt eine Priorisierung der Quellen für die empfohlenen gezielten Ereignisbeprobungen. Alle Quellen, welche zur Zeit keine Aufbereitung erfahren, sollten auf jeden Fall durch gezielte Ereignisbeprobungen evaluiert werden, um die mikrobiologischen Risiken zu quantifizieren und den Bedarf für eine Aufbereitung abzuklären.

3.3.7 TRINKWASSERVERTEILNETZE ENTHALTEN NATÜRLICHERWEISE KOMPLEXE MIKROBIOLOGISCHE GEMEINSCHAFTEN



Abb. 3.1: Aufnahme einer Biofilmfalle mit Glaskugeln, Schraubverschlüssen (inklusive Dichtungsringen) und regulierbaren Ventilen.

Mehrere internationale Studien in Trinkwasserverteilnetzen mit und ohne Netzschutz zeigten, dass dort komplexe, indigene mikrobiologische Gemeinschaften beheimatet sind. Dies ist weitgehend unabhängig von der Trinkwasseraufbereitung und diese Bakterien sind in der Regel für den Menschen ungefährlich. Sowohl in Screenings der Trinkwasserverteilnetze als auch in Untersuchungen des Wachstumspotenzials im Quellwasser im Waldenburger Tal, konnte eine hohe biologische Stabilität nachgewiesen werden (Bakterienkonzentrationen in der zu erwartenden Grössenordnung von 10^4 – 10^5 Zellen mL^{-1}). Dieses Ergebnis wurde auch durch die Auswertung der Biofilmfallen (Abbildung 3.1) bestätigt, deren Biofilme Zelldichten im Bereich von 10^6 – 10^7 Zellen cm^{-2} aufwiesen. Dominante Phyla waren Proteobakterien, Planctomycetes und Bacteroidetes, die für Trinkwasserverteilnetze typisch sind. Die Untersuchungen lassen darauf schliessen, dass bezüglich des Trinkwasserverteilnetzes kein genereller Handlungsbedarf besteht und die Zugabe eines Netzschutzes nicht notwendig ist. Dies bedingt jedoch, dass die Anstrengungen beim Schutz der Wasserressourcen, bei der Aufbereitung sowie beim Unterhalt der Verteilnetze weiterhin hoch bleiben. Was in dieser Studie nicht berücksichtigt wurde, sind die zunehmenden Bedenken hinsichtlich opportunistischer Pathogener (insbesondere *Legionella pneumophila*, *Mycobacteria avium*, *Pseudomonas aeruginosa*), die in Verteilnetzen und insbesondere in Hausinstallationen aufwachsen können. Zwar liegen die Hausinstallationen ausserhalb des Verantwortungsbereichs der Wasserversorgungen, dennoch können diese Herausforderung nur gemeinsam von Hausbesitzer/innen, Bewohner/innen, Handwerkern, Wasserversorgern und öffentlichen Stellen angegangen werden.

3.3.8 ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

Die hohe räumliche und zeitliche Variabilität der Wasserqualität in Karstquellen stellt eine Herausforderung für die Gewährleistung von sicherem Trinkwasser dar. Umfassender Quellschutz verlangt eine Kombination der auf Kartierung beruhenden Methoden (EPIK) und hydrologischen Modellierungen, welche eine Berücksichtigung der schnellen und langsamen Fließkomponenten sowie der zeitlichen Änderungen der Vulnerabilität des Karstsystems einschliessen. Nur dadurch können effiziente und effektive Entscheidungen bei der Auswahl, dem Schutz und dem Monitoring der Wasserressourcen

getroffen werden. Zudem resultiert aus dem verbesserten System- und Prozessverständnis eine optimale Unterstützung bei der Auswahl von benötigten Aufbereitungsmassnahmen. Geeignete Monitoring-Systeme sind Voraussetzung für eine Erfassung der Variabilität der Wasserqualität in Karstquellen und erlauben insbesondere auch eine Überprüfung von Hypothesen mit gezielten Feldexperimenten und Modellrechnungen. Um dies zu realisieren, müssen entsprechende Ressourcen bereitgestellt und die notwendigen Datengrundlagen aus klaren Fragestellungen erarbeitet werden. Die Verwendung von zusätzlichen Erkenntnissen und das daraus abgeleitete weitere Vorgehen sollten im Vorhinein definiert werden, um einen übermässigen Aufwand zu verhindern. Die vorliegenden Erkenntnisse tragen dazu bei solche Überlegungen und Planungen zu unterstützen. Zukünftige Untersuchungen sollten weitere Einflussfaktoren zu Vulnerabilitätsüberlegungen von Karstquellen wie die Gefährdung im Einzugsgebiet durch die Landnutzung und Einleitungen von Abwasseraufbereitungsanlagen / Mischwasserentlastungen mit einbeziehen.

4 FLUSSNAHE TRINKWASSERFASSUNGEN (TP2)

4.1 EINFLUSS VON FLUSS-GRUNDWASSER INTERAKTIONEN AUF DIE GRUNDWASSERQUALITÄT

In den betrachteten Flussebenen der Birs, Ergolz und Frenke in der Region Nordwestschweiz ist der Austausch zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser i. A. die wesentliche Komponente der Grundwasserneubildung. Flussabschnitte mit permanenter In- oder Exfiltration sowie solche mit sich ändernder In- und Exfiltration in Abhängigkeit der hydraulischen Randbedingungen sind weitgehend bekannt und erklären einen wesentlichen Teil der Qualitätsunterschiede von flussnahen Wasserfassungen.

Die für die Untersuchungen ausgewählten Lockergesteinsgrundwasserleiter weisen wie auch viele Flüsse im Schweizer Mittelland und Mittelgebirgsflüsse weltweit vergleichbare hydraulische Durchlässigkeiten der Lockergesteinsablagerungen auf. Aufgrund der geologischen Gegebenheiten (Falten- und Tafeljura) werden die untersuchten Grundwasserkörper häufig durch Felsstufen getrennt. Dadurch entsteht eine komplexe Abfolge von Flussabschnitten, in denen entweder grundwasserexfiltrierende oder flusswasser-infiltrierende Prozesse dominieren.

Für den untersuchten Flussabschnitt entlang der Ergolz (siehe Abbildung 4.1) besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Wasserqualität der Ergolz und der Rohwasserqualität im Trinkwasserbrunnen Löli. Vielmehr wird diese durch den regionalen Grundwasserstrom, mit vergleichsweise hohen Aufenthaltszeiten im Untergrund, beeinflusst. Für die untersuchten Flussabschnitte entlang der Birs und Frenke kann die Grundwasserqualität durch die relativen Anteile von Flussinfiltrat und regionalem Grundwasser erklärt werden. Der Anteil von „jungem“ Flusswasserinfiltrat, welches im Bereich des untersuchten Flussabschnittes infiltriert, liegt im Rohwasser des Trinkwasserbrunnens 24.A.2 an der Birs (Standort Auwald) bei ca. 7 % bei mittleren und bis zu ca. 87 % bei hydraulischen Situationen, in denen der regionale Grundwasseranteil vergleichsweise gering ist. Im Trinkwasserbrunnen 24.A.8 (Standort Heidebrüggli) liegt der Anteil von „jungem“ Flusswasserinfiltrat im Mittel bei 78 %, bei hohen Abflüssen bei bis zu 100 %. Im Trinkwasserbrunnen Unterbergen an der Frenke liegt der Anteil von „jungem“ Flusswasserinfiltrat bei mittleren Abflüssen bei ca. 18 % und bei hohen Abflüssen bei bis zu ca. 35 %.

Die Anzahl und Konzentrationen von Spurenstoffen sind in den drei Fließgewässern wie auch in den untersuchten Grund- und Rohwasserproben vergleichbar. Sowohl im Grundwasser des Untersuchungsgebiets Birs als auch an der Ergolz können gewisse Spurenstoffe klar dem regionalen Grundwasserstrom aus den Siedlungsgebieten zugeordnet werden.

In allen drei untersuchten Flussabschnitten kann eine Konzentrationsreduktion von mikrobiologischen Belastungen bei der Infiltration von Flusswasser in den ersten Metern der Uferzone beobachtet werden. Im Grundwasserleiter bis zum Trinkwasserbrunnen sind keine grossen Veränderungen mehr beobachtbar. Bei der Infiltration von Flusswasser konnte in den ersten Metern der Uferzone Konzentrationsreduktionen der mikrobiologischen Belastungen von ca. 2 Log Stufen für die mit dem Durchflussszycytometer gemessenen Totalzellzahlen (TZZ) und von ca. 3 Log Stufen für die Indikatororganismen (*E. coli*, Enterokokken) beobachtet werden. Die daraus abgeleitete, geringere Filterleistung für die TZZ kann dadurch begründet werden, dass auch natürlich vorkommende (indigene) Bakterien beim Transport im Grundwasser mobilisiert werden und einen Anteil der gemessenen TZZ ausmachen. Im Rohwasser des Trinkwasserbrunnens Unterbergen an der Frenke, ist unklar, ob erhöhte mikrobiologische Belastungssituationen bei Regen- und Hochwasserereignissen durch „junges“ Flussinfiltrat oder durch das regionale Grundwasserfließsystem verursacht werden. Experimente im Untersuchungsgebiet Frenke zeigen auch, dass die Qualität des geförderten Rohwassers im Trinkwasserbrunnen Unterbergen sowohl durch natürliche (unterschiedliche Grundwasserkomponenten) als auch operationelle Randbedingungen (Pumpbetrieb; veränderte Zuströmbereiche) beeinflusst wird. Deshalb sollten bei der Planung von Trinkwasseraufbereitungsmassnahmen auch der operationelle Betrieb von Trinkwasserbrunnen berücksichtigt werden.



Abb. 4.1: Renaturierter Gewässerabschnitt der Ergolz.

Die Landnutzung im Einzugsgebiet und auch der Abwasseranteil am Flusswasser aller drei untersuchten Flüsse ist ähnlich, was gut erklärt, dass auch die Anzahl der detektierten organischen Mikroverunreinigungen (80 – 100 Stoffe) und ihre Konzentrationen (ng/L, in Ausnahmefällen geringe µg/L; in der Summe einige µg/L) im Flusswasser bei Trockenwetter vergleichbar sind. Die Landnutzung in den untersuchten Gebieten ist vergleichbar mit der Landnutzung im gesamten Mittelland. Damit repräsentiert die Art, Anzahl und Konzentration der Mikroverunreinigungen andere Standorte im Mittelland, was durch den Vergleich mit Standorten wie Limmat und Thur bestätigt wird, wobei dort bislang weniger Substanzen analysiert wurden.

Keiner der quantifizierten organischen Spurenstoffe überschreitet einen bestehenden gesetzlichen Höchstwert im Oberflächenwasser oder Trinkwasser. Für Arzneimittel und Abwassertracer gibt es in der Schweiz jedoch noch keine gesetzlichen Grundlagen für Trinkwasser sondern nur einen allgemeinen Leitfaden für den Umgang mit nicht geregelten Fremdstoffen nach dem TTC Konzept (Threshold of Toxicological Concern). Häufig wird jedoch ein allgemeiner Vorsorgewert von 100 ng/L in Trinkwasser verwendet, der für einige Substanzen wie Benzotriazol zum Teil überschritten wurde. Insbesondere bei Hochwasserereignissen können ungereinigtes Mischwasser im Gewässer sowie während der Applikationsperiode Abschwemmungen von Feldern zu höheren Konzentrationen von Spurenstoffen im Oberflächengewässer und nachfolgend oft auch im Grundwasser führen. Durch geeignetes Rohwassermanagement, wie das Abstellen der Pumpen oder eine geeignete Trinkwasseraufbereitung kann erreicht werden, dass möglichst wenig dieser Stoffe ins Trinkwassernetz eingetragen werden.

Bei der Uferfiltration findet je nach den chemisch-physikalischen Eigenschaften der organischen Substanz biologischer Abbau und Sorption statt. Zusätzlich kann eine Konzentrationsabnahme durch Verdünnung stattfinden. Ungefähr die Hälfte der Stoffe ist persistent und wird nur durch regionale Grundwasserkomponenten verdünnt. Die grösste Reduktion der stofflichen Belastung findet in der Uferzone statt, im Grundwasserleiter bis zum Trinkwasserbrunnen sind keine grossen Veränderungen mehr beobachtbar. Dabei zeigen die drei untersuchten Uferzonen keine wesentlichen Unterschiede bzgl. der Elimination von Spurenstoffen trotz verschiedener Fliesszeiten im Grundwasserleiter (Tage bis Wochen) und unterschiedlichen Infiltrationsverhältnissen (direkt in die grundwassergesättigte oder

über die ungesättigte Zone, wie z.B. an der Ergolz). Alle drei untersuchten Fluss- und Grundwassersysteme sind aerob. Die Ergebnisse sind vergleichbar zu Ergebnissen an der Thur und der Limmat. An diesen beiden Flüssen herrschen, wie bei vielen anderen Schweizer Flüssen ähnliche Infiltrationsverhältnisse. Die Ergebnisse unterscheiden sich aber von anderen Uferfiltrationsstandorten wie zum Beispiel in Deutschland, wo häufiger anaerobe Bedingungen vorliegen und die Aufenthaltszeiten im Grundwasser meist viel länger sind.

Zusammenfassend erklärt sich die Grundwasser- und Rohwasserqualität über die Qualität infiltrierender Fliessgewässer und regionaler Grundwasserkomponenten. Generell waren bei Trockenwetterabfluss die mikrobiologischen Belastungen des Flusswassers gering. Während Niederschlagsereignissen steigen die Konzentrationen der Indikatororganismen im Flusswasser stark an und somit wahrscheinlich auch die Konzentrationen an Krankheitserregern. In urbanen Gebieten (Untersuchungsgebiete entlang der Birs und Ergolz) wird die Wasserqualität der regionalen Grundwasserkomponente durch diffuse Belastungen aus der Siedlungsentwässerung beeinflusst. Mikrobiologische Belastungen sind nicht zwingend auf „junges“ Flusswasserinfiltrat zurückzuführen und können während Regen- und Hochwasserereignissen über regionale Grundwasserfliesssysteme (Interaktion mit Karst- und Kluftsystemen) bedingt sein (Untersuchungsgebiet Frenke). Generell, und auch nach Regenereignissen, waren die mikrobiologischen Belastungen im geförderten Rohwasser der Trinkwasserbrunnen gering. Deshalb wären für die untersuchten Trinkwasserbrunnen einfache Aufbereitungsverfahren, wie z.B. UV-Desinfektion, ausreichend, um das Risiko von mikrobiologischen Belastungen im Trinkwasser zu eliminieren. Die beschriebenen Phänomene sind typisch für viele flussnahe Trinkwasserfassungen im Kanton Basel-Landschaft.

4.2 AUSWIRKUNGEN VON REVITALISIERUNGEN AUF DIE ROHWASSERQUALITÄT

Generell zeigen die Experimente an den untersuchten Flussabschnitten, dass die Filterkapazität der Uferzone während mittlerer Abflussverhältnisse für eine gute hygienische Grundwasserqualität ausreicht. Eine Ausnahme bildet die flussnahe Trinkwasserfassung Unterbergen (lotrechter Abstand zum Fliessgewässer ca. 30 m) im Untersuchungsgebiet Frenke, welche besonders hohe mikrobiologische Belastungen zeigt. Diese sind dem ALV BL bereits aus den langjährigen Routinemessungen bekannt. Die Ursache für den Anstieg der Konzentration an Mikroorganismen in Oberflächengewässern hängt dabei u.a. mit Hochwasserereignissen und Hochwasserentlastungen aus dem Siedlungsraum zusammen.

Im Allgemeinen haben Revitalisierungen eine erhöhte Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser zur Folge. Dies führt in der Regel zu einer Abnahme des Wasseralters, die Qualität des Grundwassers bezüglich der Spurenstoffe wird dabei aber nicht grundsätzlich schlechter. Jedoch reduziert sich aufgrund der kurzen Aufenthaltszeit des Wassers zwischen Fluss und Trinkwasserfassung die Interventionszeit der Wasserversorger bei Ereignissen (z.B. Hochwässer oder Unfälle). Werden Interventionszeiten so kurz, dass der Wasserversorger nicht mehr in angemessener Zeit reagieren kann, sind zusätzlich Barrieren wie z.B. ein zusätzlicher Aufbereitungsschritt vorzusehen, damit die Revitalisierung von Flussabschnitten die Trinkwassernutzung ufernaher Brunnen nicht nachteilig konkurrenziert.

Die Filterkapazität von Flussufern und die ökologischen Funktionen der Fluss-Grundwasser Interaktion sind in ihrer Komplexität erst teilweise erforscht. Verschiedene Untersuchungen demonstrieren jedoch ihre Bedeutung in verschiedenen Massstabsbereichen. So kommt dem Prozess der Fluss-Grundwasser-Interaktion z.B. eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung von Fischeiern und die Verteilung des Makrozoobenthos im hyporheischen Interstitial zu.

WELCHE SYSTEMSPEZIFISCHEN EIGENSCHAFTEN/FAKTOREN GILT ES ZU BEACHTEN?

Die Kenntnis der folgenden relevanten systemspezifischen Eigenschaften hilft bei der Beurteilung von möglichen Revitalisierungstrecken: (1) Verständnis des regionalen Grundwasserfliessregimes und insbesondere der Abfolge von Grundwasserbecken und Felsschwellen im Untergrund (Up- und Downwelling Zonen), (2) die Topographie der Flussebene und des aktuellen Flussbetts, (3) die Topographie des Grundwasserspiegels relativ zur Lage der Flusssohle sowie (4) die hydraulischen Eigenschaften der Sedimente (i.A. sind die Sedimente des aktiven Kanalgrübelums um eine bis mehrere Grös-

senordnungen durchlässiger als Auen- oder Überflutungssedimente). Bei der Revitalisierungsplanung sind daneben weitere Aspekte zu beurteilen, wie z.B. die Hochwassergefährdung von Infrastrukturbauten (auch solche im Untergrund) sowie Siedlungen, die durch rasche Ufererosion gefährdet sind.

Ein Verständnis der hydrogeologischen Zusammenhänge ist wesentlicher Bestandteil für ein optimiertes Vorgehen von Revitalisierungsmassnahmen. So sind bezüglich der Standortwahl von Revitalisierungsmassnahmen Flussabschnitte mit überwiegend grundwasser-exfiltrierenden Verhältnissen oder solche, welche entkoppelt sind vom Grundwasserleiter, zu bevorzugen. Veränderungen an solchen Flussabschnitten würden das flussnahe Grundwasserfließregime am wenigsten beeinflussen. Weiterhin zu berücksichtigen ist die Lage der bestehenden, flussnahen Trinkwasserbrunnen im Zusammenhang mit dem regionalen Grundwasserfließregime und den jeweiligen Interaktionstypen zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern.

SIND REVITALISIERUNGEN IN DER NÄHE VON TRINKWASSERFASSUNGEN MÖGLICH?

Grundsätzlich sind Flussrevitalisierungen auch in der Nähe von Trinkwasserfassungen denkbar. In Flussabschnitten mit Exfiltration von Grundwasser ins Oberflächengewässer und bei Grundwasser-aufstößen sind Revitalisierungen ohne grossen Untersuchungsbedarf umsetzbar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch an solchen Standorten ein Anteil des Rohwassers durch Flusswasserinfiltrat gebildet wird, welches oberstromig in den Grundwasserleiter infiltriert ist.

Revitalisierungen in Flussabschnitten mit dynamischer In- und allenfalls Exfiltration erfordern eine differenzierte Betrachtung der verschiedenen Einflussfaktoren. Es ist möglich, dass nicht nur der relative Anteil von infiltrierendem Oberflächenwasser oder exfiltrierendem Grundwasser für verschiedene Flussabschnitte, sondern auch die Ausdehnung der Flussabschnitte mit dominierender In- oder Exfiltration variiert.

Aufgrund von regionalen hydrogeologischen Untersuchungen mit bekannten hydraulischen Randbedingungen einzelner Flussabschnitte, können Flussabschnitte, in denen die Grundwasser Exfiltration in das Oberflächengewässer dominiert, als für Revitalisierungen geeignete Standorte ausgeschieden werden. Bei den anderen Standorten, welche zeitweise oder dauernd Flusswasser infiltriert, gilt es anhand der aufgezeigten Untersuchungsmethoden abzuschätzen, ob und unter welchen hydraulischen Gegebenheiten eine zusätzliche Gefährdung der Trinkwasserfassung resultieren kann. Flussnahe Fassungen, deren Wasserqualität generell gut ist, sollten erhalten bleiben, auch wenn die Aufenthaltszeit des jungen flussnahen Wassers weniger als 10 Tage beträgt. Treten bei diesen Fassungen jedoch immer wieder erhöhte Konzentrationen an Mikroorganismen auf oder sind Spurenstoffbelastungen vorhanden, sollte die Fassung an einen besseren Standort verlegt werden. Ist dies nicht möglich und handelt es sich um eine regional bedeutende Fassung, muss das Rohwasser entsprechend der Belastung aufbereitet werden.

WAS UND WIE MUSS VORGÄNGIG ABGEKLÄRT WERDEN?

Vor allem bei Flussabschnitten mit variierendem Anteil von Infiltration von Flusswasser in das Grundwasser sowie Exfiltration von Grundwasser in das Fließgewässer muss mittels geeigneter Monitoring-Systeme und Grundwassermodellierungen nachgewiesen werden, unter welchen hydrologischen Bedingungen es zu einer möglichen Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität durch Mikroorganismen und/oder Spurenstoffe aus Oberflächengewässern kommen kann. Das umfassende Verständnis des Ist-Zustandes vorgängig zu einer Revitalisierung spielt dabei eine grosse Rolle. Der Ist-Zustand eines Oberflächenwasser- und Grundwasser-Systems beschreibt entweder eine Momentaufnahme (z.B. als Resultat einer Stichtagsbeprobung) oder bei vorhandenen Zeitreihen auch die Variabilität hydraulischer und/oder qualitativer Parameter unter Berücksichtigung von Resultaten aus Modellen (GW-Fließregime, etc.). Die Erfassung der Variabilität der natürlichen und anthropogenen Randbedingungen und deren Zustandekommen, bilden eine notwendige Grundlage für eine Beurteilung von allfälligen Veränderungen sowie für spezifische Feldexperimente im Zusammenhang mit der Risikobeurteilung von Flussrevitalisierungen bezüglich Rohwasserqualität.

4.3 ÜBERWACHUNG, MANAGEMENT UND AUFBEREITUNG VON FLUSSNAHEM GRUNDWASSER

WIE MUSS ÜBERWACHT WERDEN? WELCHES SIND DIE WICHTIGSTEN INDIKATOREN FÜR DIE ERKENNUNG VON VERÄNDERUNGEN DER FLUSSNAHEN WASSERQUALITÄT?

Die Resultate des Teilprojektes 2 zeigen, dass Monitoring Systeme und ab einem bestimmten Grad an Komplexität (Entnahmen, Anreicherungen etc.) die Grundwassermodellierung wichtige Instrumente zur Beurteilung von Massnahmen für den nachhaltigen Schutz des Grundwassers darstellen. Im Rahmen von TP2 wurden in den drei Untersuchungsgebieten Birs, Ergolz und Frenke Grundwasser- und Oberflächengewässer-Messsysteme eingerichtet und Grundwassermodelle aufgebaut, die es erlaubten, die Interaktionsprozesse zwischen Fluss- und Grundwasser quantitativ und qualitativ bei unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen über längere Zeit zu beobachten und in einem regionalen Kontext zu verstehen. Die Untersuchungen zeigen auch, welche Messparameter für spezifische Fragestellungen geeignete Indikatoren darstellen.

Um die Interpretation von Grundwasserqualitätsdaten zu ermöglichen, sollten die hydraulischen Verhältnisse (Ist-Zustand) nicht ausschliesslich zu einzelnen Zeitpunkten festgehalten werden, vielmehr sind, insbesondere bei komplexeren Grundwassersystemen, die hydraulischen Verhältnisse über eine längere Zeitdauer aufzuzeichnen. Solche Zeitreihen geben Aufschluss über Veränderungen der Grundwasserqualität in Abhängigkeit von hydrogeologischen und hydrologischen Randbedingungen und liefern Grundlagen für die Bestimmung geeigneter Zeitpunkte für Ereignisbeprobungen von Wasserqualitätsparametern.

Die Auswertungen von Zeitreihen der physikalisch-chemischen Parameter und der Grundwassermodelle ermöglichten es, mittlere Aufenthaltszeiten des Wassers zwischen Fluss und Entnahmebrunnen sowie Grundwasserkomponenten bei unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen abzuleiten. Diese Information steht anschliessend für die Beurteilung der Reinigungsleistung des Untergrundes (Boden, ungesättigte Zone und Aquifermaterial) und von diffusen Grundwassergefährdungen zur Verfügung. Zudem sollten zukünftige Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung von flussnahen Trinkwasserbrunnen darauf zielen, die zeitliche Dynamik von Kontaminationen im Flusswasser zu identifizieren.

Informationen aus gemessenen Zeitreihen abiotischer Parameter (z.B. SAK, EL) sowie die mit dem Durchflusszytometer erfasste TZZ können als Grundlage dienen, um Worstcase-Situationen für flussnahe Trinkwasserbrunnen zu identifizieren. Sind diese Situationen bekannt, können weitere Beprobungsprogramme (z.B. Einsatz automatischer Probenehmer) dazu genutzt werden, um die Gefährdung der flussnahen Trinkwasserbrunnen besser zu beurteilen. Zudem erlauben langjährige Zeitreihen verschiedener Parameter eine Differenzierung der Belastungssituation bei Trockenwetter im Vergleich zu Regen- und Hochwasserereignissen.

MONITORING SPURENSTOFFE / INDIKATOREN / MIKROORGANISMEN

Mit umfangreichen Analysen wurde untersucht, welche Unterschiede im Spektrum der Spurenstoffe und welche Veränderungen bei den Mikroorganismen an den jeweiligen Standorten und während Niedrigwasser bzw. bei Hochwassersituationen auftreten können.

Untersuchungen der Spurenstoffe an den jeweiligen Standorten zeigen, dass bei Trockenwetter sowohl die Anzahl der detektierten organischen Spurenstoffe (80 – 100 Stoffe) als auch ihre Konzentrationen (ng/L, in Ausnahmefällen geringe µg/L; in Summe einige µg/L) im Flusswasser vergleichbar sind. Durch die Aufrüstung von Kläranlagen mit zusätzlichen Reinigungsstufen, die eine verbesserte Elimination der Spurenstoffe ermöglichen, nimmt die Belastung der Gewässer mit abwasserbürtigen Stoffen in Zukunft voraussichtlich ab. Allerdings werden Entlastungen von ungereinigtem Abwasser bei starkem Regen sowie diffuse Belastungen von Landwirtschaft und Verkehr weiterhin stattfinden. Des Weiteren werden Kläranlagen erst ab einer gewisse Grösse (>8000 Einwohner) und Abwasseranteil im Gewässer (>10%) aufgerüstet. Gleichzeitig findet eine Bevölkerungszunahme und damit verbunden ein höherer Chemikalienverbrauch statt und es kann aufgrund der Klimaänderung zu längeren Trockenperioden und damit schlechten Verdünnungsverhältnissen kommen.

Aus den 543 Zielsubstanzen wurden 75 aufgrund ihrer Stoffeigenschaften, ihrer Stoffquelle, ihres Vorkommens, sowie ihrer analytischen Messbarkeit an den drei Standorten ausgewählt. Damit kann auf verschiedene Kontaminationsquellen geschlossen werden (aufbereitetes Abwasser, Entlastung von ungeklärtem Abwasser, Abfluss von landwirtschaftlichen Flächen, Grundwasserexfiltration) und verschiedene Eliminationsprozesse unterschieden werden (biologischer Abbau, Retardation durch Sorption, Verdünnung). Die Liste wurde weiter auf 14 Stoffe reduziert (Tabelle 4.1), um den Arbeitsaufwand zu minimieren und eine zeitnahe Auswertung zu ermöglichen. Basierend auf den Ergebnissen und den Erfahrungen mit den 14 Stoffen wird empfohlen, Coffein (Verunreinigung bei Probenahme oder Analytik) durch einen anderen gut abbaubaren Stoff zu ersetzen, der auch auf eine Verunreinigung mit ungeklärtem Abwasser hinweisen kann (z.B. Paracetamol). Acesulfam könnte durch Sucralose ersetzt werden, das einfacher zusammen mit den anderen Stoffen analysiert werden kann und im Grundwasser vergleichbar persistent ist.

