

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500486507/23

Entwicklung eines modellhaften  
Strukturkonzeptes zur Anpassung der  
Wasserversorgung an den Klimawandel und  
dessen Umsetzung in den Landkreisen  
Schwarzwald-Baar-Kreis und Tuttlingen  
(Internetversion ohne detaillierte Infrastrukturdaten)

von S. Stauder, F. Brauer, U. Müller, T. Fischer, D. Hochmuth

Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Juli 2018

**KLIMOPASS**

**– Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg**



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
<b>KONTAKT</b> <b>KLIMOPASS</b>	Dr. Kai Höpker, Dr. Ellinor von der Forst Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; E-Mail: <a href="mailto:klimopass@lubw.bwl.de">klimopass@lubw.bwl.de</a>
<b>FINANZIERUNG</b>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLI- MOPASS)
<b>BEARBEITUNG UND</b> <b>VERANTWORTLICH</b> <b>FÜR DEN INHALT</b>	Dr.-Ing. Stefan Stauder, Dipl.-Geoökol. Friederike Brauer, Dr. Ing. Uwe Müller, Dipl.-Geoökol. Thilo Fischer, Dipl. Ing. Dirk Hochmuth , TZW: Technologiezent- rum Wasser, Karlsruhe
<b>BEZUG</b>	<a href="http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/">http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/</a> ID Umweltbeobachtung U83-W03-N34
<b>STAND</b>	August 2018, Internetausgabe Dezember 2018

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG	5	
1	EINLEITUNG	10
2	INITIALISIERUNG UND ARBEITSPROGRAMM	11
3	ALLGEMEINE ANGABEN ZUM SCHWARZWALD-BAAR-KREIS	12
4	TRINKWASSERVERSORGUNG IM SCHWARZWALD-BAAR-KREIS	14
4.1	Versorgungsstrukturen in den einzelnen Kommunen	14
4.2	Wasserbedarfsanalyse	15
4.3	Quell- und Grundwasserdargebot	16
4.3.1	„Schwarzwaldquellen“	17
4.3.2	<i>Karstquellen</i>	19
4.3.3	<i>Grundwasser</i>	22
4.3.4	<i>Fazit - Dargebot</i>	25
4.4	Vulnerabilitätsbetrachtungen in ausgewählten Quellgewinnungen	26
4.4.1	<i>Heidensteinquellen</i>	26
4.4.2	<i>Tannwaldquelle</i>	28
4.4.3	<i>Mühlbachquelle</i>	29
4.5	Klimainduzierte Verschlechterungen der Rohwasserqualität	32
4.5.1	<i>Mikrobiologie</i>	32
4.5.2	<i>Trübung</i>	33
4.6	Digitale Erfassung der Wasserversorgungsstrukturen	36
4.6.1	<i>Erfassung der Bauwerke zur Wasserversorgung</i>	38
4.6.2	<i>Erfassung des Leitungsnetzes</i>	40
4.7	Einzelwasserversorgungen im Schwarzwald-Baar-Kreis	41
5	MAßNAHMEN ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL	43
5.1	Bewertung und Erhöhung der Resilienz	43
5.2	Weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen	54
5.2.1	<i>Membrananlagen - Funktionsweise und Unterscheidungsmerkmale</i>	55
6	STRUKTURKONZEPTE ZUR ANPASSUNG DER WASSERVERSORGUNG	65
6.1	Allgemeine Vorgehensweise	65
6.2	Anwendung auf den Landkreis Tuttlingen	66
7	LITERATUR	70