Das Monitoring der mikrobiologischen Wasserqualität erfolgt durch die Analyse von Stichproben durch das Amt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (ALV) BL, wobei die Probenahme abhängig von der Grösse der Wasserversorgung und den bekannten Risiken je Standort einmal pro Quartal (teilweise pro Monat oder Woche) stattfindet. Die Analysen erfolgen mittels Plattierung für aerobe mesophile Keime (AMK) sowie die Indikatororganismen *E. coli*, Enterokokken. Bei Ereignisproben werden zusätzlich noch Clostridien untersucht.

Es werden keine fäkalen Krankheitserreger *per se* sondern fäkale Indikatororganismen analysiert. Um effektive mikrobiologische Belastungen erfassen zu können sollten Routineuntersuchungen durch Ereignisbeprobungen ergänzt werden, wie dies vom ALV BL seit mehreren Jahren in verschiedenen Gemeinden durchgeführt wird. Bezüglich des Einsatzes der Durchflusszytometrie zur Bestimmung der mikrobiologischen Belastung gilt es zu berücksichtigen, dass neben potentiellen Krankheitserregern auch natürlich vorkommende indigene Bakterien im Untergrund erfasst werden. Deshalb ist auch die Filterleistung für die TZZ um ca. eine Grössenordnung kleiner im Vergleich zur Filterleistung für Indikatororganismen.

Tab. 4.1: Auswahl von 14 Indikatorsubstanzen auf Grundlage von Stoffeigenschaften und Stoffquellen.

Indikatorsubstanz	Erläuterungen	Stoffeigenschaften			Herkunft	
		Sorption	biologischer Abbau	Industrie	Haushalt	Landwirtschaft
Acesulfam	Lebensmittelzusatzstoff, Süssungsmittel	-	-	-	+	-
Atenolol	Pharmazeutikum, Blutdrucksenker	-	+	-	+	-
Atenololsaeure	Pharmazeutikum, Metabolit	-	+	-	+	-
Atrazin	Pflanzenschutzmittel / Herbizid	+	-	-	-	+
1-H-Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel	-/+	-/+	+	+	-
Coffein	Tracer	-	++	-	+	-
Carbamazepin	Pharmazeutikum, Antiepileptikum	-/+	-	-	+	-
Carbamazepin-10-11-dihydro-10-11-dihydroxy	Pharmazeutikum, Metabolit	-	-	-	+	-
Candesartan	Pharmazeutikum, Blutdrucksenker	+	-	-	+	-
Diclofenac	Pharmazeutikum, Schmerzmittel	-/+	+	-	+	-
Hydrochlorothiazid	Pharmazeutika, Diuretic	-	-	-	+	-
Lamotrigin	Pharmazeutikum, Antiepileptikum	-/+	-	-	+	-
Metolachlor ESA	Pflanzenschutzmittel, Metabolit	+	-	-	-	+
Terbutylazin	Pflanzenschutzmittel / Herbizid	+	-	-	-	+

5 WASSERMANAGEMENT HARDWALD (TP3)

5.1 AUSGANGSLAGE HARDWALD

Im Trinkwassergewinnungsgebiet Hardwald werden pro Jahr rund 15 Mio. m³ Trinkwasser aus gut 30 Brunnen gefördert. Davon werden zwei Drittel für die Trinkwasserversorgung in Basel-Stadt genutzt, ein Drittel für die umliegenden Gemeinden in Basel-Landschaft. Das Trinkwassergewinnungsgebiet ist geologisch und hydrogeologisch sehr komplex. Das Grundwasser zirkuliert in einem regionalen Karstgrundwasserleiter und einem überliegenden Lockergesteinsgrundwasserleiter, in welchem Rheinwasser künstlich infiltriert wird. Die Infiltrationsrate ist etwa doppelt so hoch wie die Entnahmerate. Hierdurch wird ein „Grundwasserberg“ erzeugt, der das Gebiet vor Einflüssen aus den umgebenden Industriegebieten und belasteten Standorten schützt. Vor der künstlichen Anreicherung mit Rheinwasser, die 1956 begann, strömte das Grundwasser von Süden nach Norden durch das Gebiet in Richtung Rhein und brachte Grundwasser aus belasteten Gebieten in den Hardwald. Mit der künstlichen Infiltration änderte sich die Strömungsrichtung im Lockergesteinsgrundwasserleiter aufgrund des Grundwasserberges von den Sickergräben und Weihern weg in Richtung Süden, Osten und Westen. Die Sicherheit der Trinkwasserproduktion hängt nicht nur vom Grundwasserberg selbst ab, sondern auch von den Grundwasserentnahmen der Industrie in den Randbereichen des Hardwaldes, die mit den Brauchwasserentnahmen das Grundwasserspiegelgefälle künstlich verstärken.

Heute finden sich im Grundwasser im Hardwald Spuren von chlorierten organischen Verbindungen, wie sie in der Umgebung des Hardwaldes vorkommen und wie sie auch in den 1970er Jahren im Rhein vorhanden waren. Zudem wird eine grosse Anzahl von Spurenstoffen über die Rheinwasserinfiltration ins Grundwasser eingetragen. Bei der aktuellen Infiltration spielen insbesondere die mehrheitlich persistenten polaren Substanzen eine Rolle, die durch die natürliche Filtration nur zum Teil aus dem Wasser entfernt werden und für die es je nach Substanz eine mehr oder weniger aufwändige Aufbereitung braucht.

5.2 VERWENDETE METHODEN

Im TP3 wurde untersucht, welches die Ursachen für die heutige Verteilung der Spurenstoffe im Hardwald sind. Dabei ging es darum, die Prozesse der Mischung verschiedener Wässer von Lösungsprozessen im Untergrund oder der Desorption respektive Rückdiffusion zu identifizieren und dadurch das Wassermanagement aus Infiltration und Entnahme weiter zu optimieren, was den Betrieb der Trinkwasserproduktion noch sicherer gestalten soll. Dazu wurden mehrere Methoden und Analysen angewendet und durchgeführt. Hierzu gehören:

- Geochemische Analysen und Bestimmung der stabilen Wasserisotope (¹⁸O und ²H) zur Charakterisierung verschiedener Grundwässer.
- Edelgasmessungen (He, Ar, Kr, N₂, O₂) und Tritiummessungen zur Altersbestimmung der Wässer.
- Spurenstoffanalysen zur Evaluierung des Verhaltens der Stoffe bei der Rheinwasserinfiltration und auch als Vergleich zur natürlichen Infiltration bei Fluss-Grundwasser-Interaktionssystemen.
- Durchführung eines Markierversuches, bei welchem die Einmischung des Infiltrats ins Hardwald Grundwasser und die Grundwasserfliessgeschwindigkeit sowie Aufenthaltszeit zwischen Infiltration und Entnahme an den Pumpbrunnen untersucht wurde.
- Vertiefte statistische Datenauswertung von historischen und im Projekt generierten Daten, z.B. mittels Clusteranalysen.
- Aufbau eines numerischen Grundwasserströmungsmodells auf Basis vorhandener geologischer Informationen.
- Kalibration des numerischen Modells anhand der vorhandenen geologischen Informationen und mittels Pilot Points sowie Modellierung verschiedener hydraulischer Szenarien zur Optimierung der Infiltration und der Grundwasserentnahmen.

5.3 CHARAKTERISIERUNG VERSCHIEDENER GRUNDWÄSSER

Grundsätzlich gibt es im Hardwald zwei unterschiedliche Grundwassertypen. Einerseits das durch die Rheinwasserinfiltration gebildete junge Grundwasser, das praktisch ausschliesslich der Rheinwasser-signatur entspricht und andererseits das Muschelkalkwasser, das deutlich stärker mineralisiert und älter ist. Weiter können im Muschelkalk Wässer mit erhöhtem Chlorid- und Sulfatgehalt identifiziert werden. Bei den Trinkwasserbrunnen innerhalb des Hardwalds entspricht das Wasser weitestgehend dem Rheinwasser. Drei Brunnen im westlichen Hardwald und einer in der Mitte der Brunnengalerie (Brunnen 21.A.17) weisen jedoch eine etwas andere geochemische Signatur auf.

Die ermittelten Alter der Grundwässer der beprobten drei Brunnen und 6 Grundwassermessstellen liegen in einem Bereich von 0 bis maximal 47 Jahren. Dabei entspricht nulljähriges Wasser dem Rheinwasserinfiltrat. Das Muschelkalkwasser hingegen hat ein Alter von 47 oder mehr Jahren. Die ältesten gemessenen Wässer finden sich mit 29 und 47 Jahren am Westrand. Relativ junges Grundwasser mit 2 bis 8 Jahren findet sich dagegen im Südwesten des Hardwald und mit 12 Jahren im Brunnen 21.A.4. Die bei den Brunnen 21.A.17 und 21.A.21 ermittelten Alter können mit 3 (21.A.17) und 0 Jahren (21.A.21) als junges Grundwasser beschrieben werden. Somit sind die Wässer der beiden Brunnen, welche näher bei den Infiltrationsgräben liegen, auch deutlich jünger als das Wasser im Bereich von 21.A.4 (Westrand). Zu berücksichtigen ist, dass die bei den Brunnen ermittelten Alter einen integrativen Wert und somit ein Mischalter darstellen. Es ist davon auszugehen, dass Wässer mit einem Alter abweichend von 0 Jahren neben einem Hauptanteil an jungem Grundwasser bzw. Rheinfiltrat einen kleinen Anteil an altem Muschelkalkgrundwasser aufweisen.

5.4 EINMISCHUNG DES INFILTRIERTEN RHEINWASSERS

Die Einmischung von Rheinwasser über die Weiher und Sickergräben ins Grundwasser wurde mit einem Markierversuch untersucht. Vorgängig wurden zwei Clusterbohrungen abgeteuft, die je in vier Tiefen des Lockergesteinsaquifers verfiltriert waren. Damit konnte die Einmischung des Infiltrats über den gesamten Aquifer ermittelt werden. Um während der Versuchsdauer möglichst stabile Grundwasserströmungsverhältnisse sicherzustellen, wurde der Brunnen 21.A.17 für vier Wochen auf Dauerbetrieb gestellt und die umliegenden 4 Brunnen ausser Betrieb genommen, wobei für die Aufrechterhaltung der Trinkwasserproduktion alle weiteren Brunnen im Hardwald normal betrieben wurden.

Die Ergebnisse des Markierversuchs belegen, dass sich das Infiltrat über die gesamte Mächtigkeit des Lockergesteinsaquifers verteilt. Gleichwohl zeigen die Höhe der Konzentrationen in den beprobten Tiefen deutliche Unterschiede. Maximale Konzentrationen der Markierstoffe und damit anteilig der quantitativ grösste Anteil an sehr jungem Infiltrat wurden in den obersten Bereichen des Lockergesteinsaquifers nachgewiesen, niedrigere Konzentrationen in den tieferen Bereichen des Aquifers. Die vertikale Durchmischung innerhalb des Aquifers ist deutlich schlechter als die laterale. Somit schichten sich die jüngsten Wässer bei den kurzen Fliesszeiten bis zu den Trinkwasserbrunnen hauptsächlich oben ein. Trotzdem gelangte ein Anteil dieses jungen Infiltrats bis auf die Basis des Lockergesteinsaquifers. Die Wiederfindungsrate des in den Weiher 5 eingegebenen Uranins lag im Brunnen 17 bei 2-3%. Es zeigte sich zudem eine starke laterale Verteilung der beiden eingesetzten Markierstoffe entsprechend dem hydraulischen Gradienten über einen weiten Bereich des Hardwaldes.

Aus den Zeitreihen des durchgeführten Markierversuchs und der Grundwassertemperaturdaten, welche für einen Zeitraum von über 3 Jahre vorliegen, konnte das Erstauftreten und der Durchgang der Maximalkonzentration (resp. Maximaltemperatur) für mehrere Brunnen bestimmt werden. Für die betrachteten Brunnen beträgt die Zeit des Durchgangs der Maximalkonzentration des Markierstoffs zwischen Infiltration und Brunnen mehr als 10 Tage, womit die Anforderungen an die Grundwasserschutzzone S2 gemäss Gewässerschutzgesetz eingehalten werden. Bei einigen Brunnen konnte jedoch das Erstauftreten des Markierstoffes bereits nach weniger als einem Tag festgestellt werden. Für das Gefährdungspotential ist insbesondere das Erstauftreten eines Stoffes relevant. Durch ein adaptives Grundwassermanagement kann diesem Rechnung getragen werden (siehe unten).

5.5 VERTEILUNG DER STOFFE AM FESTSTOFF UND IM GRUNDWASSER

Bei Bohrungen des AUE in 2009 und bei den für die Markerversuche neu erstellten Clusterbohrungen wurde das Bohrgut auf Tetrachlorethen (PER), Trichlorethen (TRI) und verschiedene Polychlor-1,3-butadiene untersucht. Über die gesamte Tiefe des Lockergesteinsaquifers konnten die Stoffe an der Matrix im Bereich von 1 µg/kg festgestellt werden, wobei 1,1,4,4-Tetrachlorbutadien (1,1,4,4-TeCBD) von allen analysierten Stoffen eindeutig die höchsten Konzentrationen zeigte. Auch die Resultate der Feststoffuntersuchungen im Weiher 5 und den Sickergräben zeigte die erwähnten Stoffe bereits unmittelbar unterhalb der künstlichen Kiesschicht von 40-50 cm, die alle 10 bis 20 Jahre ausgewechselt wird. In der künstlichen Kiesschicht selbst konnten die Stoffe dagegen nicht nachgewiesen werden. Die Belastungen des Materials unterhalb der künstlichen Kiesschicht und des oberen Aquifers sind somit wahrscheinlich auf frühere Einträge über den Rhein zurückzuführen, als dieser mit Konzentrationen von mehreren µg/L der hier diskutierten Stoffe belastet war.

Die PER, TRI und Polychlor-1,3-butadiene finden sich praktisch überall im Grundwasser des Hardwaldes, wobei die Konzentrationen um die Versickerungsstellen am geringsten sind. Erhöhte PER-Konzentrationen im Grundwasser wurden vorwiegend entlang des Weststrands des Hardwaldes gefunden. Der höchste PER-Gehalt in den Untersuchungen zum Projekt WVG BL 21 wurde dabei im Piezometer 21.J.89 bestimmt. Auch TRI findet sich vornehmlich in diesem Bereich, jedoch in deutlich niedrigeren Konzentrationen als PER. Die beschriebene räumliche Verteilung von PER und TRI deckt sich mit Befunden früherer Untersuchungen des AUE BL. Die Polychlor-1,3-butadiene konnten vorwiegend im nördlichen und westlichen Bereich des Hardwaldes festgestellt werden. Quantitativ überwiegt bei den Polychlor-1,3-butadienen das Isomer 1,1,4,4-TeCBD. Hexachlorbutadien (HCB) zeigt eine sehr ähnliche Verteilung wie 1,1,4,4-TeCBD mit einer maximalen Konzentration im Bereich der Messstelle 21.C.36 (nordwestlicher Hardwald), bei der ein Grundwasseralter von 29 Jahren ermittelt wurde.

Bei der Beprobung von Clustermessstellen zeigten sich die Spurenstoffe über die gesamte Grundwasserleitermächtigkeit mit relativ geringen Konzentrationen, jedoch mit einem leicht zunehmenden Trend mit der Tiefe.

Aufgrund der Konzentrationen von TeCBD in Bereichen des Grundwassers, das lediglich aus infiltriertem Rheinwasser besteht, muss davon ausgegangen werden, dass sich diese Stoffe von der Matrix rücklösen oder aus feinkörnigeren Lagen rückdiffundieren. Das Rheinwasser ist heute vorwiegend frei von diesen Stoffen und die teilweise in der Rheinüberwachungsstation oder bei der IWB gemessenen TeCBD Konzentrationen sind zu gering, um die im Grundwasser festgestellten Gehalte zu erklären. Den Prozess der Rücklösung findet man auch in den Langen Erlen, dem zweiten grossen Wasserwerk in Basel, das ebenfalls in den 1970er Jahren mit TeCBD belastetes Rheinwasser zur Anreicherung des Grundwassers genutzt hat.

Im Westen des Hardwaldes scheint hingegen eher die Beimischung von mit PER, TRI und TeCBD belastetem Muschelkalkwasser zur Beeinträchtigung des Lockergesteinsgrundwassers beizutragen, da hier auch deutliche Anteile von Wasser mit erhöhten Calcium- und Sulfatgehalten aus der regionalen Zirkulation vorhanden sind.

5.6 STOFFEINTRAG ÜBER DIE RHEINWASSERINFILTRATION

Der Rhein bei Basel führt 70% des gereinigten Abwassers aus der Schweiz. In der Rheinüberwachungsstation bei Basel können eine Vielzahl von Spurenstoffen festgestellt werden. Immer wieder treten Stoffe auch in höheren Konzentrationen im Bereich von einigen µg/L im Rhein auf. Die Frachten können sich schnell im Bereich von einigen 100 kg pro Ereignis bewegen. Mit der Rheinwasserinfiltration werden die im Rhein vorhandenen Stoffe in den Hardwald eingetragen. Die persistenten, polaren Substanzen können bis in die Trinkwasserbrunnen und einige davon, je nach Stoffeigenschaft und Laufzeit des Filters auch bei der Aktivkohlefiltration durchbrechen (z.B. 2-Acrylamido-2-methylpropansulfonsäure (AMPS)). Aufgrund der schnellen Erstauftritte von Stoffen, die über die Rheinfiltration eingetragen werden können, ist deshalb eine ständige Überwachung des Rheininfilt-

rats unumgänglich. In der Rheinüberwachungsstation werden zwar täglich Proben entnommen und bei erhöhten Stoffkonzentrationen Meldung gemacht. Da die Analysendauer bei einem Tag liegt, können trotzdem Stoffe in den Hardwald gelangen, wie die während der Projektdauer festgestellten Durchgänge von AMPS und Methyl-tert-butylether (MTBE) zeigen. Eine Online-Überwachung des Rheinwassers auf Spurenstoffe oberhalb der Rheinwasserentnahme wäre deshalb wünschenswert, um die Spurenstoffkonzentrationen bei der Infiltration möglichst gering zu halten. Automatisierte Messsysteme, die derart geringe Konzentrationen messen können, müssten jedoch noch entwickelt werden. Möglich wäre jedoch die Einrichtung einer Überwachungsstation an der Aare analog zur Rheinwasserüberwachungsstation (RÜS). Durch die RÜS werden heute immer wieder Stoffe über 1 µg/L festgestellt, die aus dem Einzugsgebiet der Aare stammen. Mit einer Aareüberwachungsstation hätte man ein besseres Frühwarnsystem für die Wasserwerke im Hardwald und in den Langen Erlen. Zu erwähnen ist jedoch, dass bei der nachfolgenden Trinkwasseraufbereitung die meisten Stoffe in Abhängigkeit der Laufzeit des Aktivkohlefilters zurückgehalten werden (für eine weitere Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen der Aufbereitung siehe Kapitel 6).

5.7 DYNAMIK DER FLIESSVERHÄLTNISSE

Die grossräumigen Fließverhältnisse bei unterschiedlichen Infiltrations- und Pumpratzen wurden mit der Szenarienberechnung mit dem numerischen Grundwassermodell untersucht. Diese betreffen mehrheitlich die grösserskaligen Veränderungen. Kleinskalige lokale, rasch auftretende Veränderungen können mit dem Modell nicht erfasst werden, konnten aber während dem Dauerbetrieb des Brunnens 21.A.17 beim Markierversuch beobachtet werden. Aufgrund einer Belastung des Rheinwassers mit MTBE musste die künstliche Infiltration während 42 Stunden unterbrochen werden. Während dieser Zeit blieb der Brunnen 21.A.17 weiterhin in Betrieb. Kurz nach der Veränderung der hydraulischen Verhältnisse durch den Stopp der Infiltration veränderte sich die Wasserzusammensetzung bezogen auf die Edelgase und es gab zusätzlich leichte Konzentrationsveränderungen bei PER und TeCBD. Während des Pumpbetriebs und bei gleichzeitiger Rheinwasserinfiltration wurde im Förderbrunnen praktisch ausschliesslich Infiltrat gefördert. Bei der Unterbrechung der Infiltration sank der Grundwasserspiegel und es wurde ein nicht bestimmter Anteil an Felsgrundwasser gefördert. Dies lässt sich aus den Messungen der Edelgase, der VOC und des ermittelten Wasseralters folgern. Ob diese leichte Veränderung der Zuflussverhältnisse auch bei anderen Trinkwasserbrunnen vorkommt, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Aufgrund der vorhandenen geochemischen Messdaten, den Isotopenwerten und den Spurenstoffanalysen, scheint sich der Brunnen 21.A.17 jedoch von den anderen Brunnen im zentralen Bereich des Hardwaldes zu unterscheiden. Um einen, wenn auch geringen Zustrom von Wasser aus dem regionalen Fließsystem sicher auszuschliessen, empfiehlt sich deshalb, den Brunnen 21.A.17 nur noch als Brauchwasserbrunnen zu betreiben. Aufgrund der festgestellten Konzentrationen der Spurenstoffe, welche deutlich unterhalb der Höchstwerte für Trinkwasser liegen, wäre dies jedoch aus gesetzlicher Sicht nicht notwendig.

Weiterhin kann festgehalten werden, dass ein kontinuierlicher Betrieb von Infiltration und Grundwasserentnahme den Zustrom aus der Rheinwasserinfiltration begünstigt und daher einem diskontinuierlichen Pumpregime vorzuziehen ist. Darüber hinaus wäre ein Versetzen der Pumpenhöhe Richtung Grundwasseroberfläche eine weitere Möglichkeit, einen allfälligen geringen Anteil an zuströmendem Muschelkalkwasser weiter zu reduzieren. Mit dieser Massnahme würde man sich jedoch auch gewisse Nachteile einhandeln, da der Anteil an sehr jungem, rasch zu den Brunnen strömendem Rheinwasserinfiltrat erhöht würde. Dadurch würde die Filterwirkung für das Infiltrat abnehmen und es könnten möglicherweise vermehrt Mikroorganismen in die Fassungen gelangen, da diese weniger gut zurückgehalten würden. Mit der vorhandenen UV-Desinfektion (nach dem Aktivkohlefilter) könnten die allenfalls erhöhten Keimzahlen jedoch problemlos reduziert werden. In Bezug auf Spurenstoffe, die mit dem Infiltrat in das System eingetragen werden, würde sich ein Versetzen der Pumpenhöhe Richtung Grundwasseroberfläche wahrscheinlich eher negativ auswirken, da Abbauprozesse während der Untergrundpassage, die die Spurenstofffrachten effektiv reduzieren, aufgrund verringerter Aufenthaltszeiten zwischen Infiltrationsanlagen und Brunnen nur limitiert wirken könnten. Zur Entscheidungsfindung wäre hier eine detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse angeraten.

5.8 MODELLIERUNG DER GRUNDWASSERSTRÖMUNGSVERHÄLTNISSE

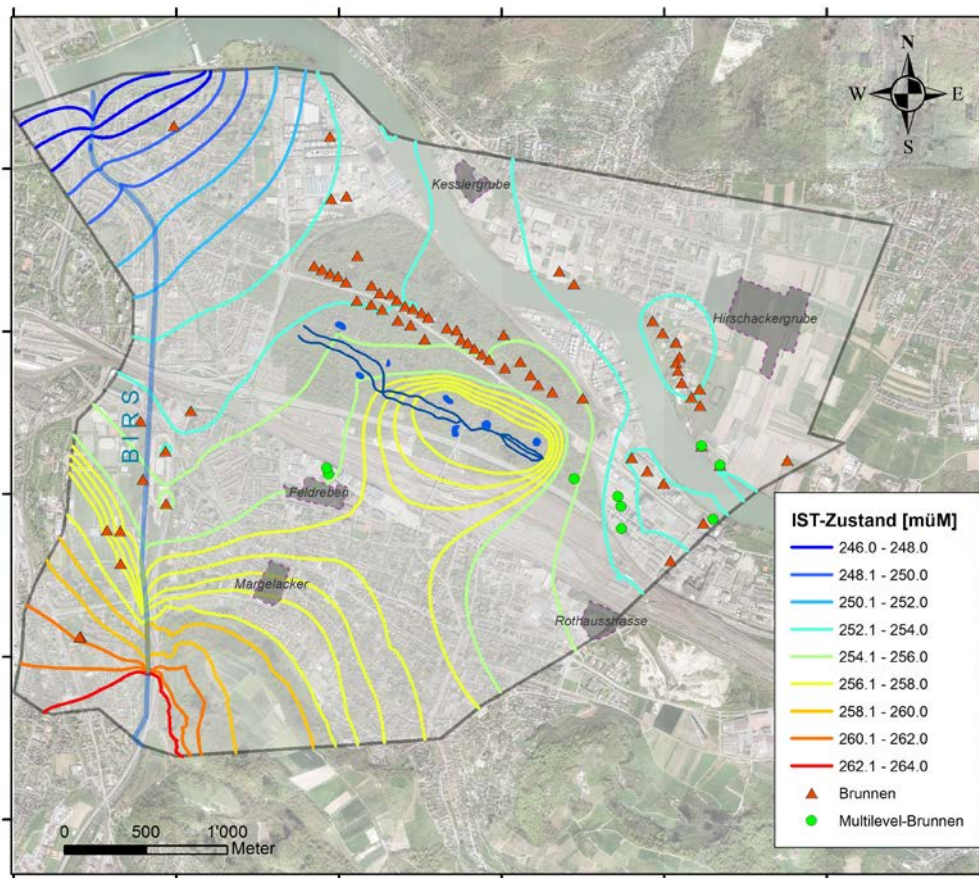


Abb. 5.1: Isolinienplan des Grundwasserstands als Ergebnis der numerischen Modellierung. Der dargestellte Plan stellt den Ist-Zustand dar mit einer mittleren Entnahme der Hardwasser AG von 45'000 m³/d und einer Infiltration von 95'000 m³/d. Deutlich ist die Auswirkung der Infiltration zu erkennen, die im zentralen Bereich des Trinkwassergewinnungsgebietes zu einem Grundwasserberg führt. Durch diese hydraulische Barriere sind die Trinkwasserbrunnen im Hardwald vor äusseren Einflüssen geschützt.

Mit dem numerischen Modell können geringe Anteile verschiedener Wasserkomponenten nicht identifiziert werden. Das Modell hilft jedoch entscheidend, die grösseren Zusammenhänge und die Auswirkungen der Grundwasserentnahmen zu verstehen. Mit der Szenarienmodellierung konnte gezeigt werden, dass bei durchschnittlicher Infiltration und Förderrate der Brunnen, wie sie zum grössten Teil des Jahres gefahren werden, keine Gefährdung für die Trinkwasserversorgung vorliegt (Abbildung 5.1). Die verwendeten Infiltrations- und Entnahmemengen der Hardwasser AG spiegeln generell einen sicheren Bereich wider. Jedoch gibt es einzelne Szenarien, bzw. Kombinationen von Infiltrations- und Fördermengen, die vermieden werden sollten.

Bei einer Erhöhung der Förderrate bei gleichbleibender Infiltrationsmenge kann es zu Grundwasserfliessrichtungen von ausserhalb in Richtung Hardwald kommen, vor allem im nördlichen und westlichen Bereich. Auch kann lokal (hauptsächlich im Westen) eine hohe Förderrate und gleichbleibende Infiltration einen Fliesswinkel erzeugen, der Richtung Hardwald zeigt. Deutlich zeigt sich hier das nicht-lineare Verhalten des Systems Hardwald. Ein globales Optimum der Infiltration und Pumprate kann zu einer Vernachlässigung lokaler Bereiche führen, in denen die gewünschte Fliessrichtung nicht eingehalten werden kann. Je nach räumlicher Gewichtung können die Resultate daher leicht variieren. Bei einer homogenen Infiltration mit einer in etwa gleichen Menge an künstlich infiltriertem Rheinwasser im Osten und Westen des Infiltrationssystems können jedoch diese lokalen Effekte vor allem am Westrand reduziert werden. Am Ostrand des Hardwaldes ist bedingt durch die stärkere Infiltration und die Brauchwasserentnahmen in Schweizerhalle bereits im Normalbetrieb ein grösserer hydraulischer

Gradient festzustellen, der einen Zustrom in Richtung Hardwald verhindert. Ohne diese künstliche Infiltration und Entnahme würde das Grundwasser von Osten in Richtung Hardwald strömen.

Weiterhin zeigt sich, dass eine kontinuierliche Infiltrationsrate generell ein sehr bedeutender Parameter für die Trinkwassersicherheit im Hardwald darstellt. Bei einer Unterbrechung ab vier Tagen, z.B. aufgrund einer langandauernden Verschmutzung des Rheins, kann eine sukzessive Absenkung des Grundwasserbergs stattfinden und eine Durchströmung des Hardwald von Süd nach Nord in Richtung Rhein wäre hierdurch möglich.

5.9 ADAPTIVES GRUNDWASSERMANAGEMENT

Das im Zuge des Projektes aufgebaute Grundwasserströmungsmodell und die entwickelten Algorithmen zur automatischen Auswertung der berechneten Grundwasserströmungsrichtungen bei unterschiedlichen Szenarien können zukünftig für die Umsetzung eines adaptiven Managements von der Hardwasser AG genutzt werden. Rund um das Trinkwasserproduktionsgebiet im Hardwald wurden Flächen aufgespannt, innerhalb derer die Grundwasserspiegeloberfläche eine bestimmte Neigung haben soll, um Gefährdungen durch in den Hardwald strömendes Grundwasser auszuschliessen. Voraussetzung für die Umsetzung eines adaptiven Grundwassermanagements ist die Installation von Onlinemessungen des Grundwasserstandes in den Randbereichen des Hardwalds. Diese Messungen zusammen mit dem entwickelten Grundwassermodell helfen sichere und kritische Betriebszustände zu identifizieren. Darauf aufbauend können Anpassungen der Infiltrationsmengen und -orten sowie der Trinkwasserförderung durchgeführt werden.

Zusätzlich zu der oben bereits dargelegten Online-Überwachung der Hydrochemie des Rheins resp. des Infiltrats sollte auch angedacht werden, weitere Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen in Richtung Auhafen sowie in Richtung des Westrandes zu installieren. Neben der Überwachung des Grundwasserstandes und damit der Ermittlung von Fliessrichtungen sollte hier eine regelmässige Aufnahme der Hydrochemie erfolgen. Aufgrund der verzögerten Analyse von Grundwasserproben wäre hierdurch zwar kein schnelles und adaptives Reagieren möglich, jedoch würde die Absicherung des Trinkwassergewinnungsgebietes in Bezug auf mögliche hydrochemische Randeinflüsse deutlich verbessert. Die Messungen würden auch zur Validierung und Weiterentwicklung des adaptiven Grundwassermanagements beitragen.

5.10 BEURTEILUNG DER SICHERHEIT DER TRINKWASSERBRUNNEN

Grundsätzlich ist festzustellen, dass es sich bei der Trinkwassergewinnung im Hardwald um ein sicheres und stabiles System handelt, trotz der zahlreichen industriellen Nutzungen im Umfeld. Entscheidend zur Trinkwassersicherheit trägt die Rheinwasserinfiltration bei. So entspricht das geförderte Trinkwasser in der Brunnengalerie im Hardwald weitestgehend dem infiltrierten Rheinwasser, was anhand mehrerer Verfahren und Datengrundlagen evaluiert werden konnte.

In den Randbereichen des Hardwaldes, insbesondere im Westen wirkt der Grundwasserberg jedoch nicht so stark und es können Mischungen mit regionalem Grundwasser beobachtet werden. Für die sichere Trinkwasserproduktion aus den randständigen Brunnen ist deshalb auch die Grundwasserförderung durch die Industrie wichtig. So kommt dem Pumpbetrieb in Schweizerhalle sowie des Florin-Brunnens eine grosse Bedeutung zu. Diese regionale Grundwasserkomponente zeigt sich in den westlichen Brunnen 21.A.2, 21.A.3 und 21.A.7, die z.T. bereits ausser Betrieb genommen wurden (z.B. Brunnen 21.A.2).

Eine mögliche Gefährdungssituation liegt somit im westlichen Bereich des Hardwalds vor. Auch wenn keine aktive hydraulische Verbindung zwischen belasteten Standorten und dem Trinkwassergewinnungsgebiet Hardwald nachgewiesen werden konnte, ist dies aufgrund der komplexen Geologie nicht komplett auszuschliessen. Beim Ausfall des heutigen Brunnens Florins im Bereich der Deponie Feldreben könnte es zu einem Abstrom in Richtung westlichen Hardwald kommen und das Grundwasser qualitativ beeinträchtigt werden. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer effektiven hydraulischen Sicherung zur Verhinderung eines Abstroms aus der Deponie Feldreben.

Obwohl die in einigen westlichen Brunnen und Brunnen 21.A.17 festgestellten Konzentrationen an chlorierten Kohlenwasserstoffen CKW sehr gering sind und aufgrund des relativ hohen Alters des beigemischten Muschelkalkwassers kaum Schwankungen aufweisen, sollten diese Brunnen nur noch zu Brauchwasserzwecken genutzt werden, um einen Zustrom aus dem regionalen Fließsystem sicher auszuschliessen.

Bei einem längeren Ausfall der künstlichen Infiltration würde eine sukzessive Absenkung des Grundwasserbergs stattfinden und eine Durchströmung des Hardwald von Süd nach Nord in Richtung Rhein wäre möglich. Hierdurch könnte Grundwasser aus dem Bereich der belasteten Standorte in den Hardwald gelangen. Da Schadstoffe in einem geringen Umfang auch in grösserer Tiefe im geklüfteten Muschelkalk zu finden sind, wäre eine lange Emissionsdauer zu erwarten (eine weitere Diskussion dieses Szenarios bezüglich Trinkwasseraufbereitung befindet sich in Kapitel 6).

Neben der Bedeutung der künstlichen Rheinwasserinfiltration für die Aufrechterhaltung der Trinkwassersicherheit, stellt sie heute jedoch gleichzeitig auch die grösste Gefährdung für die Trinkwasserproduktion dar. Während der Projektdauer von drei Jahren wurden zwei polare persistente Stoffe im Rhein festgestellt, die über die Versickerung in den Hardwald gelangten, bevor die Infiltration für einige Tage abgestellt werden konnte. Solange diese Spurenstoffdurchgänge im Rhein nur wenige Tage dauern, kann die Trinkwasserproduktion weiterbetrieben werden, bei längeren Infiltrationsunterbrüchen muss die Produktion jedoch zurückgefahren oder ganz abgestellt werden.

Für die Überwachung der Trinkwassersicherheit sollten entsprechende Monitoringprogramme etabliert werden. Brunnen mit kurzen Fließzeiten von der Infiltration zu den Brunnen sollten auf polare Spurenstoffe, wie sie heute im Rhein vorkommen, untersucht und häufig beprobt werden. Zudem sollte eine stärkere Abstimmung mit der Rheinüberwachungsstation stattfinden, um die Auswirkungen qualitativer Veränderungen im Rhein auf das Hard Grundwasser rasch festzustellen. Andererseits sollten Brunnen mit einem Anteil an regionalem Grundwasser neben den polaren Substanzen auch auf CKW untersucht werden. Die Probenahmen sollten dabei verschiedene hydraulische Betriebszustände mit erfassen.

5.11 NUTZEN DER SANIERUNG DER DEPONIE FELDREBEN

Wie die Szenarienmodellierung gezeigt hat, braucht es zur Verhinderung eines Grundwasserabstroms von der Deponie Feldreben, wie im Sanierungsprojekt geplant, eine hydraulische Sicherung mit mehreren Brunnen und genügend grosser Förderleistung. Diese muss auch bei hoher Rheinwasserinfiltration und bei Hochwassersituationen im Rhein einen Abstrom während der Sanierung verhindern. Dadurch trägt sie zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung aus dem Hardwald bei. Mit der geplanten Sanierung wird somit ein wesentlicher Beitrag zur Sicherheit im System Hardwald geleistet.

6 TRINKWASSERAUFBEREITUNG HARDWALD (TP4)

6.1 AUSGANGSLAGE

Das Trinkwasser aus dem Hardwald stammt aus infiltriertem Rheinwasser. Der Rhein in Basel führt ca. 70% des Wassers aus der Schweiz ab und damit auch rund 70% des gereinigten Abwassers. Im Rheinwasser ist somit eine Vielzahl von Spurenstoffen vorhanden, die im Trinkwasser unerwünscht sind. Die Bodenpassage und der vorhandene Aktivkohlefilter, welcher aufgrund von historischen Belastungen mit Tetrachlorbutadienen installiert wurde, sind geeignet, eine grosse Anzahl an Substanzen aus dem Wasser zu entfernen. Jedoch kann eine Aktivkohlefiltration nicht alle möglichen vorhandenen Substanzen mit gleicher Effizienz zurückhalten, insbesondere bei längeren Laufzeiten. Im vorliegenden Projekt wurde untersucht wie gut die granulierten Aktivkohlefilter die Spurenstoffe zurückhalten und ob allenfalls eine vor oder nachgeschaltete Oxidation zu einer längeren Laufzeit je Spurenstoff und/oder einer besseren Entfernung einer breiten Palette von Spurenstoffen führen kann.

In diesem Teilprojekt wurden folgende Aspekte im Labor- und Pilotmassstab untersucht:

Labor:

- Prognose des Durchbruchs von 20 Substanzen für den Aktivkohlefilter im Hardwald mittels „Rapid Small Scale Column Tests (RSSCT)“
- Vergleich der Wasseraufbereitung mit Pulveraktivkohle und Oxidation für Hardwald Grundwasser und Rheinwasser
- Effizienz verschiedener Prozesse der weitergehenden Oxidation zum Abbau von polaren Spurenstoffen und Polychlor-1,3-butadienen in Hardwald Grundwasser
- Entwicklung eines neuen Ozon-Membranverfahren zur weitergehenden Oxidation unter minimaler Bromatbildung (Hardwald Grundwasser, Rheinwasser)

Pilotanlage (siehe Abbildung 6.1):

- Kurzzeitexperimente zum Abbau ausgewählter Spurenstoffe (inkl. Polychlor-1,3-butadiene) mit dem Ozon/Wasserstoffperoxid Prozess
- Kurzzeitexperimente zum Abbau ausgewählter Spurenstoffe (inkl. Polychlor-1,3-butadiene) mit dem UV/Wasserstoffperoxid Prozess
- Kurzzeitexperimente zur Bildung von Transformationsprodukten für die Prozesse Ozon/ Wasserstoffperoxid und UV/Wasserstoffperoxid und die Kombination mit Pulveraktivkohle
- Langzeitexperimente zur Adsorption von Spurenstoffen an granulierter Aktivkohle und deren Vergleich mit der Aktivkohlefiltration in der Grossanlage
- Langzeitexperimente zum Abbau von iodierten Röntgenkontrastmitteln, künstlichen Süsstoffen, Pestiziden, Arzneimitteln und Industriechemikalien mit Prozessen der weitergehenden Oxidation (Ozon/Wasserstoffperoxid, UV/Wasserstoffperoxid) und deren Auswirkung auf die nachfolgende Filtration über granulierten Aktivkohle



Abb. 6.1: Pilotanlage in Birsfelden.

6.2 LABOREXPERIMENTE

6.2.1 ADSORPTION VON 20 SUBSTANZEN AN GRANULIERTER AKTIVKOHLE

20 Substanzen (5 iodierter Röntgenkontrastmittel, 1 künstlicher Süsstoff, 7 Pflanzenschutzmittel, 5 Arzneimittel und 2 Industriechemikalien) wurden aufgrund ihres Vorkommens und einer grossen Bandbreite von physikalisch-chemischen Eigenschaften für Laborkolonnentests mit granulierter Aktivkohle ausgewählt. Die Labortests wurden mit Hardwald Grundwasser durchgeführt, wobei die Substanzen in geringen Konzentrationen zugegeben wurden. Aufgrund der Durchbruchkurven im Labortest konnten die Durchbrüche von Diatrizoesäure und Iopamidol im Grossmassstab gut modelliert werden. Diese Substanzen brechen schon nach wenigen Monaten, respektive nach ca. einem Jahr durch, sind aber aus toxikologischer Sicht unbedenklich. Sucralose, ein künstlicher Süsstoff bricht etwa nach zwei Jahren durch, auch hier gibt es eine recht gute Übereinstimmung zwischen Labor und Grossmassstab. Für die Herbizide 2,6-Dichlorbenzamid, Desethylatrazin und Metolachlor ist ein Durchbruch Ende 2017, d.h., nach vier Betriebsjahren zu erwarten, während Atrazin, Desisopropylatrazin und Simazin im Grossmassstab erst Anfang 2020 nach sechs Betriebsjahren durchbrechen sollten.

Somit sind Laborkolonnen im Kleinstmassstab eine gute Möglichkeit Aktivkohlefilter im Grossmassstab zu simulieren und sie können zu prognostischen Zwecken herangezogen werden.

6.2.2 VERGLEICH DER ELIMINATION VON SPURENSTOFFEN IM HARDWALD GRUNDWASSER UND IM RHEINWASSER

PULVERAKTIVKOHLE (PAK)

Adsorptionsexperimente mit den gleichen Substanzen wie unter 6.2.1 beschrieben, haben gezeigt, dass die Effizienz der Adsorption dieser Auswahl an Substanzen im Rheinwasser signifikant kleiner ist. Dies ist vor allem auf den höheren Gehalt an DOC im Rheinwasser (1.6 mg/L) im Vergleich zum Hardwald Grundwasser (0.5 mg/L) zurück zu führen. Aufgrund dieser Untersuchungen müsste für eine direkte Aufbereitung von Rheinwasser bei gleicher Effizienz der Elimination wie im Hardwald Grundwasser die PAK-Dosis unabhängig vom Spurenstoff ca. doppelt so hoch sein, oder der spezifische Verbrauch an Aktivkohle wäre ca. 2 mal höher. Je nach Substanz kann die benötigte Menge an Aktivkohle bei gleicher Elimination um ca. einen Faktor 5 variieren.

WEITERGEHENDE OXIDATION

Für den Prozess O_3/H_2O_2 ist der Abbau von Ozon-resistenten Verbindungen im Hardwald Grundwasser etwa 10% effizienter als für vergleichbare realistische Bedingungen im Rheinwasser. Dafür wird für die gleichen Bedingungen im Hardwald Grundwasser mehr Bromat gebildet. Für den Prozess UV/H_2O_2 ist die UV-Dosis im Hardwald Grundwasser für den Abbau einer Probesubstanz nur etwa 60% der UV-Dosis im Rheinwasser.

Abschliessend kann aus diesen Experimenten geschlossen werden, dass die Aufbereitung des Hardwald Grundwassers im Vergleich zum Rheinwasser wesentlich effizienter ist, vor allem wegen der tieferen Konzentration an DOC. Das natürliche organische Material wird bei der Versickerung von Rheinwasser im Hardwald stark abgebaut und konkurrenziert somit die Wasserbehandlung durch Adsorption und Oxidation weniger.

Aus den Daten kann geschlossen werden, dass eine Aufbereitung von Hardwald Grundwasser durch Aktivkohle und $UV/Wasserstoffperoxid$ wesentlich und für $O_3/Wasserstoffperoxid$ geringfügig effizienter ist (etwas höhere Bromatbildung) als eine direkte Aufbereitung von Rheinwasser.

6.2.3 WEITERGEHENDE OXIDATION ZUM ABBAU VON POLAREN SPURENSTOFFEN UND POLYCHLORIERTEN 1,3-BUTADIENEN

POLARE SPURENSTOFFE

Sechs Spurenstoffe (Carbamazepin, Tramadol, Benzotriazol, Acesulfam und Iopamidol, para-Chlorbenzoesäure) die sehr rasch bis kaum mit Ozon reagieren ($k_{O_3} = 3 \times 10^5 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1} - < 0.15 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$), wurden verwendet, um die optimale Ozondosis im Hardwald Grundwasser ohne und mit Zugabe von Wasserstoffperoxid zu testen. Für einen Abbau von durchschnittlich ca. 80% all dieser Stoffe, wurde eine optimale Ozondosis von 0.5 – 1.0 mg/L gefunden und es konnte gezeigt werden, dass ohne Zugabe von Wasserstoffperoxid die Bromatkonzentration wesentlich höher als 10 µg/L ist, dem Toleranzwert für Trinkwasser in der Schweiz. Für die Zugabe von Wasserstoffperoxid in einem Massenverhältnis Ozon:Wasserstoffperoxid von 2 kann die gleiche Abbauleistung erreicht werden, wobei Bromat unterhalb des Toleranzwerts zu liegen kommt.

Zusammenfassend kann eine breite Palette von Spurenstoffen durch das Ozon/Wasserstoffperoxid-Verfahren im Durchschnitt zu 80% abgebaut werden unter Einhaltung des Toleranzwerts für Bromat (typischerweise $< 5 \text{ µg/L}$).

POLYCHLORIERTE 1,3-BUTADIENE

Der Abbau von 9 Polychlor-1,3-butadienen (CBD) durch Ozon, UV (254 nm) und den entsprechenden Prozessen der weitergehenden Oxidation (O_3/H_2O_2 , UV/H_2O_2) wurde in Reinstwasser und im Hardwald Grundwasser untersucht. Die wichtigsten physikalisch-chemischen Konstanten wurden bestimmt (k_{O_3} , k_{OH} , Quantenausbeute, molare Absorptionskoeffizienten). Im Hardwald Grundwasser wurden bei der Ozonung Tetrachlorbutadiene für eine Ozondosis von 0.25 mg/L oder 0.5 mg/L zu $> 50\%$ respektive $\sim 100\%$ abgebaut, während Pentachlor- und Hexachlorbutadiene wesentlich weniger gut eliminiert wurden. Die Bildung von Bromat konnte durch Zugabe von Wasserstoffperoxid (0.25 mg/L für eine Ozondosis von 0.5 mg/L) wesentlich vermindert werden. Für typische UV-Dosen, wie sie in der Desinfektion verwendet werden (400 J/m^2), konnten Polychlor-1,3-butadiene im Bereich von 10-90% transformiert werden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass dabei z.T. Photoisomere gebildet werden, deren toxische Eigenschaften unbekannt sind. Die Zugabe von Wasserstoffperoxid führt zu keiner signifikanten Verbesserung der Abbauleistung, da UVC alleine schon zu einer effizienten Photo-transformation der Polychlor-1,3-butadiene führt.

Insgesamt führen Ozon-basierte Prozesse zu einem effizienten Abbau von Tetrachlorbutadienen; Penta- und Hexachlorbutadiene werden nur ungenügend abgebaut. Direkte UV Photolyse ist der dominante Prozess bei UV-basierten Verfahren, eine Zugabe von H_2O_2 bewirkt wenig. Photoisomerisierung führt z.T. zur Bildung von Produkten mit unbekannter Toxizität. Es ist allerdings zu erwarten, dass auch die gebildeten Photoisomerisierungsprodukte gut an Aktivkohle adsorbieren.

NEUES OZONUNGSVERFAHREN ZUR MINIMIERUNG DER BROMATBILDUNG

Die Ozonung ist zwar ein effizientes und kostengünstiges Verfahren zum Abbau von Spurenstoffen, jedoch führt sie immer zu einer Bildung von Bromat aus Bromid, das natürlicherweise im Rohwasser vorhanden ist. Die Bromatbildung kann durch Zugabe von Wasserstoffperoxid vermindert werden, da Ozon unter diesen Bedingungen rasch in OH-Radikale umgewandelt wird und somit zur Oxidation gewisser Zwischenstufen bei der Bromatbildung nicht mehr zur Verfügung steht. Trotzdem kann auch unter diesen Bedingungen die Bromatbildung nicht komplett unterdrückt werden. In einem neu entwickelten Verfahren (Patent angemeldet) wird Ozon dem Wasser, das mit Wasserstoffperoxid versetzt ist, über eine Mikro-/Ultrafiltrationsmembran zugeführt und sofort in OH-Radikale umgewandelt, so dass die Ozonkonzentration in der Lösung minimal ist. Unter diesen Bedingungen kann im Hardwald Grundwasser ein 90%iger Abbau von Spurenstoffen erfolgen, ohne dass Bromat gebildet wird. Dieses Verfahren wird gegenwärtig weiterentwickelt zur zukünftigen Anwendung in der Trinkwasseraufbereitung.

Ein neues Ozonungsverfahren wurde entwickelt, welches die Vorteile der Ozonung (tieferer Energieverbrauch als UV-basierte Verfahren) mit einer niedrigen Bromatbildung verbindet. Schwankungen der Bromidkonzentration sollten die Bromatbildung bei diesem Verfahren nicht wesentlich beeinflussen.

6.3 PILOTANLAGE

6.3.1 KURZZEITEXPERIMENTE ZUM ABBAU AUSGEWÄHLTER SPURENSTOFFE (INKL. POLYCHLOR-1,3-BUTADIENE) MIT DEM OZON/WASSERSTOFFPEROXID PROZESS (VOR AKTIVKOHLE)

In den Kurzzeitexperimenten wurde zunächst die Bromatbildung untersucht und es wurden für die Ozonung ähnliche Bedingungen gefunden, wie oben bei den Laborexperimenten (0.5 mg/L Ozon, 0.2 mg/L Wasserstoffperoxid). Die Bromatbildung war etwas höher, da in diesen Experimenten die Bromidkonzentration im Vergleich zu den Laborexperimenten leicht höher war. Für diese Bedingungen wurde für den Abbau von 8 Spurenstoffen (Carbamazepin, Tramadol, AMPS, Benzotriazol, Acesulfam, Sucralose, Iopamidol, Diatrizoessäure) ein Abbau zwischen 10% und >95% gefunden. AMPS, welches bei der Aktivkohlefiltration im Hardwald nicht zurückgehalten wurde, wird unter diesen Bedingungen zu > 95% abgebaut. Eine Erhöhung der Ozondosis führt zwar zu einer Verbesserung des Abbaus, jedoch liegt unter diesen Bedingungen die Bromatkonzentration nahe oder über dem Toleranzwert. Für die Tetrachlor-1,3-butadiene, welche im Hardwald Grundwasser messbar waren (vor allem 1,1,4,4-TCBD) konnte für diese Bedingungen ein Abbau unterhalb die Nachweisgrenze von 8 ng/L erreicht werden.

Somit kann eine zusätzliche Aufbereitungsstufe (O_3/H_2O_2) eine verbesserte Elimination für schlecht adsorbierbare Substanzen (z.B. AMPS) erreichen. Zudem wird das vorhandene Tetrachlorbutadien unter die Nachweisgrenze von 8 ng/L abgebaut.

6.3.2 KURZZEITEXPERIMENTE ZUM ABBAU AUSGEWÄHLTER SPURENSTOFFE (INKL. POLYCHLOR-1,3-BUTADIENE) MIT DEM UV/WASSERSTOFFPEROXID PROZESS (VOR AKTIVKOHLE)

Experimente mit den gleichen Substanzen wurden auch mit UV/Wasserstoffperoxid durchgeführt. Für eine UV-Dosis von 6800 J/m^2 und eine Wasserstoffperoxid Konzentration von 5 mg/L konnten die Spurenstoffe im Bereich von 40% bis > 95% abgebaut werden, wobei 7 der Substanzen zu $\geq 80\%$ abgebaut wurden (AMPS 80%). Die messbaren Polychlor-1,3-butadiene wurden auch in diesem Prozess effizient abgebaut, jedoch ist hier zu beachten, dass z.T. Photoisomere gebildet werden (siehe oben). Da beim Prozess UV/Wasserstoffperoxid kein Bromat gebildet wird, ergeben sich hier deutliche Vorteile. Allerdings ist zu beachten, dass der Energiebedarf dieses Prozesses ca. 5-20 mal höher ist als für Ozon/Wasserstoffperoxid. Die Restkonzentration von H_2O_2 wurde in der nachfolgenden Aktivkohlefiltration effizient abgebaut.

Eine zusätzliche Aufbereitungsstufe (UV/ H_2O_2) kann eine verbesserte Elimination für schlecht adsorbierbare Substanzen (z.B. AMPS) erreichen. Allerdings ist der Energiebedarf für diese Verfahren im Vergleich zu ozonbasierten Prozessen wesentlich höher.

6.3.3 KURZZEITEXPERIMENTE ZUM ABBAU AUSGEWÄHLTER SPURENSTOFFE (INKL. POLYCHLOR-1,3-BUTADIENE) DURCH WEITERGEHENDE OXIDATION (NACH AKTIVKOHLE)

Diese Prozessführung hat den Vorteil, dass die Spurenstoffe adsorbieren, bevor sie oxidiert und somit hydrophiler werden. Die nachfolgende Oxidation dient dann denjenigen Stoffen die beim Aktivkohlefilter durchbrechen. Allerdings kann die weitergehende Oxidation nicht als letzte Stufe verwendet werden, da dabei aus der organischen Matrix biologisch abbaubares Material gebildet wird, das im Verteilnetz zu einer Verkeimung führen kann. Deshalb muss für diese Prozessführung eine biologische Stufe (z.B. Sandfiltration) nachgeschaltet werden. Es konnte im Labor-, im Pilot- und im Grossmassstab gezeigt werden, dass der DOC Gehalt nach 78 Wochen durchbricht und das natürliche organische Material dabei praktisch unverändert bleibt. Dies führt dazu, dass die Effizienz der Oxidationsprozesse nach dem mit organischem Material gesättigten Aktivkohlefilter vergleichbar ist wie vor dem Aktivkohlefilter.

Somit ist eine Oxidation nach der Aktivkohlefiltration ähnlich effizient wie vor der Aktivkohlefiltration. Diese Prozessführung konzentriert sich auf Spurenstoffe, die schlecht an der Aktivkohle adsorbieren

oder bereits durchbrechen. Allerdings muss bei dieser Prozesskombination eine biologische Sandfiltration nachgeschaltet werden.

6.3.4 KURZEITEXPERIMENTE ZUM ABBAU VON SPURENSTOFFEN DURCH WEITERGEHENDE OXIDATION, DER BILDUNG VON TRANSFORMATIONSPRODUKTEN UND DIE KOMBINATION MIT PULVERAKTIVKOHLE

Um die Kombination der weitergehenden Oxidation (O_3/H_2O_2 , UV/ H_2O_2) mit Aktivkohle zu simulieren, wurde in den Kurzzeitexperimenten PAK verwendet. Es konnte gezeigt werden, dass diese Kombination, je nach PAK Dosierung zu einer besseren Elimination der Spurenstoffe führt, jedoch konnten keine synergistischen Effekte festgestellt werden.

Bei Prozessen der weitergehenden Oxidation werden Spurenstoffe meist nicht mineralisiert, sondern in Transformationsprodukte mit mehr oder weniger ähnlichen Strukturen umgewandelt. Für verschiedene Spurenstoffe (Tramadol, AMPS, Benzotriazol, Iopamidol, Sucralose) wurden Transformationsprodukte nachgewiesen, die entweder in der Literatur beschrieben sind, oder aufgrund von bekannten Reaktionsmechanismen vorausgesagt wurden. Die Untersuchungen mit Pulveraktivkohle zeigten, dass die Transformationsprodukte ähnlich gute Adsorptionseigenschaften an PAK haben wie die Ausgangssubstanzen.

Zusammenfassend ergibt die Kombination von Oxidation mit PAK zur Elimination von Spurenstoffen keine Synergien. Transformationsprodukte der Oxidation haben ähnliche Adsorptionseigenschaften an Aktivkohle wie die Ausgangssubstanzen.

6.3.5 LANGZEITEXPERIMENTE ZUR ADSORPTION VON SPURENSTOFFEN AN GRANULIERTER AKTIVKOHLE UND DEREN VERGLEICH MIT DER AKTIVKOHLEFILTRATION IN DER GROSSANLAGE

Die Adsorption ausgewählter Substanzen in den Aktivkohlesäulen der Pilotanlage (siehe Abbildung 6.2) und dem Aktivkohlefilter der Grossanlage wurden verglichen. Der Durchbruch war für die zwei Systeme für Diatrizoesäure, Iopamidol und Sucralose vergleichbar. Der Durchbruch für Acesulfam wurde anfänglich in der Pilotanlage korrekt vorhergesagt, jedoch steigt die Konzentration im Grossmassstab auf über das Vierfache der Konzentration vor dem Filter. Dies ist darauf zurück zu führen, dass die Konzentration im Hardwald Grundwasser in der Untersuchungsperiode etwa um einen Faktor 6-7 abnahm.

In der Pilotanlage wurde der Durchbruch der ausgewählten Substanzen in Kolonne 1 mit einer Momentaufnahme über die zehn Kolonnen verglichen und eine gute Übereinstimmung gefunden. Das bedeutet, dass der Durchbruch von Spurenstoffen mit wenigen Probenahmen simuliert werden kann, wenn ein System von Aktivkohlekolonnen in Serie verwendet wird, um die Tiefe des Filters im Grossmassstab zu simulieren.

Somit können Kolonnenfilter im Pilotmassstab die Adsorption von Spurenstoffen mit relativ konstanter Konzentration im Hardwald Grundwasser im Grossmassstab gut abbilden. Ein neues Verfahren zur Abschätzung der Adsorption mit einer Momentaufnahme wurde entwickelt. Beim Durchbruch von Substanzen kann durch Desorption im Vergleich zum Rohwasser eine erhöhte Konzentration der Zielsubstanzen auftreten.

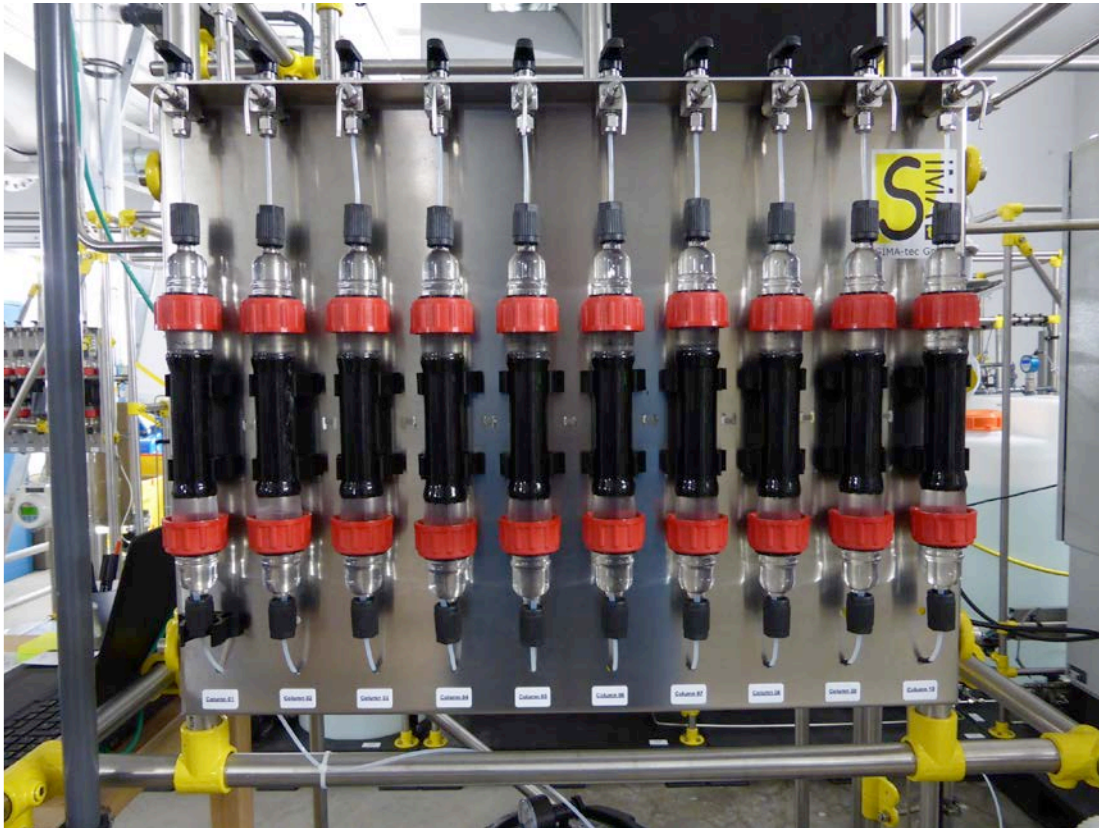


Abb. 6.2: Aktivkohlsäulen der Pilotanlage.

6.3.6 LANGZEITEXPERIMENTE ZUM ABBAU VON SPURENSTOFFEN MIT PROZESSEN DER WEITERGEHENDEN OXIDATION (OZON/WASSERSTOFFPEROXID, UV/WASSERSTOFFPEROXID) UND DEREN AUSWIRKUNG AUF DIE NACHFOLGENDE FILTRATION ÜBER GRANULIERTE AKTIVKOHLE

Langzeitexperimente zum Abbau von iodierten Röntgenkontrastmitteln, künstlichen Süßstoffen, Pestiziden, Arzneimitteln und Industriechemikalien mit weitergehender Oxidation konnten zeigen, dass die ausgewählten Substanzen im Dauerbetrieb reproduzierbar abgebaut wurden. Die Bedingungen der weitergehenden Oxidation (O_3/H_2O_2 , UV/H_2O_2) waren wie oben optimiert. Des Weiteren wurde untersucht, wie sich die Voroxidation auf die Adsorption der Spurenstoffe mittels einer nachfolgenden Aktivkohlefiltration auswirkt. Es konnte gezeigt werden, dass der Durchbruch der Substanzen in den Untersuchungen mit Voroxidation in der Regel signifikant später erfolgt, als wenn die Aktivkohlefilter alleine betrieben werden.

Aus den Daten kann geschlossen werden, dass die Effizienz des oxidativen Abbaus von Spurenstoffen im Dauerbetrieb konstant ist. Zudem kann eine Voroxidation die Laufzeit der Aktivkohlefilter für schlecht adsorbierbare Substanzen erhöhen (ca. 1 Jahr für sehr polare Substanzen, mehrere Jahre für polare Substanzen).

6.4 FOLGERUNGEN AUS DEN EXPERIMENTEN IM LABOR- UND PILOTMASSSTAB FÜR DEN BETRIEB DER WASSER-AUFBEREITUNG IM HARDWALD

6.4.1 AUFBEREITUNG VON HARDWALD GRUNDWASSER IM VERGLEICH ZU RHEINWASSER

Die Verwendung/Aufbereitung von Hardwald Grundwasser ist im Vergleich zur direkten Verwendung von Rheinwasser aus verschiedenen Gründen sinnvoll:

1. Rheinwasser unterliegt grossen Temperaturschwankungen (5-23°C), was aus Sicht der Trinkwasserqualität nachteilig ist. Eine Versickerung im Hardwald führt zu einer Dämpfung dieses Temperatursignals und zu einer für Trinkwasser idealen Temperatur von 10-15°C.
2. Bei einer direkten Aufbereitung von Rheinwasser müsste eine Desinfektionsstufe eingebaut werden, die durch die Versickerung im Hardwald weniger kritisch ist.
3. Es konnte gezeigt werden, dass ca. die Hälfte der im Rhein nachgewiesenen Spurenstoffe bei der Versickerung abgebaut wird. Somit müssen diese Stoffe nicht durch technische Verfahren entfernt werden.
4. Die Konzentration des DOC im Rhein ist mit ca. 1.6 mg/L etwa 3 mal höher als diejenige im Hardwald Grundwasser. Jede Stufe der Aufbereitung ist bei einem erhöhten DOC Gehalt weniger effizient. In Laborstudien konnte gezeigt werden, dass dadurch der Verbrauch an Aktivkohle ca. doppelt so hoch wäre wie bei Verwendung von Hardwald Grundwasser. Für den Prozess UV/Wasserstoffperoxid ist die UV-Dosis im Hardwald Grundwasser etwa 40% tiefer als im Rheinwasser, für Ozon/Wasserstoffperoxid ist die Effizienz im Hardwald Grundwasser etwa 10% höher als im Rheinwasser.
5. Eine weitergehende Oxidation von Rheinwasser mit anschliessender Versickerung wäre eine zusätzliche Möglichkeit, um Spurenstoffe zu abzubauen, bevor sie ins Hardwald Grundwasser gelangen. Allerdings ist bei dieser Variante der erhöhte Energiebedarf zu berücksichtigen. Zudem müsste im Vergleich zur Aufbereitung des Hardwald Grundwassers das doppelte Volumen aufbereitet werden.

6.4.2 ZUSÄTZLICHE AUFBEREITUNG DES HARDWALD GRUNDWASSERS?

Die heutige Aufbereitung des Hardwald Grundwassers ist sehr effizient zur Entfernung der Zielsubstanzen (Polychlor-1,3-butadiene). Die Elimination von polarerer Substanzen ist wesentlich weniger effizient und es wurde für einige unproblematische Substanzen bereits ein Durchbruch festgestellt. Weitere Substanzklassen werden gemäss den Kolonnenversuchen im Labor bis Ende 2017 folgen. In den Untersuchungen im Labor und auf der Pilotanlage wurden verschiedenen Szenarien mit Aktivkohle und vor- oder nachgeschalteter weitergehender Oxidation durchgespielt. Dabei zeigte sich, dass eine ozonbasierte weitergehende Oxidation durch die Bildung von Bromat limitiert ist, dass in Langzeitversuchen aber trotzdem eine genügende Breitenwirkung für den Abbau von 20 Spurenstoffen erreicht wird. Zudem werden unter diesen Bedingungen auch Tetrachlor-1,3-butadiene effizient abgebaut, was ein Vorteil dieses Verfahrens ist. Eine Alternative wäre das neu entwickelte Ozon-Membranverfahren, bei dem die Ozondosis erhöht und somit der Abbau von Spurenstoffen verbessert werden könnten, ohne die Limitierung der Bromatbildung. Allerdings braucht dieses Verfahren noch eine weitere Entwicklung, bis es im Grossmassstab angewendet werden kann. Die UV-basierten Prozesse der weitergehenden Oxidation sind bezüglich der Breitenwirkung für den Abbau von Spurenstoffen sehr interessant, da in diesen Verfahren kein Bromat gebildet wird. Allerdings sind diese Prozesse sehr energieintensiv mit einem Energiebedarf, der je nach Spurenstoff etwa 5-20 mal höher liegt als bei ozonbasierten Verfahren. Polychlor-1,3-butadiene werden in diesen Verfahren auch abgebaut, allerdings kann z.T. eine Photoisomerisierung der Edukte stattfinden, welche zu Produkten mit unbekannter Toxizität führt. Sowohl ozonbasierte als auch UV-basierte Verfahren führen bei der nachfolgenden Aktivkohlefiltration zu längeren Laufzeiten und zu einem zusätzlichen Schutz vor ungenügend adsorbierbaren Substanzen (z.B. AMPS). Allerdings werden bei beiden Verfahren Transformationsprodukte gebildet, welche hydrophiler sind, weshalb eine schlechtere Adsorbierbarkeit an der Aktivkohle erwartet wird.

Insgesamt kann durch eine Kombination von oxidativen Verfahren mit der Aktivkohlefiltration eine höhere Sicherheit bezüglich Spurenstoffen, welche kontinuierlich oder durch Schadensfälle ins Hardwald Grundwasser gelangen, erreicht werden. Die Grösse und die Wichtigkeit der Hardwasser AG für die Wasserversorgung in der Region Basel würde eine gewisse Erweiterung der Verfahrenskette der Trinkwasseraufbereitung als erweiterte Sicherheit rechtfertigen. Dies auch im Kontext der Regionalisierung, bei der die Hardwasser AG eine noch wichtigere Rolle einnehmen wird (siehe Kapitel 7). Allerdings sind neben den Tetrachlor-1,3-butadienen aus heutiger Sicht keine Stoffe in Konzentrationen

vorhanden, welche aus toxikologischer Sicht relevant sind. Somit würde eine zusätzliche Aufbereitungsstufe einer gesellschaftlichen Forderung nach einem Trinkwasser mit noch tieferen Konzentrationen an Spurenstoffen beruhen. Deshalb muss hier entschieden werden, ob allfällige Investitionen im Trinkwasser oder einer anderen präventiven Massnahme im Gesundheitsbereich gemacht werden sollen.

6.4.3 TRINKWASSERSICHERHEIT IM HARDWALD BEI AUSFALL DES GRUNDWASSERBERGS

Der Grundwasserberg ist für den Betrieb der Trinkwassergewinnung aus dem Hardwald Grundwasser essenziell (siehe Kapitel 5). Eine kontinuierliche Infiltration mit Rheinwasser ist für das Funktionieren dieses Systems sehr wichtig, gegenwärtig kann/will die Hardwasser AG nicht auf mehr als 5 Tage ohne Infiltration verzichten (siehe Kapitel 5). In der Regel reicht dies aus, um Spitzen von Kontaminanten im Rhein zu umgehen, wenn sie genügend früh detektiert werden. Falls bei längeren Perioden ohne Infiltration trotzdem Trinkwasser gefördert werden müsste, würde zunehmend regionales Grundwasser gepumpt. Dieses ist stärker mit Spurenstoffen aus den umliegenden belasteten Standorten rund um den Hardwald belastet, bei etwa gleichbleibender Matrix (DOC). Die Aktivkohlefiltration würde auch für diesen Fall eine gute Barriere darstellen, welche über Monate betrieben werden könnte, ohne dass signifikante Belastungen im Trinkwasser zu erwarten wären. Eine zusätzliche Oxidationsstufe vor der Aktivkohlefiltration würde in diesem Fall einen zusätzlichen Schutz bieten, da neben den Polychlor-1,3-butadienen auch andere chlorierte Verbindungen wie z.B. TRI oder PER in der weitergehenden Oxidation abgebaut werden können und somit der Durchbruch dieser Verbindungen bei der Aktivkohle später zu erwarten wäre. Ein Betrieb ohne Grundwasserberg ist allerdings im Betriebsregime der Hardwasser AG nicht vorgesehen.

6.5 VERGLEICHENDE BETRACHTUNGEN

6.5.1 ADÄQUATE TRINKWASSERAUFBEREITUNG FÜR VERSCHIEDENE SYSTEME

Der Kanton Basel-Landschaft verfügt über verschiedenartige Wasserressourcen mit unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen. Bei den Quellen steht die hygienische Qualität im Vordergrund und diese kann in der Regel mit einer UV Desinfektion gewährleistet werden, wenn eine Trübungsmessung mit Verwurf installiert ist, die einwandfrei funktioniert. Liegen zusätzliche Probleme vor (z.B. Spurenstoffe in erhöhten Konzentrationen) oder muss die Quelle aus Gründen der Wassermenge auch bei erhöhter Trübung genutzt werden, kann die UV Desinfektion mit weiteren Verfahren, wie einer Ozonung und/oder einer Filtration (Sand, Aktivkohle, Membranen) kombiniert werden, um einwandfreies Trinkwasser zu produzieren. Für gepumpte Grundwässer aus einem regionalen Grundwasserleiter oder aus der Uferfiltration steht auch die Hygiene an erster Stelle. Typischerweise sind diese Systeme mit besser abgrenzbaren Schutzzonen besser vor mikrobieller Verunreinigung geschützt. Für regionale Grundwässer ohne grossen Flusswasseranteil kann deshalb häufig auf eine Desinfektion verzichtet werden. Trotzdem ist je nach Bedeutung der Wasserfassung aus Sicherheitsgründen eine UV Desinfektion angezeigt. Bei Uferfiltraten ist eine UV Desinfektion mit Trübungsmessung indiziert, da bei Hochwasser die Trübung im Brunnen ansteigen kann. Für gepumpte Grundwässer muss von Fall zu Fall entschieden werden, ob eine Entfernung von Spurenstoffen notwendig ist. Hier bietet sich eine Aktivkohlefiltration an, da diese Wässer typischerweise eine ähnliche Matrix haben, wie das Hardwald Grundwasser. Die Aufbereitung des Hardwald Grundwassers wurde oben schon eingehend diskutiert.

6.5.2 VORSORGLICHE TRINKWASSERAUFBEREITUNG

Mögliche Gefährdungen einer Wasserressource sollten bei der Entscheidung einer allfälligen Aufbereitung berücksichtigt werden, auch wenn noch keine Manifestation einer Belastung besteht. Im Zentrum steht hier sicherlich eine mikrobiologische Gefährdung, welche für den Wasserversorger weitreichende Konsequenzen haben könnte. Deshalb ist der Ansatz im Kanton Basel-Landschaft richtig, Quellwässer generell und meist mit einer UV Desinfektion auszurüsten. Bei einer Gefährdung einer Was-

serressource mit chemischen Stoffen sollte eine Situationsanalyse nach dem HACCP (siehe Kapitel 8) Konzept durchgeführt werden, welche dann als Entscheidungsgrundlage dient.

6.5.3 VERGLEICH DER TRINKWASSERAUFBEREITUNGSSTANDARDS IN VERSCHIEDENEN MODELLGEBIETEN

Im vorliegenden Projekt wurde festgestellt, dass die Wasserqualität bezüglich Spurenstoffen in allen untersuchten Grundwässern, welche von Flüssen gespeist werden etwa ähnlich ist. Das Hardwald Grundwasser wird mit einer Aktivkohlefiltration aufbereitet, während die meisten Uferfiltrate (Birs, Frenke, Ergolz) keine solche Aufbereitung erfahren. Hier muss festgestellt werden, dass die Aktivkohlefiltration im Hardwald aufgrund der Polychlor-1,3-butadiene eingeführt wurde und nun auch andere Spurenstoffe entfernt. Die anderen Spurenstoffe, welche bisher nachgewiesen wurden, sind in den detektierten Konzentrationen aus toxikologischer Sicht unbedenklich, jedoch ist die Aktivkohlefiltration für eine regional bedeutende Wasserversorgung wie die Hardwasser AG sicherlich angezeigt. Inwiefern die Wasserversorgungen mit Flussinfiltrat eine Aktivkohlefiltration installieren sollten, hängt vor allem von gesellschaftspolitischen Überlegungen ab.

6.5.4 NUTZUNG VON UNGENÜGEND GESCHÜTZTEM GRUNDWASSER GEGENÜBER OBERFLÄCHENWASSER

Die Nutzung von ungenügend geschütztem Grundwasser ist generell einer Nutzung von Flusswasser vorzuziehen. Im Wesentlichen gelten hier die gleichen Argumente wie für die Nutzung von Hardwald Grundwasser im Vergleich zum Rheinwasser (Temperatur, Hygiene, Abbau von organischem Material (DOC), Abbau von Spurenstoffen). Je nach Situation müsste hier trotzdem eine mehrstufige Aufbereitung in Betracht gezogen werden, zur Sicherstellung der Hygiene und zur Elimination von Spurenstoffen.

7 ORGANISATIONSSTRUKTUREN DER WASSERVERSORGUNG (TP5)

7.1 HERAUSFORDERUNGEN UND ZIELE DER WASSERVERSORGUNG

7.1.1 AUSGANGSLAGE, GESETZLICHER RAHMEN UND POLITISCH FORMULIERTE ZIELE

Charakteristisch für die Wasserversorgungsstruktur im Kanton Basel-Landschaft ist ihre Kleinräumigkeit und dezentrale Kompetenzverteilung. Beinahe jede Gemeinde betreibt ihre eigene Wasserversorgung, welche in der Regel durch einen Brunnenmeister betreut wird. Diese Strukturen sind über die letzten Jahrzehnte gewachsen und heute politisch und gesellschaftlich stark verankert. Im Hinblick auf die vom Kanton Basel-Landschaft in der Gesetzgebung und in der Wasserstrategie festgelegten Ziele stellt sich die Frage, inwiefern die existierenden Strukturen die heutigen und zukünftigen Herausforderungen noch bewältigen können. Einerseits erschweren die kleinräumigen Strukturen die technische Vernetzung zur Erhöhung der Versorgungssicherheit, die Professionalisierung sowie die Nutzung von Synergien zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Andererseits setzen verschiedene, teilweise regional unterschiedliche, sozio-ökonomische und natürliche Herausforderungen (z.B. Siedlungsdruck, Trockenheit) die heutige Wasserversorgung unter Druck. Eine Regionalisierung im Sinne eines interkommunalen organisatorischen Zusammenschlusses der mit der Wasserversorgung verbundenen Aufgaben, Finanzen und Infrastruktur steht als mögliche Reformoption im Zentrum.

7.1.2 STÄRKEN UND SCHWÄCHEN BESTEHENDER ORGANISATIONSSTRUKTUREN IN DER WASSERVERSORGUNG

Die nachfolgende Analyse bezieht sich auf drei der zehn Wasserregionen des Kantons Basel-Landschaft: Laufental, Unteres Birstal/Agglomeration Basel und Waldenburgertal (nachfolgend „Modellregionen“). Neben den unterschiedlichen natürlichen und sozio-ökonomischen Gegebenheiten, unterscheiden sich diese drei Regionen auch hinsichtlich bestehender Organisationsstrukturen sowie ihrer Erfahrungen mit Regionalisierungsprozessen in der Wasserversorgung.

Die Region Laufental ist neben den kleinen kommunalen Wasserversorgungen von folgenden grösseren und zum Teil interkantonalen (BL/SO) Trägerschaften geprägt: drei Zweckverbände (Wasserverbund Birstal (WVB), Zweckverband Lüsseltaler Wasserversorgung und Wasserverbund Gilgenberg), einer Aktiengesellschaft (Regionale Wasserversorgung Birstal-Thierstein AG (RWV AG)) und der Stadt Laufen. Obwohl im Laufental regionale Strukturen bestehen, sind diese sehr verschachtelt organisiert. Zielkonflikte, komplexe Gebührenmodelle und unsichere finanzielle Verhältnisse im Hinblick auf Infrastrukturinvestitionen stellen im Laufental Hindernisse für Regionalisierungsprozesse dar.

Das untere Birstal/Agglomeration Basel ist gekennzeichnet durch vier regionale Wasserversorgungen (Wasserwerke Reinach, Zweckverband Aesch-Dornach-Pfeffingen, Hardwasser AG, Industrielle Werke Basel) sowie einzelne grössere Gemeinden. Obwohl professionelle Wasserversorger die Strukturen massgeblich prägen, setzen Interessenskonflikte und Wasserqualitätsfragen die Wasserversorgung in der Region zunehmend unter Druck. Um die technische Vernetzung weiterzuentwickeln, besteht ein Bedarf für eine Verbesserung der regionalen Koordination.

Im Waldenburgertal bestehen grosse Unterschiede zwischen den wasserreichen Tal- und wasserarmen Berggemeinden. Das Wasser wird daher von der Wasserversorgung Waldenburgertal AG (WVV AG), welche selber keine eigenen Wassergewinnungsanlagen besitzt, verteilt. Steigende Kosten, uneinheitliche vertragliche Regelungen sowie die unterschiedliche Beteiligung der Gemeinden an der WVV AG und deren finanzielle Struktur werden als problematisch beurteilt. Im Jahr 2009 wurde eine Übernahme der gesamten Wasserversorgung der Region durch die WVV AG erstmals thematisiert. Trotz des Scheiterns des Regionalisierungsprozesses im Jahr 2011 besteht ein grundsätzliches Bewusstsein für die Notwendigkeit einer engeren regionalen Zusammenarbeit.

7.1.3 HERAUSFORDERUNGEN DER WASSERVERSORGUNGEN

Tab. 7.1: Durchschnittliche Einschätzung der Herausforderungen

Ziele	Unteres Birstal/Aggl. Basel		Laufental		Waldenburgertal	
	Experten	Entscheidungs-träger & Stakeholder	Experten	Entscheidungs-träger & Stakeholder	Experten	Entscheidungs-träger & Stakeholder
Ressourcenschutz	3.3	3.2	2.8	3.1	2.5	3.0
Trinkwasserqualität	2.6	2.1	2.3	k.A.	2.0	k.A.
Versorgungssicherheit	2.2	2.7	2.3	3.0	2.5	3.1
Infrastruktur/ Finanzhaushalt	1.6	1.8	2.1	2.6	2.5	2.7
Durchschnitt alle Ziele und Akteure	2.4		2.6		2.6	

Anmerkungen: Skala: 0 = keine Relevanz, 1 = geringe Relevanz, 2 = eher geringe Relevanz, 3 = eher hohe Relevanz, 4 = hohe Relevanz, k.A. = keine Angaben; Expertenumfrage: 26 Wissenschaftler, Wasserversorger, sowie Fachspezialisten der Bundes- und kantonalen Verwaltung, durchgeführt im Winter 2014/2015; Akteursbefragung: Antworten und Rücklaufquote (in Klammern) pro Region: Waldenburgertal: N=52 (91.2%), Unteres Birstal/Agglomeration Basel: N=64 (92.8%), Laufental: N=56 (86.2%), durchgeführt zwischen September und Dezember 2015.

Anhand einer Expertenumfrage sowie einer Akteursbefragung wurden 35 Herausforderungen aus vier Zielkategorien bezüglich ihrer Relevanz für die drei Modellregionen eingeschätzt. In Tabelle 7.1 sind die Ergebnisse für die vier Zielkategorien zusammengefasst.

Drei zentrale Erkenntnisse können aus den beiden Befragungen gewonnen werden. Erstens wird in allen Regionen der Ressourcenschutz hinsichtlich der Sicherstellung von Grundwasserschutzzonen als relevante Herausforderung eingeschätzt. Zweitens besteht bei den weiteren drei Zielkategorien eine Heterogenität in den drei Regionen. So steht die Trinkwasserqualität im Agglomerationsgebiet im Zentrum, wohingegen in ländlichen Regionen Versorgungssicherheit und Infrastruktur/Finanzhaushalt verstärkt Anlass zur Sorge bereiten. Drittens lässt die im Vergleich zu den Experten stärkere Wahrnehmung der Herausforderungen durch die Entscheidungsträger und Stakeholder auf ein hohes Problembewusstsein schliessen.

7.1.4 STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DER BESTEHENDEN STRUKTUREN HINSICHTLICH DER HERAUSFORDERUNGEN

Aufgrund der Ergebnisse scheint in allen Regionen beim Ressourcenschutz Handlungsbedarf zu bestehen: steigender Nutzungsdruck auf Grundwasserschutzzonen oder Renaturierungsbestreben verstärken Interessenskonflikte. Die fragmentierten Strukturen stossen vor allem bei gemeindeübergreifenden Schutzzonen an Grenzen. Eine verstärkte regionale bzw. interkommunale Zusammenarbeit bei der Wassergewinnung und verbesserte Koordination mit der kantonalen Raumplanung im Hinblick auf die Ausscheidung und Sicherung von Grundwasserschutzzonen könnte massgeblich zur Reduktion der Konflikte beitragen.

Bestehende komplexe Strukturen und Gebührenmodelle stellen im Laufental eine Herausforderung für eine nachhaltige und transparente Finanzierung der Wasserversorgung dar. Finanzielle Engpässe kombiniert mit einem hohen Sanierungsbedarf gefährden zudem das Ziel einer langfristig funktionierenden Infrastruktur. Die Anpassung des Gebührenmodells der RWV AG im Jahr 2015 sowie der aktuelle Prozess im Laufental, welcher die technische und organisatorische Zusammenführung der Primäranlagen der WVB-Verbandsgemeinden und der RWV AG vorsieht, dürften in dieser Hinsicht zu einer Verbesserung führen.

Auch im Waldenburger Tal gefährden steigende Kosten bei gleichzeitigem hohem Sanierungsbedarf der Infrastruktur eine langfristig funktionierende Infrastruktur und eine kostendeckende Finanzierung. Durch die Abhängigkeitsverhältnisse der WWV AG von den wasserreichen Talgemeinden existieren zudem Risiken für Versorgungsengpässe. In den Bereichen Versorgungssicherheit sowie Infrastruktur/Finanzhaushalt bietet eine Regionalisierung daher ein hohes Verbesserungspotential.

Im unteren Birstal/Agglomeration Basel steht vor allem die Trinkwasserqualität (z.B. Deponiesanierungen, Mikroverunreinigungen) im Fokus. In dieser Region wirkt sich die hohe Professionalität der grösseren Wasserversorger positiv auf Versorgungssicherheit sowie Infrastruktur/Finanzhaushalt aus. Eine stärkere regionale Koordination und technische Vernetzung bietet vor allem für den steigenden Kostendruck Optimierungspotential.

7.2 ORGANISATIONSFORMEN

Vier für die Wasserversorgung im Kanton Basel-Landschaft zentrale Organisationsformen wurden in allen drei Modellregionen untersucht: Regiebetrieb (in Gemeindeverwaltung integriert mit Spezialfinanzierung; traditionelle Organisationsform in den meisten Gemeinden in BL), Zweckverband (öffentlich-rechtlicher Zusammenschluss mehrerer Gemeinden; z.B. Zweckverband Aesch-Dornach-Pfeffingen), öffentlich-rechtliche Genossenschaft (dem öffentlichen Recht des Bundes und der Kantone unterstellte Körperschaft; z.B. Wasserversorgungsgenossenschaft Sissach und Umgebung) sowie Aktiengesellschaft (in öffentlichem Besitz unter Privatrecht; z.B. Hardwasser AG). Die zentralen Eigenschaften dieser Organisationsformen sind in Tabelle 7.2 zusammengefasst.

Tab. 7.2: Organisationsformen und ihre Eigenschaften.

	Rechtlicher Rahmen	Zusammenarbeit	Finanzkompetenz	Demokratische Kontrolle (Mitspracherechte)
(verselbstständiger) Regiebetrieb	keine eigene Rechtspersönlichkeit; öffentliches Recht	einzelne öffentliche Trägerschaft (Gemeinde)	zweckgebundene gebührengetragene Spezialfinanzierung	stimmfähige Bürgerinnen und Bürger entscheiden über Änderungen des Wasserreglements und finanzielle Fragen mit; Entscheidungen im täglichen Geschäft unterliegen dem Gemeinderat
Zweckverband	eigene Rechtspersönlichkeit unter öffentlichem Recht	gemeinsame öffentliche Trägerschaft (ausschliesslich Gemeinden)	bedingte finanzielle Unabhängigkeit unter kantonaler Aufsicht	einzig Gemeinderäte können durch Delegierten- oder Abgeordnetenversammlung mitentscheiden
Öffentlich-rechtliche Genossenschaft	eigene Rechtspersönlichkeit unter öffentlichem Recht	gemeinsame öffentliche Trägerschaft; nicht auf Gemeinden beschränkt	bedingte finanzielle Unabhängigkeit unter kantonaler Aufsicht	Genossenschafter können an der Generalversammlung mitentscheiden (Kopfstimmrecht)
Aktiengesellschaft (in öffentlichem Besitz)	eigene Rechtspersönlichkeit unter Privatrecht	gemeinsame öffentliche Trägerschaft; nicht auf Gemeinden beschränkt	finanzielle Unabhängigkeit; Jahresrechnung in der Verantwortung des Verwaltungsrates (Delegierte der öffentlichen Hand)	Aktionäre entscheiden bei der Generalversammlung mit; die öffentliche Hand kann Delegierte in den Verwaltungsrat und die Revisionsstelle entsenden; Stimmzahl der Aktionäre abhängig vom Nennwert der Aktien

7.2.1 AKZEPTANZ DER ORGANISATIONSFORMEN

Die Auswertung der Akteursbefragung zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Akteursgruppen hinsichtlich ihrer Zustimmung zu den vier Organisationsformen (Abbildung 7.2). Mit Ausnahme der Bundesakteure und Interessengruppen wird das traditionelle Modell des Regiebetriebs befürwortet – am deutlichsten bei den Gemeindevertretern. Zustimmung bei allen Akteuren erhalten die beiden Organisationsformen Zweckverband und etwas geringer auch die öffentlich-rechtliche Genossenschaft als Trägerschaft für die Wasserversorgung (nur Primäranlagen: Wasserfassungen, Pumpwerke, Transportleitungen und Reservoir). Auffallend ist, dass der Zweckverband bei allen Akteursgruppen mit Ausnahme der Brunnenmeister, jeweils die Organisationsform mit der höchsten Zustimmung ist. Eine Aktiengesellschaft als Organisationsform wird abgelehnt, auch wenn sich diese in öffentlichem Besitz befindet.

Die Präferenzen der Entscheidungsträger und Stakeholder stehen somit teilweise im Gegensatz zur Einschätzung der vier Organisationsformen in der dominierenden New Public Management Literatur. Diese argumentiert, dass die im Gegensatz zum Regiebetrieb höhere Unabhängigkeit von politischen Institutionen und somit geringeren Auswirkungen von (partei-)politischen Veränderungen der anderen Organisationsformen und insbesondere der Aktiengesellschaft die finanzielle Planung verbessert und die (betriebs-)wirtschaftliche Effizienz fördert. Ebenso führt eine eigene Rechtspersönlichkeit zu größeren operationellen Freiheiten, kürzeren Entscheidungswegen und statutarisch klar festgelegten Aufgaben und Kompetenzen. Aus Regionalisierungsperspektive sind von einer organisatorischen Zusammenführung Kosteneinsparungen (Skaleneffekte), Professionalisierung sowie eine längerfristige Investitions- und Finanzplanung zu erwarten. Zudem wird die Versorgungssicherheit durch einen verbesserten Zugang zu Wasserressourcen bzw. Vernetzung erhöht.

Der Ressourcenschutz dürfte hingegen bei einem kommunalen Regiebetrieb umfassender gewährleistet sein, da bei einer Optimierung durch die Stilllegung von Gewinnungsanlagen ein entsprechender Abbau von nicht mehr benötigten Grundwasserschutz zonen zu erwarten ist. In diesem Zusammenhang würden einzelne Gemeinden von einer Umzonung (bspw. in Bauland) profitieren, während andere Gemeinden die „Lasten“ der Grundwasserschutz zonen auch für andere Gemeinden tragen müssten. Zudem dürften sich für regionale Trägerschaften Schwierigkeiten bei der Durchsetzung von Grundwasserschutz zonen auf kommunaler Ebene ergeben. Weiter könnte bei einer weniger ortsnahe Wassergewinnung auch das gesellschaftliche Bewusstsein für den Grundwasserschutz abnehmen. In dieser Hinsicht ist bei der Ausgestaltung einer regionalen Wasserversorgung darauf zu achten, mögliche negative Auswirkungen auf den Ressourcenschutz zu vermeiden bzw. zu minimieren und einen Ausgleich zwischen möglichen Gewinnern und Verlierern von der Aufhebung von Grundwasserschutz zonen anzustreben. Für öffentlich-rechtliche Organisationsformen spricht, dass der Versorgungsauftrag und die gesellschaftlichen Bedürfnisse im Gegensatz zur Wirtschaftlichkeit des Wasserversorgers im Zentrum stehen.

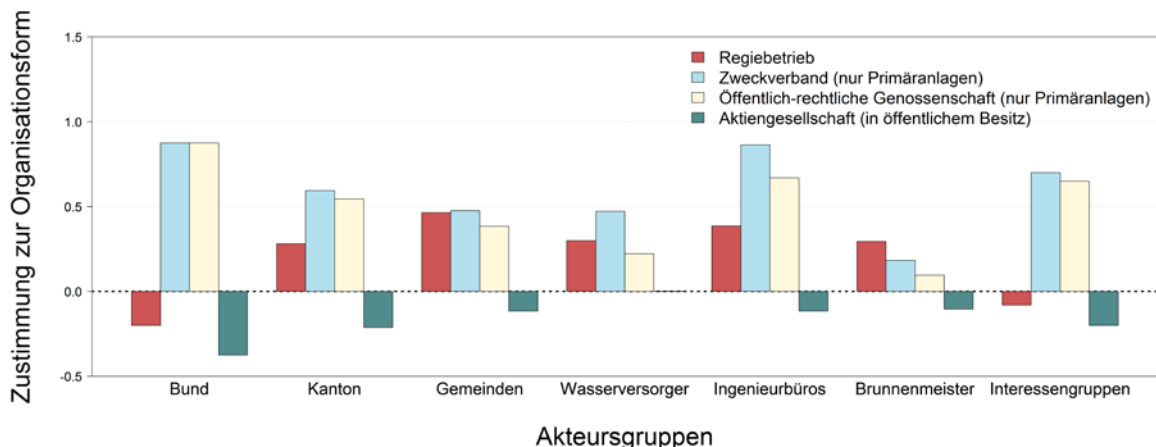


Abb. 7.1: Zustimmung zu einzelnen Organisationsformen der Wasserversorgung. Anmerkung: Skala: -1.5 = vollständige Ablehnung, +1.5 vollständige Zustimmung.

Die breite Zustimmung zum Zweckverband verdeutlicht, dass die Kompetenzen in der Wasserversorgung in öffentlicher Hand bleiben sollen und dies mit einer möglichst weitgehenden lokalen Verankerung. Zudem kommt zum Ausdruck, dass die Wasserversorgung zunehmend auch als Verbundaufgabe der Gemeinden verstanden wird. Der Zweckverband befindet sich allerdings in einem gewissen Spannungsfeld zwischen Einflussmöglichkeiten seitens der Gemeinden und einer professionellen und unabhängigen Geschäftsleitung mit entsprechenden Entscheidungs- und Finanzkompetenzen. In diesem Sinne kommt der statuarischen Festsetzung der Kompetenzen der Geschäftsleitung in Bezug auf die operativen Tätigkeiten und zur Bestimmung der Wasserpreise eine entscheidende Bedeutung zu. Eine starke Einschränkung der (demokratisch legitimierten) Mitspracherechte, könnte sich insbesondere bei den lokalen Entscheidungsträgern allerdings negativ auf die Attraktivität des Zweckverbandes (und somit auch einer Regionalisierung) auswirken.

7.2.2 KOORDINATION MIT ANDEREN SEKTOREN

Die Wasserversorgung besitzt diverse Berührungspunkte mit anderen Politiksektoren, das heisst Entscheidungen in anderen Sektoren wirken sich direkt oder indirekt auf die Wasserversorgung aus. Um Synergien zu nutzen und negative Auswirkungen zu vermeiden, bedarf es einer Koordination zwischen interdependenten Sektoren. Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, wird von allen Akteuren insbesondere der Einfluss und dementsprechend Koordinationsbedarf mit der Raumplanung gefolgt vom Abwassersektor wahrgenommen.

Während der Zusammenhang zum Abwasser wohl auf die gemeinsame Ressource Wasser zurückzuführen ist, dürfte der Koordinationsbedarf mit der Raumplanung mit der Schutzzonenproblematik zusammenhängen (siehe 7.2). Eine verbesserte Koordination mit der Raumplanung stellt jedoch in zweifacher Hinsicht eine besondere Herausforderung dar. Erstens ist zu berücksichtigen, dass neben der kommunal geprägten Wasserversorgung, auch die Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen in der Kompetenz der Gemeinden liegt. Bei der Planung und beim Vollzug der Raumplanungspolitik nehmen hingegen Kanton und Bund eine bedeutende Rolle ein. Die Koordination zwischen Wasserversorgung und Raumplanung erfolgt somit nicht nur sektorübergreifend sondern auch zunehmend zwischen mehreren Staatsebenen. Den kantonalen Stellen kommt dabei als „Scharnier“ zwischen Bund und Gemeinden eine entscheidende Rolle zu. Zweitens sind im Rahmen einer Regionalisierung der Wasserversorgung Anpassungen bei bestehenden Grundwasserschutzzonen zu erwarten (siehe 7.2). Ein Abbau von Gewässerschutzzonen dürfte somit für einzelne Gemeinden zu einem Wertzuwachs führen, während andere Gemeinden weiterhin starken Einschränkungen unterworfen bleiben. Entsprechende Anpassungen und Massnahmen sollten daher sinnvollerweise mit der Raumplanung abgestimmt werden.

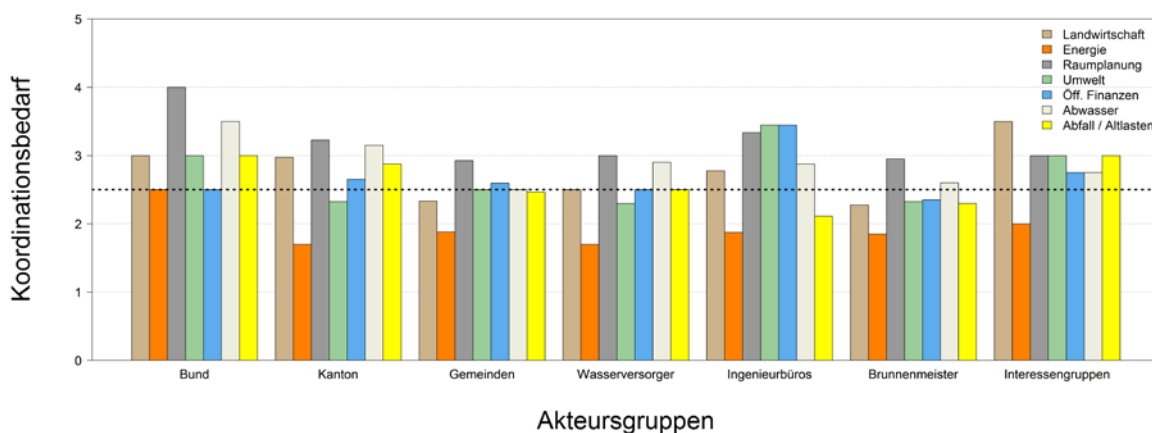


Abb. 7.2: Durchschnittlicher Einfluss und Koordinationsbedarf einzelner Sektoren nach Akteursgruppen. Anmerkung: Skala: 1 = geringer Einfluss, 2 = eher geringer Einfluss, 3 = eher hoher Einfluss, 4 = hoher Einfluss; Werte über 2.5 (gestrichelte Linie) entsprechen einem erhöhten, Werte unter 2.5 einem geringen Koordinationsbedarf.

Eine regionale Wasserversorgung bietet hinsichtlich der Koordination von Wasserversorgung und Raumplanung zwei Vorteile. Erstens würde sich die Anzahl der beteiligten Akteure und Organisationen reduzieren, was die Koordination vereinfachen würde. Zweitens dürfte es durch eine grossräumigere Wasserversorgung zu einer Annäherung zwischen den funktionalen Räumen der Raumplanung und Wasserversorgung kommen, welche sich positiv auf die Lösung bei Nutzungs- und Interessenkonflikten auswirken kann.

7.3 UMSETZUNG DER REGIONALISIERUNG

7.3.1 TRANSFORMATION DER WASSERVERSORGUNG

Die Befragung in den drei Modellregionen ermöglicht weitere Einblicke zur Erklärung einer unterschiedlichen starken Ablehnung bzw. Zustimmung zu einer Regionalisierung der Wasserversorgung.

Förderer: Eine höhere Zustimmung für eine Regionalisierung der Wasserversorgung kann bei Akteuren festgestellt werden, welche einen stärkeren Koordinationsbedarf der Wasserversorgung mit anderen Sektoren wahrnehmen sowie eine hohe Zielpriorität für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser besitzen. Insgesamt scheint eine ganzheitliche und langfristige Perspektive auf die Wasserversorgung mit einer Befürwortung einer Regionalisierung einherzugehen. Eine starke Einbindung in die interkommunale Zusammenarbeit ist spezifisch bei lokalen Akteuren eine zentrale Grundlage für die Befürwortung einer Regionalisierung der Wasserversorgung.

Hemmnisse: Die geringste Unterstützung findet eine Regionalisierung der Wasserversorgung bei den lokalen Akteuren (Gemeindevertreter und Brunnenmeister). Ihre kritische Haltung kann durch einen möglichen Abbau von Kompetenzen und Mitsprachemöglichkeiten in der Wasserversorgung und eine emotionale Bindung zur lokalen Wasserversorgung erklärt werden. Ein hoher wahrgenommener Problemdruck resultiert ebenfalls in einer Ablehnung. Dieses Ergebnis kann dahingehend gedeutet werden, dass ein Handlungsspielraum für grundlegende Reformen nur dann besteht, wenn die Herausforderungen nicht zu gross sind. Ein hoher Problemdruck dürfte zudem die traditionelle Form der Wasserversorgung im Sinne einer Stärkung der Gemeindeebene ins Zentrum der Problemlösungsstrategien rücken.

7.3.2 ROLLE VON STEUERUNGSTRUMENTEN

Zur Verwirklichung politischer Ziele und einer Neugestaltung der Wasserversorgung stehen eine Reihe von Steuerungsinstrumenten zur Verfügung. Die Ergebnisse der Akteursbefragung zeigen auf, welche Steuerungsinstrumente von den Akteuren als effektiv und legitim zur Förderung der Zusammenarbeit in der Wasserversorgung betrachtet werden. In Abbildung 7.3 ist die Einschätzung zu den einzelnen Steuerungsinstrumenten nach Akteursgruppen dargestellt. Auf deutliche Ablehnung bei allen Akteursgruppen stossen Dialogforen und Workshops sowie der Finanzausgleich. Deutliche Zustimmung finden sowohl die Regionale Wasserversorgungsplanung als auch die Kantonale Wasserstrategie. Verbindlichen Vernetzung und Konzessionsvergaben mit Auflagen werden ebenfalls weitgehend unterstützt, von Gemeindevertretern und Brunnenmeistern allerdings nur knapp. Auf Ablehnung treffen Konzessionsvergaben mit Auflagen bei den Wasserversorgern. Wegleitungen und Empfehlungen werden nur auf sehr tiefem Niveau befürwortet und von den Ingenieurbüros und Interessengruppe sogar negativ bewertet. Demgegenüber steht eine durchgehend positive Beurteilung von Information und Beratung. Mit Ausnahme der Bundesakteure trifft eine finanzielle Förderung der Zusammenarbeit ebenfalls auf eine breite Zustimmung. Schliesslich ist festzuhalten, dass die Akzeptanz bei den Adressaten, das heisst Gemeinden, Wasserversorgern und Brunnenmeistern, für alle Steuerungsinstrumente am geringsten ausfällt. Dies deutet auf eine allgemeine Skepsis aber insbesondere gegenüber direkten Eingriffen in die Wasserversorgung dieser Akteursgruppen hin.

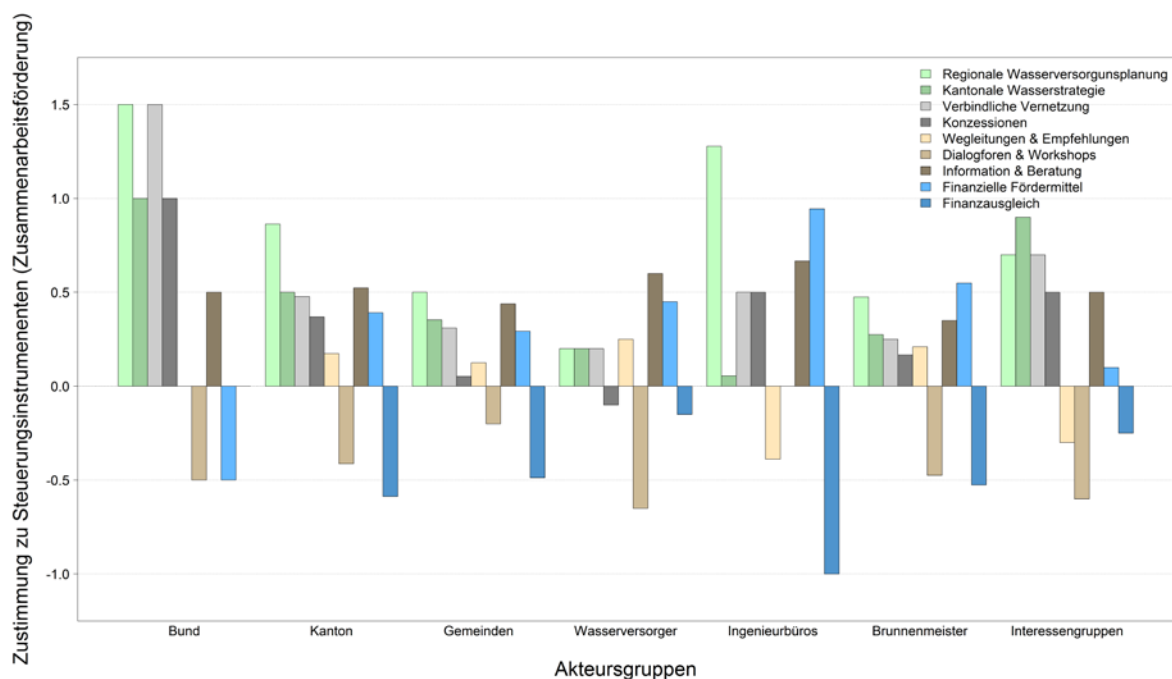


Abb. 7.3: Zustimmung der Akteursgruppen zu Steuerungsinstrumenten zur Förderung der Zusammenarbeit. Anmerkung: Skala: -1.5 = vollständige Ablehnung, +1.5 vollständige Zustimmung.

7.3.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND MÖGLICHE ROLLE DES KANTONS UND DER GEMEINDEN

Durch die Analyse in den drei Modellregionen konnten wir Schwächen und Stärken der bestehenden Organisationsstrukturen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei den Herausforderungen identifizieren. Zudem wurden die Akzeptanz verschiedener Organisationsformen und Steuerungsinstrumente sowie mögliche Ursachen für eine unterschiedlich hohe Zustimmung zu einer Regionalisierung der Wasserversorgung untersucht. Unsere Resultate lassen folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die konkrete Umsetzbarkeit einer Regionalisierung der Wasserversorgung im Kanton Basel-Landschaft zu.

Eine ganzheitliche und langfristige Perspektive sowie eine starke Einbindung der Akteure fördern eine positive Einstellung gegenüber einer Regionalisierung der Wasserversorgung. Die kantonale Informations- und Beratungstätigkeit in der Wasserversorgung ist verstärkt auf die Förderung einer umfassenden Perspektive über die sektoralen und administrativen Grenzen hinweg auszurichten. Akteure mit einer sektorübergreifenden Perspektive sollten zudem vermehrt eine zentrale Rolle als Vermittler und beim Erfahrungsaustausch in Regionalisierungsprozessen einnehmen.

Während einzelne Gemeinden unter einem grossen Problemdruck stehen (z.B. regelmässige Trockenperioden), sind andere Gemeinden in derselben Region kaum oder gar nicht betroffen. Ein sehr hoher Problemdruck wirkt sich jedoch negativ auf die Bereitschaft zu einer Regionalisierung aus und schränkt die Handlungsfähigkeit ein. In solchen Situationen empfiehlt sich eine Sensibilisierungs- und Informationsstrategie, in welcher die Behörden und Experten den Problemdruck klar aufzeigen und positive Beispiele und Erfolgsgeschichten zur Illustration einsetzen. Für die unterschiedlichen Bedürfnisse und Kontexte sind angepasste Informationsstrategien zu entwickeln. Grosse Unterschiede zwischen den Gemeinden (z.B. Wasserpreise, Zustand der Infrastruktur) können zusätzliche Hürden bilden. Gezielte Massnahmen zum Abbau von Unterschieden zwischen Gemeinden können Regionalisierungsprozesse unterstützen.

Lokale Akteure sind allgemein kritischer gegenüber einer Regionalisierung der Wasserversorgung eingestellt. Eine positive Einstellung gegenüber einer Regionalisierung der Wasserversorgung kann durch eine bessere Einbindung der lokalen Akteure sowohl in die bestehenden Wasserversorgungsstrukturen als auch in sektorübergreifenden Aktivitäten gefördert werden. Positive Erfahrungen

auf regionaler und lokaler Ebene sind ausschlaggebend: durch die Zusammenarbeit zwischen Gemeinden oder Brunnenmeistern, welche die Wasserversorgung in mehreren Gemeinden betreuen, entsteht eine „bottom-up“-Erfahrung, welche sich positiv auf weitergehende horizontale Prozesse und die interkommunale Zusammenarbeit auswirken kann. Entsprechend bietet sich bspw. eine gezielte Förderung einer gemeindeübergreifenden Brunnenmeistertätigkeit an. Mit der gezielten Förderung einer Pilotregion könnte zudem ein positives Beispiel entstehen, welches weitere Akteure von einer Regionalisierung zu überzeugen vermag.

Aus Sicht der Autoren erweist sich der Zweckverband aus drei Gründen als zweckmässigste Organisationsform für eine Regionalisierung der Wasserversorgung im Kanton Basel-Landschaft. Erstens erweist er sich als die am breitesten abgestützte Organisationsform. Zweitens ist der Zweckverband eine vielfach erprobte Organisationsform in der Schweizer Gemeindeflandschaft und kann somit auf einen breiten Erfahrungsschatz zurückgreifen. Drittens bietet er als Organisationsform zur regionalen Zusammenarbeit Verbesserungspotential bei der Zielerreichung insbesondere in den Bereichen Versorgungssicherheit sowie langfristig funktionierender Infrastruktur und kostendeckender Finanzierung. Den Herausforderungen im Bereich Ressourcenschutz, welche auch bei anderen regionalen Organisationsformen zu erwarten wären, kann mit geeigneten Massnahmen begegnet werden. Aufgrund der engen Verbindung mit den involvierten Gemeinden, kommt der Ausgestaltung der Zweckverbandsstatuten eine kritische Rolle zu. Der Geschäftsleitung sind möglichst weitgehende operative Kompetenzen sowie die Festsetzung der Wasserpreise zu gewährleisten. Die Umwandlung bestehender privatrechtlicher Trägerschaften in Zweckverbände kann unter Umständen dazu beitragen, die Akzeptanz für eine Regionalisierung der Wasserversorgung zu erhöhen.

Von den Steuerungsinstrumenten zur Förderung der Zusammenarbeit werden Dialogforen und Workshops sowie der Finanzausgleich bei allen Akteuren deutlich abgelehnt. Die anderen Steuerungsinstrumente finden mehrheitlich eine Zustimmung, wobei die lokalen Akteure und Wasserversorger direkten Eingriffen und „top-down“-Lösungen durch die kantonalen Behörden gegenüber kritisch eingestellt sind. Die bestehenden regulativen und planerischen Steuerungsinstrumente (z.B. Konzessionen, Strategien) sind verstärkt auf eine Gesamtbetrachtung der (regionalen) Wasserversorgung auszurichten. Finanzbasierte Steuerungsinstrumente (z.B. Subventionen) sollen vermehrt Anreize für eine sektorübergreifende und langfristige Ansätze sowie eine interkommunale Zusammenarbeit schaffen. Zeitlich befristete finanzielle Anreize mit klar definierten Bedingungen haben sich in vergleichbaren Kontexten als effektives Mittel bewährt.

Eine stärkere Koordination durch die kantonalen Behörden wird mehrheitlich gewünscht und als wichtig beurteilt. Koordinationsbedarf besteht in erster Linie zwischen den grösseren regionalen Trägerschaften und mit der Raumplanung. Mit einer zunehmender Regionalisierung der Wasserversorgung dürfte der Koordinationsbedarf zwischen den regionalen Trägerschaften weiter steigen. Gleiches gilt für die Raumplanung aufgrund der zu erwartenden Anpassungen der Grundwasserschutzzonen. Insbesondere beim allfälligen Abbau von bestehenden Grundwasserschutzzonen bzw. der Durchsetzungsschwierigkeiten bei regionalen Trägerschaften ist eine frühzeitige Konsultation und Abstimmung zwischen dem Amt für Umwelt und Energie und dem Amt für Raumplanung notwendig (bspw. zur Identifizierung von besonders schützenswerten Zonen, ergänzende Massnahmen).

Das Amt für Umwelt und Energie sowie das Amt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen sind die beiden zentralen Akteure in der basellandschaftlichen Wasserversorgung. Ein Ausbau der bestehenden Zusammenarbeit sowie ein aufeinander abgestimmtes und gemeinsames Auftreten der beiden Ämter dürfte die Rolle des Kantons stärken und zu einer höheren Akzeptanz von Regionalisierungsreformen in der Wasserversorgung beitragen.

8 VERGLEICH DER HEUTIGEN WASSERVERSORGUNGEN

8.1 WATER SAFETY MANAGEMENT IN DEN VERSCHIEDENEN GRUNDWASSERSYSTEMEN

Die ersten vier Teilprojekte des Projektes Regionale Wasserversorgung BL 21 beschäftigen sich mit dem Zustandekommen und der dynamischen Veränderung der Wasserqualität in verschiedenen Grundwassersystemen und damit, wie unerwünschte Stoffe oder Mikroorganismen bei der Trinkwasseraufbereitung aus dem Wasser entfernt werden können. Diese Resultate liefern wichtige Informationen um ein Water Safety Management System (WSMS) der Wasserversorgungen aufzubauen.

Das WSMS besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen. Die gute Herstellungspraxis (GHP) bildet den Grundstein auf welchem die Hazard Analysis of Critical Control Points (HACCP) aufgebaut wird (siehe Box Nr. 1 und 2). Voraussetzung für ein funktionierendes WSMS ist eine organisierte und strukturierte Betriebsleitung, die die Bereiche der GHP und des HACCP lenkt (siehe Abbildung 8.1). Der wichtigste Bestandteil im WSMS ist das HACCP-Konzept, das sämtliche Gefahren berücksichtigt, die im Einzugsgebiet der Fassung, dem Rohwasser, bei den Aufbereitungsprozessen und der Verteilung des Trinkwassers entstehen können. Ziel des HACCP-Konzepts ist eine stabile Wasserqualität zu erreichen, die jederzeit die gesetzlichen Anforderungen erfüllt. Dazu müssen CCP(s) (kritische Lenkungspunkte) identifiziert, überwacht und beherrscht werden. Nur so kann die Trinkwassersicherheit garantiert werden. In diesem Kapitel werden die Risiken ausgehend vom Einzugsgebiet bis zur Trinkwasserverteilung für die untersuchten Grundwassersysteme vergleichend beschrieben und bewertet.

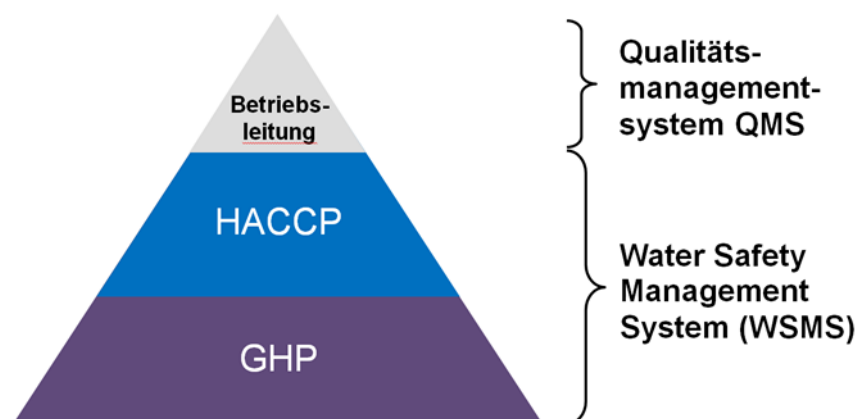


Abb. 8.1: Schematischer Aufbau eines Water Safety Management und Qualitätsmanagement-Systems

Box Nr.1: Gute Herstellungspraxis in der Wasserversorgung

- Prozesse der Wassergewinnung- und Aufbereitung sind beherrscht
- regelmässige Kontrollen (Monitoring) mittels Probenahme- und Analyseplan werden durchgeführt
- Betriebsunterhalt und Betriebshygiene sind gewährleistet
- Anlagegarantien sind vorhanden
- Personal ist für jeweilige Tätigkeit qualifiziert und wird regelmässig geschult
- Personalhygiene ist geregelt
- Öffentlichkeit wird jährlich über die Trinkwasserqualität informiert

Box Nr.2: Die 7 Prinzipien des HACCP Konzeptes

1. Prinzip: Führe eine Gefahrenanalyse (Hazard Analysis) durch.
2. Prinzip: Bestimme die CCP (kritische Lenkungspunkte).
3. Prinzip: Etabliere die kritischen Limiten.
4. Prinzip: Etabliere eine Methode, die es erlaubt den CCP zu überwachen und zu beherrschen.
5. Prinzip: Bestimme die zu ergreifenden Massnahmen bei Abweichungen des CCP von der Norm.
6. Prinzip: Verifiziere, dass das System funktioniert.
7. Prinzip: Erstelle eine Dokumentation, die alle Vorgänge und Aufzeichnungen entsprechend den Grundsätzen und deren Anwendung berücksichtigt und welche die Rückverfolgbarkeit gewährleistet.

8.2 RISIKEN IN DEN EINZUGSGEBIETEN UND ALLGEMEINER GEWÄSSERSCHUTZ

Der allgemeine Gewässerschutz trägt wesentlich zur Grund- und Trinkwasserqualität bei. Durch anthropogene Aktivitäten gelangen Mikroorganismen und Spurenstoffe über die gesättigte oder ungesättigte Zone ins Grundwasser.

Die mikrobiologischen Risiken für die Trinkwassernutzung sind vorwiegend in den Karstgebieten und bei flussnahe Grundwasser vorhanden. Die Ursache für die hygienischen Belastungen sind entweder die Landwirtschaft mit dem Ausbringen von Hofdünger oder die Siedlungsentwässerung. So gelangen Mikroorganismen in hoher Anzahl aus Kläranlagen und bei Niederschlagsereignissen auch über die Mischwasserentlastung in die Oberflächengewässer. In verschiedenen früheren Studien im Kanton wurden pathogene Mikroorganismen wie *Campylobacter*, toxinbildende *E. coli*, Noroviren, und Cryptosporidien gefunden. Dies meist bei erhöhten Konzentration an Indikatororganismen.

Zur Reduktion der mikrobiologischen Belastung von Karstquellen, ist insbesondere die hydrogeologisch korrekte Ausscheidung der Grundwasserschutz zonen mit der Erfassung von raschen Wassereintrittspfaden in das Karstsystem und der Einhaltung der Auflagen bei der Bewirtschaftung dieser Parzellen wichtig.

Für eine Reduktion der mikrobiellen Belastung der Oberflächengewässer aus der Siedlungsentwässerung könnte eine Desinfektion des gereinigten Abwassers mittels UV-Behandlung oder Ozon erfolgen. Dies würde bei Trockenwettersituationen die Situation verbessern. Bei Niederschlagsereignissen, würde jedoch weiterhin eine hohe Anzahl an Mikroorganismen in den Oberflächengewässern auftreten, da durch die Abschwemmung aus Landwirtschaftsflächen und der Entlastung der Kanalisation Mikroorganismen eingetragen werden. Für die Nutzung von flussnahe Grundwasser ist eine möglichst gute mikrobiologische Oberflächenwasserqualität wünschenswert. Bei der Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser findet jedoch eine erhebliche Reduktion der Mikroorganismen statt. Die verbleibenden Mikroorganismen könnten anschliessend mit einfachen Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung aus dem Wasser entfernt werden.

Bei den Spurenstoffen spielen vor allem die persistenten und gut wasserlöslichen Substanzen eine wichtige Rolle im Wasserkreislauf. Gerade im Kanton BL, wo sich die grösseren nutzbaren Grundwasservorkommen in den Lockergesteinen vorwiegend in den urban genutzten Tälern befinden, sollten die Spurenstoffe möglichst an der Belastungsquelle zurückgehalten oder nur in geringen Mengen eingesetzt werden. Dies ist heute nicht überall der Fall.

Die Untersuchungen der regionalen Grundwassersysteme im TP 2 und weitere Grundwasseranalysen des AUE haben Spurenstoffbelastungen aus diffusen Quellen gezeigt. Dies betrifft nicht nur die Grundwasserkörper, die altes Flusswasserinfiltrat mit sich führen, sondern auch Bereiche, deren Grundwasser ausschliesslich aus der Grundwasserneubildung durch Niederschlag gebildet wird. Es konnte wie erwartet der Einfluss der Landwirtschaft, aber auch von lecken Kanalisationen gezeigt

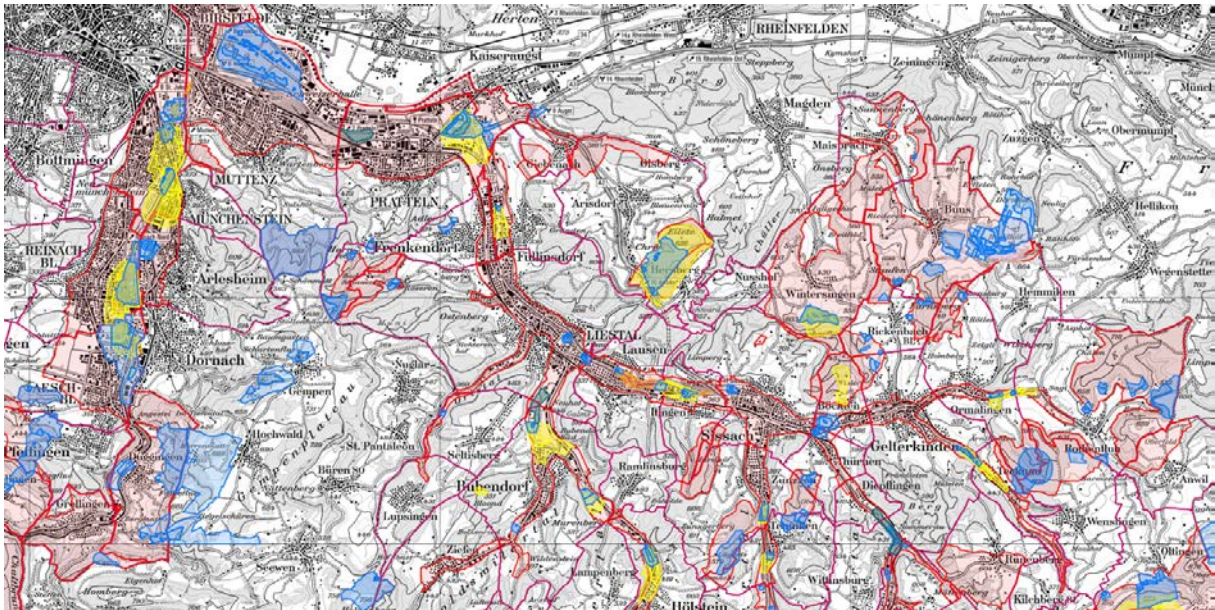


Abb. 8.2: Gewässerschutzbereich A_u (rot) mit rechtskräftigen Grundwasserschutzzonen (blau) und nach neuen hydrogeologischen Kriterien überprüften Grundwasserschutzzonen (gelb). Die Schutzzonen in den Tälern ragen vielerorts in die Siedlungsgebiete hinein.

werden. In Abbildung 8.2 ist ersichtlich, dass die Siedlungsgebiete einen wesentlichen Teil des nutzbaren Lockergesteinsgrundwassers überdecken und deshalb ein Eintrag anthropogener Spurenstoffe zu erwarten ist. Die Einträge aus der Landwirtschaft gelangen mehrheitlich über die Randzuflüsse oder durch oberflächliches Abschwemmen und anschließende Infiltration via Flusswasser in die Lockergesteinsgrundwasserleiter.

Um die allgemeine Belastung mit Spurenstoffen zu reduzieren, braucht es Massnahmen an verschiedenen Eintragsorten. Die Landwirtschaft sollte Spritzmittel nur sehr gezielt und in möglichst geringen Mengen einsetzen und bei der Applikation der Wirkstoffe die Witterungseinflüsse beachten. Beim Bau und Unterhalt von Kanalisationen, ist auf die Langlebigkeit und die Verhinderung von Versickerung von Abwasser, auch bei kleineren Leckagen zu achten. Der Ausbau der Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe zur Entfernung von Spurenstoffen wird bei Trockenwetter stark zur Reduktion der Belastung der Oberflächengewässer beitragen.

Die Wasserversorgungen können die beschriebenen diffusen Spurenstoffeinträge über die regionale Grundwasserzirkulation gut überwachen, da sie im Gegensatz zum lokalen Eintrag von Flusswasser relativ konstant sind und keine starken Schwankungen der Konzentrationen zu erwarten sind. Durch umfassende Spurenstoffanalysen können die relevanten Stoffe ermittelt und diese in ein Überwachungsprogramm aufgenommen werden. Das Ziel des Monitorings ist einerseits allfällige Konzentrationsanstiege von Spurenstoffen festzustellen und andererseits bei bereits durchgeführten Massnahmen im Einzugsgebiet eine Wirkungskontrolle durchzuführen.

8.3 GRUNDWASSERSCHUTZZONEN UND KONKURRIERENDE NUTZUNGEN

Die mit dem Grundwasserschutz konkurrierenden Nutzungen zeigen sich am deutlichsten bei der Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen. Die Wasserversorgungen sind verpflichtet, Grundwasserschutzzonen nach hydrogeologischen Kriterien auszuscheiden. Bei der konkreten räumlichen Festlegung der so bestimmten Zonen gibt es häufig Schwierigkeiten, da insbesondere in den überprüften, nach heutigen gesetzlichen Vorschriften ausgeschiedenen Schutz zonen nicht zulässige Nutzungen vorkommen. Eine Verlagerung der schutz zonenfremden Nutzungen ist in den wenigsten Fällen ohne erhebliche Eigentumsbeschränkung möglich und wird deshalb bisher auch nicht durchgesetzt. Abbildung 8.3 zeigt die Veränderung der Ausdehnung der Schutz zonenflächen in den Zonenplänen Land-

schaft und Siedlung der Schutzzonen, die in den 1970er Jahren ausgeschieden wurden zu denjenigen, die nach heutigen hydrogeologischen Kriterien überprüft wurden. Insbesondere bei den Trinkwasserfassungen im Lockergestein ist eine starke Zunahme der Flächen der Schutzzone S2 im Zonenplan Siedlung zu erkennen. Dies ist insofern problematisch, da in den Grundwasserschutzzonen S2 das Erstellen von Anlagen und Tätigkeiten, welche die Trinkwassernutzung gefährden nicht zulässig sind. Auch der Anteil der überprüften Schutzzonen S3 ragt wesentlich mehr in die Siedlungsgebiete hinein. Dies ist rechtlich weniger problematisch, sind doch in der Zone S3 die gesetzlichen Auflagen wesentlich geringer und sogar Gewerbebetriebe, allerdings ohne Nutzung von wassergefährdenden Flüssigkeiten, möglich. Bei der Überprüfung der Schutzzonen von Quellen, gibt es ebenfalls eine deutliche Zunahme der Grösse der Schutzzonen. Dies ist jedoch weniger problematisch, da die Erweiterung in den Gebieten im Zonenplan Landschaft liegt.

Nicht alle zonenfremden Nutzungen in den Grundwasserschutzzonen müssen eine Gefährdung der Trinkwassergewinnung darstellen. Das Risiko für Verunreinigungen ist aber immer vorhanden, insbesondere, wenn die technischen Systeme, wie z.B. Abwasserleitungen oder Platzentwässerungen älter werden. Deshalb kann ein Grundwasserschutz, der sich auf technische Lösungen abstützt, nicht

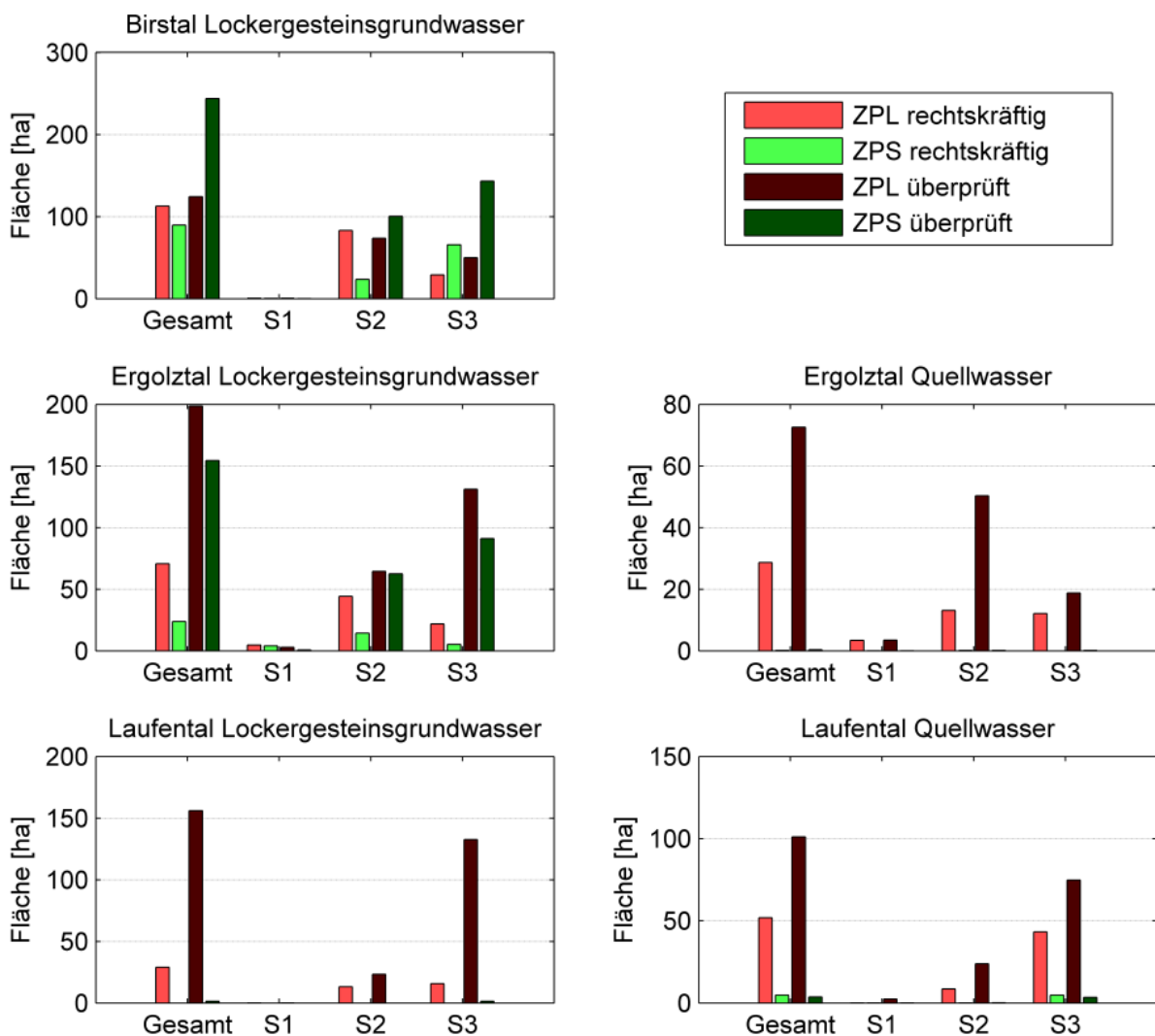


Abb. 8.3: Vergleich der Ausdehnung der Schutzzonenflächen von Trinkwasserfassungen nach alter Gesetzgebung (rechtskräftige Schutzzonen) und nach heutiger Überprüfung, eingeteilt nach Zonenplan Landschaft (ZPL) und Zonenplan Siedlung (ZPS). Im Birstal wird kein Quellwasser genutzt.

nachhaltig sein. Das Bestreben muss sein, alle anthropogenen Nutzungen in der Grundwasserschutzzone S2, die potenziell eine Gefährdung der Trinkwassernutzung darstellen, zu entfernen. Nur so lässt sich ein unerwarteter Eintrag allfälliger Schadstoffe in unmittelbarer Nähe von Trinkwasserfassungen verhindern und somit ein „kritischer Punkt“ in der Gefahrenanalyse der Trinkwassernutzung entfernen.

Neben der Landwirtschaft und der Siedlungserweiterung steht der Grundwasserschutz auch mit der Revitalisierung von Oberflächengewässern in Konkurrenz. Durch die Aufweitung von Flüssen, erhöht sich meist die Infiltration, was zu einer Verschlechterung der Grundwasserqualität führen kann. Um die Auswirkungen von Revitalisierungen auf die Wasserqualität bei Fassungsstandorten zu beurteilen, braucht es meist umfassende hydrogeologische Untersuchungen, wie sie im TP 2 beschrieben sind. Erst damit lässt sich aufzeigen, ob durch eine Revitalisierung tatsächlich eine Gefährdung der Fassung auftritt.

Zusammenfassend lässt sich folgern, dass ein Grundwasserschutz, wie in der Gewässerschutzgesetzgebung gefordert wird, im Kanton BL in den urban genutzten Gebieten mit erheblichem Aufwand verbunden ist, da die Schutzzonen in den 1970er Jahren zu klein ausgeschieden wurden und die für einen effektiven Grundwasserschutz benötigten Flächen heute verstärkt für andere Nutzungen wie Siedlungsgebiete oder Infrastrukturbauten beansprucht werden. Trotzdem haben auch die altrechtlichen, zu kleinen Grundwasserschutzzonen eine wichtige Funktion, da zumindest im Nahbereich der Fassungen kritische Nutzungen nicht vorhanden sein dürfen. Auch auf kurzen Fließstrecken und insbesondere in der ungesättigten Zone können Spurenstoffe und Mikroorganismen zurückgehalten oder abgebaut werden, wenn auch nicht im selben Ausmass wie bei grösseren Fließstrecken.

Um Nutzungskonflikte in Zukunft zu minimieren, sollten die raumplanerischen Instrumente besser genutzt werden. Die räumlich unterschiedlichen Nutzungen sollten, sofern dies noch möglich ist, auseinander gehalten und die für die jeweilige Nutzung am geeignetsten Räume sollten bezeichnet werden. Für die Wasserversorgung bedeutet dies, dass qualitativ und quantitativ geeignete Grundwasserkörper an hydrogeologisch unterschiedlichen Standorten für die Trinkwassergewinnung festgelegt und entsprechend geschützt werden sollten. Diese Evaluation sollte aus einer Gesamtsicht heraus für den ganzen Kanton gemacht werden und nicht auf Gemeindeebene erfolgen, da sich schutzwürdige Gebiete oft über mehrere Gemeinden erstrecken. Als Resultat sollten mindestens die regional bedeutenden Fassungen mit dem heute noch möglichen Schutz gesichert sein.

8.4 WASSERQUALITÄT UND TRINKWASSERAUFBEREITUNG

Nach den Vorgaben der Gewässerschutzverordnung (GSchV) soll die Grundwasserqualität so beschaffen sein, dass möglichst keine anthropogenen Spurenstoffe enthalten sind. Diese Vorgabe bezweckt, dass das Wasser ohne oder mit einfachen Aufbereitungsverfahren die Anforderungen der Lebensmittelgesetzgebung einhält. Im Projekt WVG BL 21 wurden verschiedene Grundwassersysteme auf anthropogene Spurenstoffe und Mikroorganismen untersucht. Tabelle 8.1 gibt einen Überblick über die entsprechenden Resultate.

Die grösste Anzahl und höchsten Konzentrationen an Spurenstoffen und Mikroorganismen finden sich erwartungsgemäss in den Fließgewässern, die auch als Vorfluter für gereinigtes Abwasser dienen. In den Lockergesteinsgrundwasserleitern sind die Konzentrationen und die Anzahl an Stoffen geringer, da bei der Infiltration des Flusswassers ins Grundwasser eine erhebliche Reduktion der Belastung stattfindet. Die Quellwässer wurden im Projekt auf Mikroorganismen untersucht. Die Spurenstoffresultate der Quellen stammen aus Untersuchungen des AUE und sind hier nur vergleichend aufgeführt. Da die Quellen meist in landwirtschaftlichen Einzugsgebieten liegen, sind vorwiegend Pestizide und Herbizide im Wasser zu erwarten. Aus lokalen Kläranlagen, können jedoch auch Spurenstoffe aus Haushalten via Infiltration von Bachwasser in die Quellen gelangen.

Tab. 8.1: Vergleich der verschiedenen Systeme bezüglich Wasserqualität. Bei den Konzentrationen sind jeweils Min. und Max. angegeben. Die Daten zum Flusswasser, Lockergesteinsgrundwasser und die Totalzellzahl (TZZ) beim Quellwasser stammen von Messungen während dem Projekt WVG BL 21. Die Angaben beim Quellwasser sowie zum Hardwald (Temp., Trübung, DOC, E. coli und Enterokokken) beziehen sich auf langjährige Messungen des Kantons.

Parameter	Einheit	Flusswasser				Lockergesteinsgrundwasser				Quellwasser			
		Rhein	Birs	Ergolz	Frenke	Hardwald	Birstal	Ergolzital	Frenketal	Oberdorf	Niederdorf	Reigolds-wil	Liestal
Temperatur	°C		3.1 – 20.4	2.6 – 23.7	1.1 - 21.6	4.0-19.6	11.8 - 12.2	12.3 – 13.7	10.0 – 15.4	8.4-14.0	8.6-13.7	7.2-11.4	8.8-15.3
Trübung	FNU					0.07-0.34				0.07-3.4	0.06-0.43	0.29-7.4	0.01-1.57
DOC	mg/L		1.6	1.57 - 5	1.7 – 17.5	0.4-0.8	0.6 – 1.4	0.5 – 2.4	0.9 – 2.2	0.7-0.9	0.7-1.0	0.5-1.9	0.7-1.8
E. coli (Indikator)	CFU/100 ml		0 - 24100	25 - 54000	3 - 75000	0-1	0	0	0 – 3300	0-63	0-1000	0-1500	0-320
Enterokokken (Indikator)	CFU/100 ml		45 - 20900	58 - 70000	2 - 35000	0-7	0	0	0 - 3600	0-12	0-297	0-1500	0-410
Totalzellzahl (TZZ)	Zellen/µl		659 - 3330	285 - 20880	580 - 7734	8 – 11	25 - 653	293 - 1889	20-600	50-400	100-5000	30-400	
Pathogene vorhanden	-	+	++	++	++	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	++	+/-
Anzahl polare Spurenstoffe	Anzahl	103 ¹⁾	87 ¹⁾	92 ¹⁾	80 ¹⁾	44	39-57	50-57	38	0 ⁴⁾	2 ³⁾	0 ⁴⁾	12 ²⁾
Konzentration polare Spurenstoffe aufsummiert ¹⁾	µg/l	3.41 ¹⁾	2.2 ¹⁾	2.9 ¹⁾	2.6 ¹⁾	1.0	3.2	1.72	0.75	-	0.18	0	0.86
Konzentrationsbereich polare Spurenstoffe	µg/l	<0.001-0.45	<0.001-0.48 ¹⁾	<0.001-0.55 ¹⁾	<0.001-0.57 ¹⁾	<0.001-0.53	<0.001-1.0	<0.001-0.65	<0.001-0.18	<0.005	<0.005-0.15	<0.005	<0.005-0.63

1) Einmalige Messung von 543 Substanzen bei Trockenwetter; 2) Einmalige Messung, nachgewiesene Stoffe in absteigender Konzentration: Acesulfam, Sucralose, Benzotriazol, Naphthalin-2-sulfonat, Methylbenzotriazol, 5-, Diclofenac, Lamotrigin, Methylbenzolsulfonat, 4-, Carbamazepin, Metolachlor ESA, Sulfamethoxazol, Metolachlor ESA; 3) Dreimalige Messungen, nachgewiesene Stoffe in absteigender Konzentration: Acesulfam und Benzotriazol; 4) Einmalige Messungen auf 12 polyfluorierte Tenside, keine Nachweise

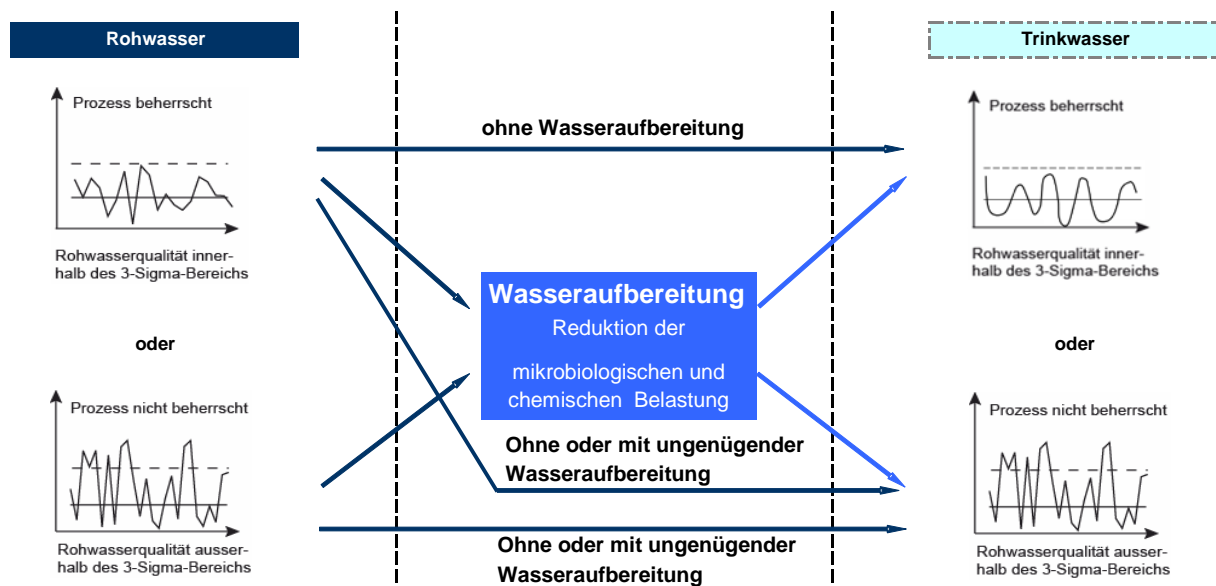


Abb. 8.4: Ziel der Wasserversorgungen ist, ein jederzeit einwandfreies Trinkwasser zu produzieren. Je nach System ist dies bereits beim Rohwasser gegeben. Andernfalls muss das Wasser mit einer genügend effizienten, den Rohwasserverhältnissen angepassten Trinkwasseraufbereitung behandelt werden. Das Ziel des HACCP Konzepts ist, dass die Prozesse dauernd überwacht und beherrscht werden, so dass im Netz keine Verunreinigungen vorkommen können.

Die Trinkwasseraufbereitung sollte an die systemspezifische Gefährdung durch Mikroorganismen und/oder Spurenstoffe angepasst sein. Diese kann durch Kenntnisse der Dynamik der Wasserqualität in den entsprechenden Wasserressourcen abgeschätzt werden (Abbildung 8.4). Generell nimmt das Potenzial einer Verschmutzung von Wasserressourcen mit zunehmender Grösse des Einzugsgebiets zu, wobei in einem grösseren Einzugsgebiet auch ein grösseres Selbstreinigungspotenzial vorhanden ist (Verdünnung, Filtration, Sorption, Abbau). Je besser die Dynamik der Wasserqualität in einer Wasserressource bekannt ist, desto besser kann eine angepasste Lösung der Trinkwasseraufbereitung geplant werden. Dabei ist zu beachten, dass die Redundanz der Trinkwasseraufbereitung mit zunehmender Anzahl versorgter Leute steigen sollte. Das Ziel der Wasserversorgungen muss sein, stets ein mikrobiologisch und chemisch stabiles qualitativ einwandfreies Trinkwasser abzugeben. Dazu müssen die Prozesse vom Rohwasser bis zur Trinkwasserabgabe ins Netz bekannt sein und überwacht werden. Abbildung 8.4 zeigt schematisch wie ausgehend von unterschiedlichen Rohwasserqualitäten die Trinkwassersicherheit gewährleistet werden kann.

8.4.1 HYGIENE

Die Gefährdung der Wasserressourcen durch Mikroorganismen wird anhand der Indikatororganismen beurteilt. Mittels Online-Durchflusszytometrie konnte im TP 1 gezeigt werden, dass die mikrobiologische Dynamik von Karstquellen weitaus grösser ist, als bisher mit konventionellen Probenahmen erfasst wurde. Daher wird unabhängig von der Art des Monitorings empfohlen, eine Desinfektion/Abtrennung von Mikroorganismen vorzunehmen. Dies ist im Kanton BL gängige Praxis, in der Regel wird eine UV Desinfektion mit einem Verwurf bei erhöhter Trübung eingesetzt. Durch bessere Kenntnisse der Dynamiken in der Rohwasserqualität, insbesondere bei Spitzenbelastungen, kann entschieden werden, ob allenfalls weitere Aufbereitungsschritte, wie eine Filtration (z.B. Sand, Membranen) oder eine chemische Desinfektion (z.B. Ozonung) notwendig sind.

Bei der Infiltration von Flusswasser in den Grundwasserleiter findet in der Regel eine signifikante Abnahme der Indikatororganismen und der Totalzellzahl (Durchflusszytometrie) statt (TP2). Da eine Aufenthaltszeit von 10 Tagen, wie sie in der S2 vorgeschrieben ist, nicht immer eingehalten werden kann (z.B. bei Hochwasser), ist es angebracht das gepumpte Infiltrat zusätzlich mit einer UV Desinfektion aufzubereiten unter Einbezug einer Trübungsmessung mit Verwurf.

Bei der künstlichen Infiltration von Rheinwasser im Hardwald werden die Mikroorganismen effizient abgetrennt, so dass das gepumpte Wasser hygienisch einwandfrei ist, wie jahrzehntelange Erfahrungen bei der Hardwasser AG zeigen. In diesem Fall ist aus hygienischer Sicht im Prinzip keine weitere Aufbereitung nötig. Nach der Aktivkohlefiltration ist jedoch eine UV Desinfektion, wie sie seit 2011 in Betrieb ist, sicherlich sinnvoll, da im Filter Keime aufwachsen können.

8.4.2 SPURENSTOFFE

Die Anzahl und Konzentration der Spurenstoffe in Karstquellen sind typischerweise kleiner als in Flusswässern. Deshalb besteht bezüglich der Spurenstoffe in Karstquellen eine kleinere Notwendigkeit einer Aufbereitung, jedoch sollte der Ressourcenschutz konsequent umgesetzt werden, um eine Kontamination zu vermeiden (z.B. durch Landwirtschaft, Kläranlagen).

Anzahl und Konzentration von Spurenstoffen in den untersuchten Flüssen (Birs, Frenke, Ergolz, Rhein) sind vergleichbar. Von den rund 500 Substanzen, nach denen mittels einer LC-MS/MS Methode gesucht wurde, konnten jeweils ca. 80-100 Substanzen quantifiziert werden. Nach der Uferfiltration oder der künstlichen Infiltration konnten jeweils noch etwa die Hälfte der Substanzen gefunden werden. Unabhängig vom Infiltrationssystem/-ort ist die Elimination der Spurenstoffe ähnlich. Dieser allgemeine Befund zeigt deutlich, dass eine Infiltration von Flusswasser gegenüber dessen direktem Gebrauch nicht nur aus hygienischer Sicht, sondern auch bezüglich der Spurenstoffe grosse Vorteile hat. Zudem werden bei diesem Vorgehen auch die (jahreszeitlichen) Schwankungen von Temperatur, Trübung und DOC stark gedämpft. Die Konzentrationen der verbleibenden Spurenstoffe im gepumpten flussnahen Grundwasser waren generell sehr tief im Bereich < 100 ng/L. Dies ist gemäss der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung die Höchstkonzentration für organische Substanzen ohne ausreichende Datenbasis zur Toxikologie und mit genotoxischem Potential. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass aus toxikologischer Sicht keine Gefährdung besteht. Im Hardwald wurde zur Entfernung von Tetrachlorbutadienen ein Aktivkohlefilter installiert, welcher auch die anderen Spurenstoffe im Hardwald Grundwasser effizient entfernt. Kurz nach der Inbetriebnahme wurden alle untersuchten Spurenstoffe unter die Nachweisgrenze entfernt. Mittlerweile sind zudem zwei Röntgenkontrastmittel nach der Aktivkohle nachweisbar, allesamt Substanzen, die toxikologisch unbedenklich sind und von der Aktivkohle schlecht zurückgehalten werden.

Generell muss bezüglich der Spurenstoffe ein gesellschaftlicher Diskurs geführt werden, welche Stoffe in welchen Konzentrationen im Trinkwasser tolerierbar sind. Das Potenzial der möglicherweise vorhandenen Spurenstoffe ist enorm, in der EU sind ca. 100'000 Substanzen registriert und ca. 30'000 davon sind in täglichem Gebrauch. Deshalb ist zu erwarten, dass mit den gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklungen der Spurenanalytik die Anzahl der positiven Befunde für Spurenstoffe weiter ansteigen wird. Da diese Stoffe meist in sehr tiefen Konzentrationen vorliegen werden, sollte eine Risikoabschätzung auch unter Einbezug anderer Expositionen (Nahrungsmittel, Luft) erfolgen. Das Trinkwasser sollte in jedem Fall nur einen kleinen Anteil der Aufnahme solcher Stoffe ausmachen.

8.4.3 WASSERVERTEILUNG / NETZWASSER

Nach der Trinkwasseraufbereitung sollte das Wasser biologisch stabil sein, damit möglichst kein Aufwuchs von Mikroorganismen im Netzwasser stattfinden kann. Aufgrund der im Wasser verbleibenden Nährstoffe, bilden sich jedoch in allen Trinkwassernetzen Biofilme an den Materialien im Verteilnetz. Die Biofilmbildung wurde im TP1 mittels Biofilmfallen in drei Quellen und in 9 Verteilnetzen im Waldenburger Tal untersucht. Generell konnte gezeigt werden, dass die Biofilmbildung im Verteilnetz höher ist als in den Quellen, was durch die Materialien im Verteilnetz und/oder erhöhte Temperaturen (Hausinstallationen) bedingt sein könnte. Stark erhöhte Biofilmbildung kann an Standorten mit längeren Stagnationsphasen, z.B. aufgrund von technischen Problemen auftreten. Die Totalzellzahlen im Verteilnetz, welche mittels Durchflusszytometrie bestimmt wurden, sind typisch für Verteilnetze mit wenig oder gar keinem Netzschutz. Diese konstant tiefen Zellzahlen deuten auf Netze mit tiefen Nährstoffkonzentrationen und niedrigem Wachstumspotential hin. In den Biofilmen der Verteilnetze konnten keine fäkalen Indikatororganismen nachgewiesen werden. Obwohl in dieser Studie nur eine be-

schränkte Anzahl von Verteilsystemen untersucht wurde, kann aufgrund der Resultate davon ausgegangen werden, dass ein Netzschutz bei stabilem Betrieb der Systeme nicht notwendig ist. Weiter sollte jedoch beachtet werden, dass sich der Fokus in industrialisierten Ländern wie der Schweiz, wo dank Wasseraufbereitung und gut unterhaltenen Verteilnetzen die Wasserqualität in der Regel hoch ist, zunehmend auf die Hygiene der Wasserinfrastruktur in Gebäuden verschiebt. Dabei geht es weniger um die klassischen (z.B. fäkalen) Verunreinigungen, sondern um sogenannt opportunistische Pathogene wie *Legionella*, *Pseudomonas* oder *Mycobacteria*.

9 VERSORGUNGSSICHERHEIT

Mit der Versorgungssicherheit wird die Versorgung der Bevölkerung mit genügend und qualitativ einwandfreiem Trinkwasser bezeichnet. Die verschiedenen Aspekte des Zustandekommens einer guten Grund- und Trinkwasserqualität wurde bereits eingehend erläutert. In diesem Kapitel werden nun die Mengen und die Verteilung der ober- und unterirdischen Wasserressourcen im Kanton BL beschrieben. Sowohl die Wasserqualität als auch die Wasserquantität haben einen entscheidenden Einfluss auf die zukünftigen Strukturen der Wasserversorgungen im Kanton BL.

Der Kanton ist an drei Flusseinzugsgebiete angeschlossen: den Rhein, die Birs und die Ergolz. Der langjährige Trockenwetterabfluss Q_{347} beträgt im Rhein 459 m³/s, in der Birs 4.4 m³/s und in der Ergolz 0.5 m³/s.

Für die Wasserversorgung der Agglomeration Basel spielt die Nutzung von Rheinwasser zur künstlichen Grundwasseranreicherung eine wichtige Rolle. Die Hardwasser AG als grösstes Wasserwerk im Kanton BL entnimmt dem Rhein jährlich rund 30 Mio. m³ Wasser, das im Hardwald östlich von Basel über Sickergräben und Weiher das Grundwasser anreichert und gleichzeitig vor unerwünschten Einträgen aus der umliegenden Industrie und den belasteten Standorten schützt. Vom infiltrierten Wasser werden rund 15 Mio. m³ für Trinkwasserzwecke, davon rund 10 Mio. m³ für die Stadt Basel, entnommen. Zudem spielt die natürliche Rheinwasserinfiltration im Gebiet Schweizerhalle eine grosse Rolle, werden dem Grundwasser im Gebiet doch jährlich weitere 36 Mio. m³ für Brauchwasserzwecke entnommen, wovon ein grosser Anteil natürliches Uferfiltrat ist.

Die natürliche und künstliche Infiltration von Birswasser spielt für die Wasserversorgung im Laufental und im unteren Birstal eine wichtige Rolle. Im unteren Birstal befinden sich die für den Kanton grössten Lockergesteinsaquifere. Um im unteren Birstal nach der Begradigung der Birs genügend Grundwasser fördern zu können, wurde in den 1970er Jahren in Aesch eine Versickerungsanlage gebaut. Diese wird heute vorwiegend von April bis November, d.h. in der trockenen Jahreszeiten betrieben. Die Begradigung der Birs hat zu einer höheren Strömungsgeschwindigkeit und damit zu einer stärkeren Sohlenerosion geführt. Dadurch ist der Gradient vom Grundwasser zum Flusswasser gestiegen, was in einer Zunahme der Grundwasserexfiltration resultiert.

Der östliche Kantonsteil wird zum grössten Teil durch die Ergolz entwässert. Dieser Kantonsteil hat keinen oberflächlichen oder unterirdischen Zufluss von ausserhalb des Kantons. Dies im Gegensatz zu den Einzugsgebieten der Birs oder des Rheins. Die vorhandenen Wasserressourcen im Einzugsgebiet der Ergolz sind demnach einzig über den Niederschlag und die Verdunstung im Gebiet selbst bestimmt.

Der Kanton BL ist topographisch durch Täler und hügelige Gebiete geprägt. In den Tälern befinden sich die mehr oder weniger ergiebigen Lockergesteinsgrundwasserleiter. In den hügeligen Gebieten erfolgt die Trinkwasserversorgung zu einem grossen Teil aus Karstquellen (siehe Abbildung 9.1). Für die Wasserversorgungsplanung hat der Kanton basierend auf den topographischen und politischen Gegebenheiten 10 Wasserversorgungsregionen bestimmt. Wie aus Abbildung 9.1 ersichtlich, wird in den Regionen unterschiedlich viel Wasser benötigt und die Wasseranteile aus Lockergesteinsgrundwasser und Quellwasser variieren stark. Im ländlichen, oberen Teil des Kantons, wird teilweise ausschliesslich Quellwasser genutzt, in den urbanen Gebieten, hingegen beträgt der Anteil an Lockergesteinsgrundwasser bis zu 100%. Bezogen auf die gesamte Abflussmenge der ober- und unterirdischen Gewässer in den drei grösseren Flusseinzugsgebieten ist die Nutzung für die öffentliche Trinkwasserproduktion nicht sehr hoch, jedoch je nach Einzugsgebiet deutlich unterschiedlich. Im Einzugsgebiet der Ergolz wird jährlich rund 8% des gesamten Abflusses genutzt, im Einzugsgebiet der Birs ist es rund 1% und vom Gesamtabfluss des Rheins lediglich rund 0.06%.

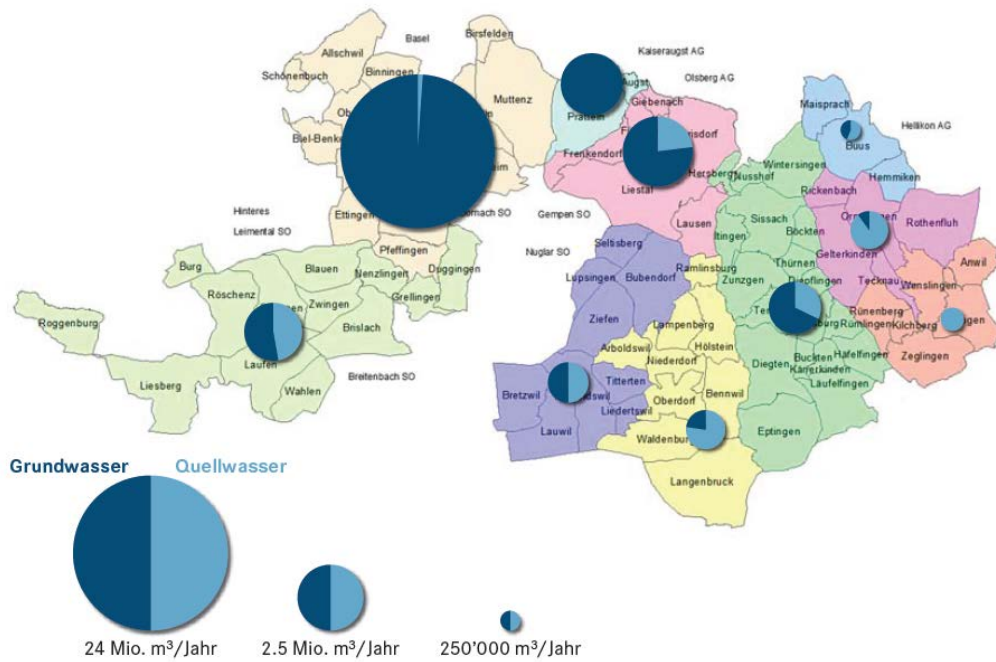


Abb. 9.1: Wassergewinnung für die öffentliche Trinkwasserversorgung im Kanton BL in den 10 Wasserversorgungsregionen aufgeschlüsselt nach Menge und Typ der Wasserressource.

Der Wasserverbrauch ist in den letzten 20 Jahren trotz steigender Bevölkerungszahlen in allen Wasserversorgungsregionen bis 2009 leicht rückläufig und seither stabil geblieben (Abbildung 9.2). Dies hängt zum einen mit dem bewussteren Umgang mit der Ressource Wasser zusammen, d.h. der pro Kopf Verbrauch ist rückläufig und auch die Industrie nutzt weniger Brauchwasser. Zum andern findet ein Wandel von der Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft statt, die weniger Wasser benötigt. Weiter konnten in den letzten Jahren durch die Sanierung der Leitungsnetze die Wasserverluste verringert werden.

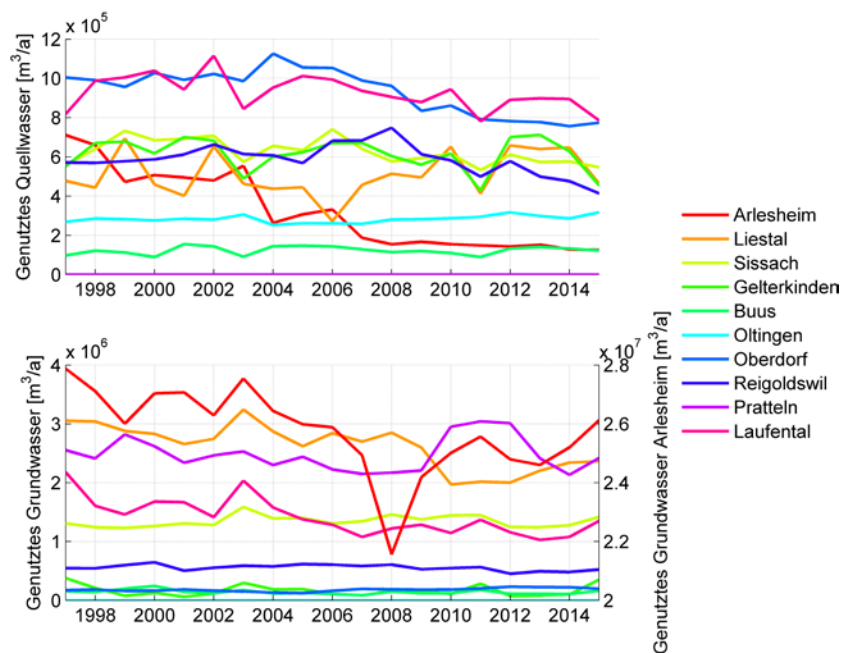


Abb. 9.2: Grund- und Quellwassernutzung in den letzten 20 Jahren in den 10 Wasserversorgungsregionen im Kanton BL.

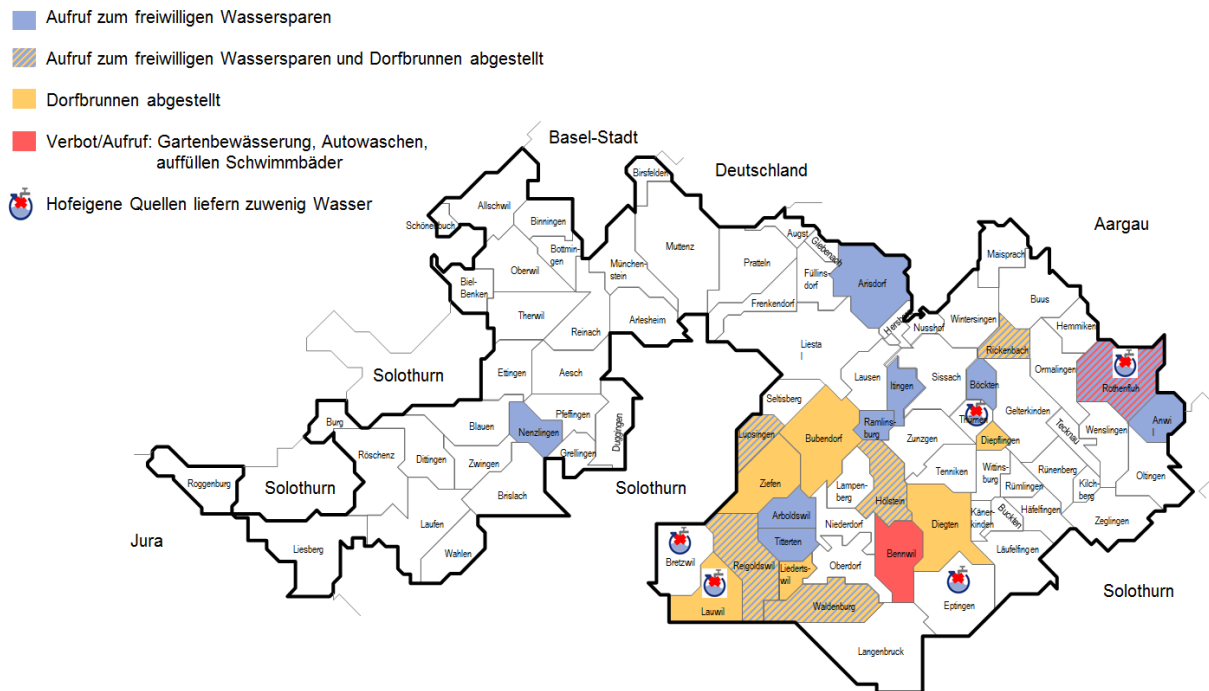


Abb. 9.3: Gemeinden, die 2011 zum Wassersparen aufgerufen haben. Diese befinden sich praktisch ausschliesslich im Einzugsgebiet der Ergolz. Zu beachten ist, dass ein Teil der betroffenen Gemeinden aufgrund finanzieller Überlegungen kein regionales Trinkwasser bezog, sondern nur das eigene Quellwasser genutzt hat.

Für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit spielen die genannten Faktoren eine entscheidende Rolle. Wie Abbildung 9.3 zeigt, können die Wasserversorgungen im oberen Kantonsteil des Ergolztals viel eher in Versorgungsengpässe kommen. Im Jahr 2011, einem vergleichsweise trockenen Jahr, haben etliche Gemeinden im Einzugsgebiet der Ergolz zum Wassersparen aufgerufen.

Untersuchungen des AUE BL haben gezeigt, dass die kleineren Lockergesteinsgrundwasservorkommen im Einzugsgebiet der Ergolz stark genutzt sind. Deren Volumen wird pro Jahr teilweise einmal umgesetzt. Durch die stete Grundwasserneubildung aus der Oberflächenwasserinfiltration sind die Systeme bisher jedoch stabil. Im unteren Birstal wird pro Jahr rund 50% des speicherbaren Grundwassers genutzt. Hier ist aber die Entnahmerate relativ hoch, so dass ohne künstliche Versickerung von Birswasser in der Versickerungsanlage Aesch in den Sommermonaten teilweise zu wenig Wasser vorhanden wäre.

Mit dem Klimawandel werden die Niederschläge im Kanton insgesamt leicht zurückgehen und die Verdunstung zunehmen. Auch wird sich die jahreszeitliche Verteilung des Niederschlags verändern. Im Sommerhalbjahr wird es trockener, im Winterhalbjahr feuchter. Von geringeren Wassermengen betroffen sein, wird in erster Linie das Einzugsgebiet der Ergolz, gefolgt vom Einzugsgebiet der Birs. Die Abflüsse im Rhein werden durch das vermehrte Schmelzwasser der Gletscher eher zunehmen, in einer späteren Phase des Klimawandels vermutlich abnehmen, aber nicht in einem Ausmass, welches für die Wasserversorgung der Agglomeration Basel einen Einfluss haben sollte.

In den letzten 30 Jahren wurden im Unterlauf der Ergolz im Maximum an 64 Tagen eine Unterschreitung der Dotierwassermenge von 260 L/s gemessen. Je nach Klimaszenario (RCP3PD, A1B, A2) wird sich die Dauer auf 83 bis auf 158 Tage erhöhen. In einigen Zuflüssen der Ergolz, die bereits heute in niederschlagsarmen Jahren austrocknen, werden sich die Phasen der Wasserdefizite ebenfalls stark ausdehnen. Da die Infiltration von Oberflächengewässern wesentlich zur Grundwasserneubildung beitragen (siehe TP2), ist bei gleichbleibender Grundwassernutzung zwischen Sommer und Herbst mit einem Rückgang der Pegelstände zu rechnen. Wie gut sich die Grundwasserressourcen nach Trockenzeiten erholen, hängt im Wesentlichen von den winterlichen Niederschlägen ab.

Die Wasserressourcen im Kanton BL sind somit sehr unterschiedlich verteilt. Die Wasserversorgungen, die Grundwasser aus dem unteren Birstal oder mit Rheinwasser angereichertes Grundwasser beziehen und rund 2/3 der Bevölkerung im Kanton BL versorgen, werden auch in Zukunft unter dem Klimawandel genügend Wasser haben. Dies da der Rhein stets genügend Wasser für die künstliche Infiltration liefern wird und da die Wasserversorgungen im Birstal regional miteinander und mit der Hardwasser AG verbunden sind. Das Laufental wird höchstwahrscheinlich ebenfalls genügend Wasser haben, da die Lockergesteinsgrundwasserleiter ein genügendes Speichervolumen besitzen und die Birs auch in Trockenjahren Wasser führen wird.

Im Einzugsgebiet der Ergolz hingegen, sind Wasserdefizite in Zukunft nicht auszuschliessen, insbesondere in den Seitentälern des Ergolztals. Da viele kleine Wasserversorgungen davon betroffen sein können, ist es nicht möglich, dieses Gebiet durch Vernetzung lediglich unter sich gesamthaft mit genügend Wasser zu versorgen. Es ist zwar sinnvoll, regional Wasserversorgungen miteinander zu verbinden, um gegenseitig Wasser abzugeben oder zu beziehen. In Trockenjahren, wird dies jedoch vermutlich nicht ausreichen, um alle Wasserbezüger mit den gewünschten Wassermengen zu versorgen. Dazu braucht es Verbindungsleitungen mindestens ins Ergolztal zu den regional grösseren Wasserversorgungen. In extremen Trockenjahren könnte auch eine Wasserzufuhr von ausserhalb des Ergolzeinzugsgebietes notwendig sein. Eine Möglichkeit zur Wasserbeschaffung besteht aus dem Hardwald, da hier auch in Zukunft genügend Trinkwasser mit einer guten Qualität zur Verfügung stehen wird. Es ist allerdings zu beachten, dass in den Klimaprognosen eine grosse Unsicherheit besteht bezüglich der effektiven Grundwasserneubildung. Ein höherer Vernetzungsgrad der Wasserversorgungen bringt aber sicher Vorteile, sowohl bei Trockenheit aber auch bei Hochwassersituationen und dem Ausfall von Fassungen. Mit der Vernetzung sollte daher nicht zugewartet werden, sondern diejenigen Wasserversorgungsgebiete, die noch nicht miteinander verbunden sind, sollten entsprechende Leitungen und Stufenpumpwerke installieren. Dadurch lässt sich auch im Havariefall die Wasserversorgung mit einwandfreiem Trinkwasser aufrechterhalten, ohne dass Notwasserleitungen verlegt werden müssen.

10 AUSBLICK

Die Strukturen der zukünftigen Wasserversorgungen im Kanton BL sollten den Planungsgrundsätzen und den Anforderungen in der Wasserstrategie entsprechen, sind aber abhängig von den gegebenen Voraussetzungen der räumlichen Struktur und der Auswirkung vorhandener Nutzungen im Kanton.

In der Wasserstrategie wird gefordert, dass die Wasserversorgungen nur die qualitativ guten Grundwassersysteme nutzen sollen, deren Wasser ohne oder mit einer einfachen Aufbereitung zu Trinkwasser aufbereitet werden kann. Falls eine Aufbereitung notwendig ist, muss sie optimal auf die Rohwässer angepasst sein. Weiter sollen die Wasserversorgungen professionell betrieben werden und über zwei hydrogeologisch unabhängige Standbeine verfügen. Zur Steigerung der Versorgungssicherheit und Redundanz sowie der Wirtschaftlichkeit werden Regionalisierungen in der Trinkwasserversorgung sowie der Bau von Verbundleitungen angestrebt. Ebenso muss der Werterhalt der Infrastruktur gewährleistet sein.

Für die Gewährleistung der qualitativen Anforderungen ist ein nachhaltiger Schutz der Trinkwasserfassungen mit genügend grossen Grundwasserschutzzonen notwendig. Ein nachhaltiger Schutz kann durch einen lokalen Bezug des Trinkwassers gefördert werden, da bei den Trinkwasserkonsumenten und Gemeindevertretern die Herkunft des Wassers bekannt ist.

In Anbetracht dieser Grundsätze und den in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Voraussetzungen zur Wasserqualität, zum Grundwasserschutz und zur Wasserverteilung im Kanton BL, kann ein Bild der zukünftigen Wasserversorgungen skizziert werden.

10.1 WASSERVERSORGUNGEN IN URBANEN REGIONEN

Die urbanen Regionen des Kantons befinden sich dort, wo auch die grössten Grundwasservorkommen anzutreffen sind. Entsprechend schwierig gestaltet sich der Grundwasserschutz. Für den mittleren Bedarf an Trinkwasser sollten in diesen Regionen die am besten geschützten und ergiebigen Fassungen mit den geringsten Konzentrationen an Spurenstoffen und Mikroorganismen und der kleinsten Dynamik an qualitativen Veränderungen genutzt werden. Für die regionale und überregionale quantitative Absicherung der Trinkwassernutzung im Spitzenbedarf oder bei Notsituationen sollten Fassungen in den ergiebigen Lockergesteinsgrundwasserleitern aufrechterhalten bleiben und im Bedarfsfall betrieben werden, auch wenn sie durch Schutzzonen nur mässig geschützt sind. Beim Grundwasserschutz dieser, nur bei Spitzenbelastungen betriebenen Fassungen, soll auch die Filterwirkung der ungesättigten Zone mitberücksichtigt werden. Falls das Grundwasser von regional bedeutenden Fassungen aufgrund von Spurenstoffbelastungen aufbereitet werden muss, sollten diese Fassungen eine konstante Wassermenge (Grundlast) liefern, damit die Aufbereitung optimal betrieben werden kann.

Durch den konsequenten Bau oder Ausbau von Verbindungsleitungen in der Wasserversorgungsregion können verbleibende Überkapazitäten an Pumpwerken oder aus Sicht des Löschschutzes nicht mehr benötigte Reservoirs stillgelegt werden. Dadurch erhöht sich die Wirtschaftlichkeit der Wasserversorgungen. Gleichzeitig sollen auch Verbindungen in die Nachbarregion entstehen, damit sich die bevölkerungsstarken urbanen Regionen in Notsituationen gegenseitig Wasser liefern können. In die Überlegungen zur Optimierung der Bewirtschaftung aller Primäranlagen sind im Rahmen der regionalen Wasserversorgungsplanung auch die Ingenieurbüros einzubeziehen. Für die hier skizzierte Weiterentwicklung der Wasserversorgungen sollten diese in Zweckverbänden zusammengeschlossen sein.

10.2 WASSERVERSORGUNG IN LÄNDLICHEN REGIONEN

In den ländlichen bevölkerungsärmeren Regionen hat die Quellwassernutzung neben der Nutzung von kleineren Lockergesteinsgrundwasserleitern eine entscheidende Bedeutung. Während die Wasserversorgungen in den kleineren Tälern teilweise mit denselben Problemen des Grundwasserschutzes wie in den urbanen Gebieten kämpfen, sind Wasserversorgungen mit Quellwassernutzung trotz

vorhandenen Grundwasserschutzzonen oft von starken qualitativen Veränderungen des Rohwassers betroffen. Hinzu kommt, dass die kleinen Karst- oder Lockergesteinsgrundwasserleitern von lokaler Trockenheit betroffen sein können.

Die Wasserversorgungen in ländlichen Gebieten sollten deshalb auf die auch bei langandauernder Trockenheit quantitativ bedeutenden Fassungsstandorte setzen. Fassungsstandorte, die trotz hydrogeologisch korrekt ausgeschiedener Schutzzone nach Niederschlagsereignissen grosse Verunreinigungen des Rohwassers zeigen und in Trockenzeiten zu wenig Wasser liefern, sollten nur noch für die Notwasserversorgung genutzt werden. Haben die Fassungen jedoch trotz wiederkehrend schlechter Rohwasserqualität eine regionale Bedeutung, sollte das Wasser nach vorheriger sorgfältiger Abklärung aller Systemzustände (mehrstufig) aufbereitet werden. Das Ziel sollte sein aus den lokalen Fassungen mindestens den mittleren Trinkwasserbedarf abzudecken.

Um die Wasserversorgungen in ländlichen Gebieten bei Trockenheit oder Trinkwasserverunreinigungen aufrechterhalten zu können, sind Verbindungsleitungen zu den grösseren Wasserwerken, die regionale Grundwasserleiter nutzen, wie in den regionalen Wasserversorgungsplanungen des Kantons beschrieben, notwendig. Dabei sind auch heute noch isolierte Wasserversorgungen an die Verbundsysteme anzuschliessen. Regionalisierungen nur innerhalb der Karstregionen, kann bei Trockenheit oder bei stärkeren Niederschlägen und damit verbundener schlechter Rohwasserqualität zu Versorgungsengpässen führen.

Für die Gewährleistung einer stets guten Trinkwasserqualität bei Karstquellen ist das Wassermanagement als alleinige Schutzmassnahme nicht ausreichend. Falls im Rohwasser Toleranzwertüberschreitungen der Indikatororganismen auftreten, muss das Wasser aufbereitet werden. Das Wassermanagement kann dann die Effektivität und/oder Entscheidungen über den Umfang der Aufbereitung unterstützen.

Ein Zusammenschluss von Wasserversorgungen in einem Zweckverband ist besonders in ländlichen Gebieten sinnvoll, da damit die Optimierung der Bewirtschaftung der Primäranlagen wesentlich einfacher wird und die kleinen Wasserversorgungen dadurch vor Fehlinvestitionen besser geschützt sind.

10.3 INSTRUMENTE ZUR FÖRDERUNG DER ZUSAMMENARBEIT UND DER UMSETZUNG DER REGIONALISIERUNG

Für den Aufbau einer Zusammenarbeit oder einer Regionalisierung von Wasserversorgungen braucht es neben der Kenntnis über die Funktionsweise der einzelnen Wasserversorgungen in erster Linie den Willen der Akteure diesen Prozess aufzunehmen, mitzutragen und umzusetzen. Entscheidend ist dabei, dass genügend Zeit für den Transformationsprozess vorhanden ist.

Wie die Untersuchungen in diesem Projekt zeigten, können sich viele Akteure in den Wasserversorgungen eine regionale Zusammenarbeit in einem Zweckverband vorstellen, möchten aber gleichzeitig eine gewisse Selbständigkeit behalten. Der Kanton kann mit bilateralen Gesprächen und der Beratung der Verantwortlichen der Wasserversorgung einen wesentlichen Beitrag zum gegenseitigen Problemverständnis beitragen. Die Zusammenarbeit sollte jedoch idealerweise nach einem Bottom-up Modell funktionieren. Ein Beispiel dafür ist die Brunnenmeister-Stellvertretungsregelung über die Wasserversorgungsgrenzen hinweg. Vorteil dieser Lösung ist, dass stets ein kompetenter Ansprechpartner für die Belange der Wasserversorgung zuständig ist und die Brunnenmeister direkt von Erfahrungen aus anderen Wasserversorgung profitieren können.

Um einen Regionalisierungsprozess breiter abzustützen, können interessierte BürgerInnen mit einbezogen werden. Diese werden durch die Experten in den Gemeinden und vom Kanton in das Thema eingeführt und können mit diesem Wissen und ihren Bedürfnissen als WasserkonsumentInnen mitentscheiden, welche Form der Regionalisierung für sie gewinnbringend ist. Mit diesem Einbezug sind neben den lokalen politischen Entscheidungsträgern und Stakeholdern und den Experten auch die betroffenen WasserkonsumentInnen vertreten, die allenfalls an Gemeindeversammlungen über entsprechende Projekte mitentscheiden werden.

In einem Regionalisierungsprozess müssen alle Wasserversorgungen mit ins Boot geholt werden. Jedoch müssen nicht alle Akteure dieselben Aufgaben im Prozess übernehmen. Lokal bedeutenden Akteuren sollte eine wichtigere Rolle zukommen und sie sollten ihr Expertenwissen für kleinere Wasserversorger zur Verfügung stellen. Es ist zudem anzustreben, dass sie für gewisse Aufgaben die Führung übernehmen. Die peripheren Akteure müssen laufend informiert und immer wieder in den Prozess einbezogen werden.

Um die in der regionalen Wasserversorgung des Kantons erarbeiteten Grundlagen rascher umzusetzen, sollte der Kanton ein finanzielles Anreizsystem schaffen. Dieses sollte für Abklärungen organisatorischer oder technischer Art sowie für konkrete Umsetzungen von Massnahmen verwendet werden können.

Bei Regionalisierungsprozessen werden regional bedeutende Fassungen bezeichnet, die dann auch entsprechend mit einer geeigneten Grundwasserschutzzone gesichert werden müssen. Daneben verlieren andere Fassungen an Bedeutung und können allenfalls aufgegeben werden. Für die einen Gemeinden bedeutet dies eine Ausweitung der Schutzzonen, für die anderen ein Zugewinn von frei nutzbarem Landwirtschafts- oder Bauland. Um den Schutz und die Nutzung auszugleichen braucht es einen Lastenausgleich zwischen den Gemeinden. Zudem müssen die regional bedeutenden Schutzzonen nicht nur wie in der Wasserstrategie Priorität vor anderen Wassernutzungen haben, sondern auch vor anderen flächenrelevanten Nutzungen, wie Siedlungsgebieten oder Verkehrsinfrastrukturen.

Wie aufgezeigt wurde, sind bei Regionalisierungen sehr unterschiedliche Akteure und auch sehr viele Themenbereiche involviert. Die erarbeiteten natur- und sozialwissenschaftlichen Instrumente für die Umsetzung einer Regionalisierung sollten deshalb in einer Schwerpunktregion angewendet werden. Die Akteure in dieser Region sollten ein Problembewusstsein für die Belange der Wasserversorgung haben, z.B. aufgrund von Hochwassersituationen oder Trockenheit und für eine Zusammenarbeit offen sein.

10.4 AUSWIRKUNGEN DER REGIONALISIERUNG AUF DIE WASSERVERSORGUNGEN

Regionalisierungen haben verschiedene Auswirkungen auf die Organisation und den Betrieb der Wasserversorgungen aber auch auf den Grundwasserschutz und auf weitere Wassernutzungen. In Tabelle 10.1 sind die Auswirkungen auf verschiedene Bereiche für die im vorherigen Abschnitt skizzierte Regionalisierung ländlicher und urbaner Wasserversorgungen aufgeführt. Unter Berücksichtigung dieser Kriterien wird die Trinkwassersicherheit durch eine Regionalisierung erhöht.

Tab. 10.1: Auswirkungen von Regionalisierungen auf ländliche und urbane Wasserversorgungen.

Thema	Ländliche Region	Urbane Region
Grundwasserschutz / Ressourcenschutz	Durch die Konzentration auf die bedeutenden Fassungen, werden diese besser geschützt. Allfällige Erweiterungen der Schutzzonen fallen mehrheitlich in land- oder forstwirtschaftliche Gebiete. (Zonenplan Landschaft)	Der Schutz bleibt mehrheitlich gleich. Da es eine Konzentration auf die bedeutenden Fassungen gibt, sind häufigere und vertiefte Kontrollen in Siedlungsgebieten bezüglich Kontamination (Kanalisierungen, Strassenabwässer, Gärten, etc.) durchzuführen jedoch für die dauernd genutzten Fassungen. Eine Erweiterung von Schutzzonen ist kaum möglich oder diese fallen in Siedlungsgebiete (Zonenplan Siedlung).
Trinkwasseraufbereitung	Bessere Koordination der Wasserförderung aus den einzelnen Fassungsanlagen in den Gemeinden bezüglich Qualität und Quantität. Regional bedeutende Fassungen werden bevorzugt und allenfalls mit einer optimierten Aufbereitung ausgerüstet.	Für regional bedeutende Wasserwerke werden in Anbetracht der Risiken im Einzugsgebiet Abklärungen zur weitergehenden Aufbereitung zur Entfernung von Spurenstoffen evaluiert und das Trinkwasser je nach Ergebnis aufbereitet.
Trinkwasserqualität (Spurenstoffe/Mikroorganismen)	Höhere Sicherheit durch optimierten Betrieb der Anlagen.	Höhere Sicherheit durch optimierten Betrieb der Anlagen.
Mikrobiologische Stabilität in Verteilnetzen und Korrosionsschutz	Durch die Mischung von Wässern mit unterschiedlichen Nährstoffgehalten kann es im Trinkwassernetz zum Aufwuchs von Bakterien kommen. Ein Netzmanagement ist zentral zur Überwachung und Minimierung von Wiederverkeimungen. Bei der Mischung von Trinkwässern unterschiedlicher Herkunft ist auf die Korrosion zu achten. Mischwässer sollten nicht korrosiv sein.	Die Rohwasserqualitäten bei Trinkwasserfassungen im Lockergestein sind in einem ähnlichem Bereich. Es ist keine Veränderung des Risikos der Verkeimung der Trinkwassernetze durch die Zusammenschlüsse zu erwarten. Auch das Korrosionsrisiko ist vermutlich klein, sollte aber überprüft werden.
Mitbestimmung der Gemeinden und der Trinkwasserkonsumenten	Nimmt in Abhängigkeit der Organisationsform ab, da zwar in den Gremien Einsitz genommen wird, aber die Gemeinden nicht mehr alleine entscheiden können.	Nimmt in Abhängigkeit der Organisationsform ab, da zwar in den Gremien Einsitz genommen wird, aber die Gemeinden nicht mehr alleine entscheiden können.
Professionalisierung Wasserversorgung	Durch eine stärkere Vernetzung nimmt die Expertise zu.	Durch eine stärkere Vernetzung nimmt die Expertise zu.
Freiheitsgrade für andere Wassernutzungen	Durch die Stilllegung von unbedeutenden oder qualitativ schlechten Fassungen kann Spielraum für andere Wassernutzungen entstehen.	Durch die Stilllegung von unbedeutenden oder qualitativ schlechten Fassungen kann Spielraum für andere Wassernutzungen entstehen.

11 EMPFEHLUNGEN

In den vorherigen Kapiteln sind die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen aus den einzelnen untersuchten Themengebieten aufgeführt. Daraus können der Kanton und die Wasserversorgungen konkrete Handlungsanweisungen ableiten. In diesem Abschnitt werden die sich aus den Themenfeldern resultierenden generellen Empfehlungen diskutiert.

ERARBEITUNG VON SYSTEMKENNTNISSEN

Die Grundwassersysteme im Kanton BL sind bezogen auf ihren hydrogeologischen Aufbau und die zeitliche Dynamik der Wasserqualität und -quantität meist komplex. Um zu guten Systemkenntnissen zu gelangen, müssen daher in der Regel verschiedene Methoden angewendet werden, wobei die einzelnen Untersuchungen aufeinanderfolgend durchgeführt werden sollen. In einem ersten Schritt empfiehlt sich die Instrumentierung von Quellen oder Grundwasserleitern mit Online-Messungen. Diese sind über genügend lange Zeit durchzuführen, um verschiedene hydrologische Zustände zu erfassen. Anschliessend können die weitergehenden Untersuchungen aufbauend auf die Online-Messungen geplant und durchgeführt werden. Generell ist festzustellen, dass für die Beurteilung der Herkunft von Mikroorganismen und Spurenstoffen eine Anwendung von Grundwassermodellen empfehlenswert ist. Damit lassen sich regionale Wasserzuflüsse von lokalen Infiltrationen, z.B. über die Fluss-Grundwasser-Interaktion unterscheiden. Daraus abgeleitet können in Kombination mit den mikrobiologischen und chemischen Wasseranalysen Risikoabschätzungen vorgenommen und über eine allfällige Trinkwasseraufbereitung entschieden werden.

MIKROBIOLOGISCHE WASSERQUALITÄT

Für die Untersuchung der mikrobiologischen Wasserqualität in dynamischen Systemen wie Karstquellen oder flussnahen Trinkwasserpumpwerken, sind Online-Messungen der Gesamtzellzahl von grosser Bedeutung. Online-Messungen von abiotischen Parametern können zwar Veränderungen durch Regenereignisse aufzeigen, widerspiegeln jedoch nicht das Ausmass der mikrobiellen Belastung. Primär sollten deshalb die regional bedeutendsten Systeme mit Online-Durchflusszytometermessungen in Kombination mit Schüttungs- und Trübungsmessungen untersucht werden, gefolgt von lokal wichtigen Fassungen mit grosser Unsicherheit bezüglich der Wasserqualität. Darauf aufbauend lassen sich die Risiken im Einzugsgebiet und das Ausmass der notwendigen Trinkwasseraufbereitung, ob einstufig (UV) oder mehrstufig, ableiten. Ebenso kann daraus die Probenahmestrategie zur Untersuchung der Trinkwasserqualität definiert werden. Dabei ist auch zu testen, ob die UV-Desinfektion bis zum Verwurfkriterium einer Trübung von 0.5 FNU einwandfrei funktioniert.

CHEMISCHE WASSERQUALITÄT

In allen untersuchten Grundwassersystemen konnten eine vergleichbare Anzahl und Konzentration an Spurenstoffen festgestellt werden. Dabei spielen die polaren Stoffe die über das ungeklärte oder geklärte Abwasser eingetragen werden, gegenüber den chlorierten, meist aus belasteten Standorten stammenden Verbindungen klar eine wichtigere Rolle. Die vorgefundenen Konzentrationen liegen meist unter 100 ng/l und damit unter den gesetzlichen Anforderungswerten für mutagene Substanzen. Für nicht mutagene Substanzen könnten auch höhere Werte zugelassen werden. Ob eine Trinkwasseraufbereitung für eine Risikominimierung sinnvoll ist, sollten insbesondere die regionalen Wasserwerke abklären. Eine Reduktion der Anzahl und der Konzentration an Spurenstoffen in den ober- und unterirdischen Gewässern ist aus Sicht der Nachhaltigkeit trotzdem angezeigt, da z.B. Wasserorganismen sensibler auf Spurenstoffe reagieren als der Mensch und ein intaktes Ökosystem wesentlich zur Selbstreinigungskraft und damit zu einer Verbesserung der Rohwasserqualität beiträgt. Die eingeleiteten Massnahmen zum Ausbau der Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe und die Bestrebungen zur Reduktion der Herbizid-/Biozidanwendungen in der Landwirtschaft und den Haushalten sind deshalb sehr wichtig.

TRINKWASSERAUFBEREITUNG

Das Quellwasser in Karstgebieten sollte wegen häufigen hygienischen Belastungen des Rohwassers mit standortspezifischen Aufbereitungsmassnahmen behandelt werden. Im Falle von UV-Desinfektion

ist das Wasser aufgrund von Online-Trübungsmessungen zu verwerfen. Eine Kontrolle der Effizienz der UV-Desinfektion bis zur maximal zugelassenen Trübung ist angezeigt.

Der Aktivkohlefilter im Hardwald entfernt in Abhängigkeit der Laufzeit die apolaren und einen grossen Anteil an polaren Verbindungen. Eine weitergehende Aufbereitung mit oxidativen Verfahren wäre machbar und würde zusätzliche Sicherheit für schlecht adsorbierbare Substanzen schaffen. Ob und wie eine erhöhte Redundanz anzustreben ist, sollte im Kontext der Wasserversorgungsstrategie und der Regionalisierung der Wasserversorgung BL abgeklärt werden. Diese Art der Aufbereitung wäre auch bei anderen Lockergesteinsgrundwasserfassungen im Kanton technisch möglich. Ob auch in den anderen grossen Wasserversorgungen mit vergleichbarer Rohwasserqualität eine Entfernung von Spurenstoffen anzustreben ist, hängt im Wesentlichen von der Gesamtstrategie der Regionalisierung und den Erwartungen der KonsumentInnen ab. Darüber wie weit eine Aufbereitung über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen soll, sollte ein geführter gesellschaftlicher Diskurs stattfinden, bei welchem auch die Frage der gewünschten Reinheit des Wassers mit anderen Lebensmitteln verglichen und die Fragen zum Umgang mit Spurenstoffen im Alltag diskutiert wird.

TRINKWASSERGEWINNUNG IM HARDWALD

Das System der Trinkwassergewinnung im Hardwald ist grundsätzlich sicher und stabil, setzt aber einen dauernden Betrieb der künstlichen Infiltration voraus. Westliche Brunnen, die einen Anteil an Wasser aus der regionalen Zirkulation aufweisen, sollen wie teilweise bereits umgesetzt, nur noch als Brauchwasserbrunnen betrieben werden. Dies gilt auch für Brunnen 17, bei welchem ein geringer Anteil an „älterem“, potentiell belastetem Muschelkalkwasser nicht auszuschliessen ist. Zudem führt ein kontinuierlicher Betrieb der Trinkwasserbrunnen zu stabileren Zuströmverhältnissen und ist deshalb dem heutigen diskontinuierlichen Betrieb vorzuziehen. Aufgrund der schnellen Erstaufritte von Stoffen, die über die Rheinwasserinfiltration eingetragen werden können, ist eine ständige Überwachung des Rheinwasserinfiltrats unumgänglich. Die Anbindung an die Rheinüberwachungsstation (RÜS) kann diese Anforderung zum Teil erfüllen. Für erweiterten präventiven Schutz wäre eine Überwachungsstation an der Aare analog zur RÜS wünschenswert.

RESSOURCENSCHUTZ UND RAUMPLANUNG

Ein effektiver Ressourcenschutz führt auf eine nachhaltige Art zu einer guten Trinkwasserqualität. Je geringer dieser natürliche Schutz, desto höher sind die technischen Anforderungen, was zu höheren Kosten in der Bereitstellung von Trinkwasser führt. Insbesondere für die mikrobiologische Wasserqualität spielen korrekt ausgeschiedene Schutzzonen eine zentrale Rolle. Die Schutzzonen stehen jedoch vielerorts in Konkurrenz mit anderen räumlichen Nutzungen wie Siedlungsgebieten, Verkehrswegen oder auch mit Revitalisierungen von Flüssen. Um die bestehenden Schutzzonen zu halten oder auf die hydrogeologisch korrekten Grössen zu erweitern, braucht es eine regionale Raumplanung. Eine Sichtweise nur auf kommunaler Ebene ist nicht ausreichend. Der Kanton sollte seine vorhandenen raumplanerischen Instrumente stärker nutzen und regionale Planungen und verbindliche Festsetzungen vornehmen. Begleitend sollte in Regionalkonferenzen diskutiert werden, wie die „Nachteile“ der Übernahme von Schutzzonenflächen in den einen Gemeinden, mit den „Vorteilen“ zur weitergehenden Nutzung freierwerdender Flächen in den anderen Gemeinden ausgeglichen werden könnten.

REGIONALISIERUNG

Alle untersuchten Regionen des Kantons könnten von einer Regionalisierung der Wasserversorgung profitieren. Der Zweckverband ist die am breitesten akzeptierte Form der Zusammenarbeit, wobei eine Mitbestimmung für die Gemeinden sehr wichtig ist. Der grosse Vorteil der Regionalisierung ist, dass die Primäranlagen optimal betrieben werden können und die Expertise in den Wasserversorgungen breiter abgestützt ist. Wie die Werte der kommunalen Anlagen in eine regionale Organisation übertragen werden können, wurde bereits früher aufgezeigt. Zur Förderung der Bildung von Zweckverbänden sollte der Kanton die Gemeinden über die Auswirkungen dieser Form der Zusammenarbeit fundiert informieren. Mit zusätzlicher Hilfe eines finanziellen Anreizsystems könnte der Kanton organisatorische oder technische Regionalisierungsprojekte gezielt fördern.

SCHWERPUNKTREGION

Die Übertragbarkeit der im Projekt WVG BL 21 erarbeiteten Konzepte und Methoden in andere Gebiete, sollte in einer Schwerpunktregion geprüft werden. Diese Region sollte möglichst viele der behandelten Themenbereiche abdecken und die Akteure sollten bereit sein, sich auf einen Regionalisierungsprozess einzulassen. Für die Validierung der vorliegenden Konzepte und Methoden sollte eine Begleitgruppe aus kantonalen Vertretern und den im Projekt WVG BL 21 verantwortlichen Personen gebildet werden. Die Umsetzungsphase der Erkenntnisse aus dem Projekt in den Wasserversorgungen wird Zeit und Arbeitskraft erfordern, die beide zur Verfügung gestellt werden müssen.

WASSERVERSORGUNGSPLANUNG

Der mittlere Wasserbedarf sollte innerhalb einer Region aus den gut geschützten Trinkwasserfassungen gedeckt werden können. Für die Abdeckung des Spitzenbedarfs und in Notsituationen sind die Regionen mit grösseren Wasserbezugsorten zu verbinden. Eine Verbindung zu grösseren Grundwasservorkommen ist auch in Zukunft zur Abfederung der Folgen des Klimawandels entscheidend. Hier kommt der Hardwasser AG als grösstes Wasserwerk im Kanton eine grosse Bedeutung für die Redundanz der Wasserversorgungen im Birs- aber auch im Ergolztal zu. Die grossen regionalen Wasserwerke im Birs- und Ergolztal müssen wie im Hardwald bereits umgesetzt je nach Risiken im Einzugsgebiet das Trinkwasser unter Umständen aufbereiten.

ZUSAMMENARBEIT IM KANTON

Durch eine gezieltere Zusammenarbeit auf kantonaler und kommunaler Ebene können die negativen Auswirkungen auf den Grund- und Trinkwasserschutz reduziert und die Regionalisierung gefördert werden. Innerhalb des Kantons sollten die Bereiche des Umweltschutzes und der Raumplanung sowie der Umweltschutz und der Flussbau stärker zusammenarbeiten. Dies zur Stärkung der Grundwasserschutzzonen und zur integralen Beurteilung von Auswirkungen von Revitalisierungen auf die Trinkwassernutzung. Die Zusammenarbeit von Umweltschutz und Lebensmittelsicherheit funktioniert bereits gut, sollte aber im Hinblick auf die Zusammenarbeit mit den Gemeinden und Wasserversorgungen optimiert werden. Der Kontakt zwischen dem Kanton und den Gemeinden sollte verstärkt auf bilateralem Weg erfolgen und regelmässig stattfinden, damit in den Themen Grundwasserschutz, Trinkwassersicherheit und Regionalisierung Fortschritte erzielt werden können. Ebenso ist der Kontakt der kantonalen Stellen mit dem Verband Basellandschaftlicher Gemeinden (VBLG) zu stärken.