## Abkürzungen

BWV	Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung
CaCO <sub>3</sub>	Dichtes Calciumkarbonat (Granulat zur chemischen Entsäuerung)
Cl <sub>2</sub>	Desinfektion mit Chlor bzw. NaOCl
DEA	Druckerhöhungsanlage (synonym PW)
EW	Einwohner
GLA	Geologisches Landesamt
GOK	Geländeoberkante
HB	Hochbehälter (Bevorratung von Trinkwasser)
HZ	Hochzone (höher gelegene Versorgungszone)
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
L/s	Liter pro Sekunde
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
mNN	Geodätische Höhe (Meter über Normal Null = Meereshöhe)
MSF	Mehrschichtfilter (zur Partikelentfernung, ggf. mit Flockungsmittel)
MZ	Mittelzone (separate Versorgungszone)
m <sup>3</sup> /a	Kubikmeter pro Jahr
m <sup>3</sup> /h	Kubikmeter pro Stunde
NaOCl	Desinfektion mit Natriumhypochlorit
NZ	Niederzone
ON	Ortsnetz
O <sub>3</sub>	Ozon (zur Desinfektion bzw. Oxidation)
PW	Pumpwerk (Synonym DEA)
Q <sub>Mittel</sub>	Mittlere Schüttung (über mehrere Jahre betrachtet)
Q <sub>min</sub>	Minimale Schüttung (über mehrere Jahre betrachtet)
Q <sub>N</sub>	Nennleistung einer TWA
TWA	Trinkwasseraufbereitungsanlage (Synonym WW)
UF	Ultrafiltration (Partikelentfernung mittels Membrantechnik)
UV	Desinfektion mit ultravioletter Bestrahlung
WR	Wasserentnahmerecht
WV	Wasserversorgungsunternehmen
WW	Wasserwerk (Synonym TWA)

# Zusammenfassung

Für die 20 Kommunen im Landkreis Schwarzwald-Baar wurde die Struktur der Trinkwasserversorgung erfasst, eine Dargebots-Bedarfs-Analyse durchgeführt und Konzepte zur Anpassung der Wasserversorgung an den Klimawandel ausgearbeitet. Zur Evaluierung der hierfür entwickelten Methodik wurde sie auf drei Kommunen im Landkreis Tuttlingen angewandt.

Die Methodik liefert ein „grobes Strukturkonzept“, das eine erste Einschätzung der jeweiligen Situation ermöglicht. Vor der Entscheidung über weitergehende Maßnahmen bzw. Investitionen muss ggf. durch eine ingenieurtechnische Detailplanung ein „Feinkonzept“ erarbeitet werden, das weitere Punkte berücksichtigt, wie z. B. baulicher Zustand der Gewerke, Flächennutzungspläne, Leitungs- bzw. Löschwasserlieferkapazitäten.

## Wasserversorgungsstrukturen

Die Trinkwasserversorgung im Schwarzwald-Baar-Kreis erfolgt überwiegend durch die jeweiligen Kommunen. Dementsprechend handelt es sich meist um kleine Einheiten bzw. Unternehmen, wobei in acht der 20 Kommunen weniger als 5.000 Einwohner versorgt werden (< 0,3 Mio. m<sup>3</sup> Jahresabgabe).

Das westliche Betrachtungsgebiet ist durch eine stark zergliederte Geomorphologie mit Tälern und großen Höhenunterschieden sowie einer geringen Besiedlungsdichte geprägt. Einige der Versorgungssysteme sind sehr komplex, mit zahlreichen dezentralen und relativ kleinen Anlagen zur Wassergewinnung, -aufbereitung und -speicherung. Mit den Stadtwerken Villingen-Schwenningen GmbH (85.000 Einwohner, 4,7 Mio. m<sup>3</sup>/a Jahresabgabe) sowie der aquavilla GmbH (43.000 Einwohner, 2,4 Mio. m<sup>3</sup>/a Jahresabgabe) existieren auch zwei größere Unternehmen.

In den Kommunen wurden relevante Wasserversorgungsanlagen erfasst und mit ihren wesentlichen Kenndaten u. a. kartographisch dokumentiert. Dabei erfolgte zusätzlich eine digitale Erfassung nach Vorgaben der LUBW, um eine problemlose Übernahme der Daten in den Bestand des Landes zu ermöglichen.

Insgesamt beinhalten die bearbeiteten Shapefiles im Schwarzwald-Baar-Kreis rund 500 Bauwerke (Brunnen, Quellen, Wasserwerke, Hochbehälter und Pumpwerke) und 660 km Versorgungsleitungen.

## Prognose und Gegenüberstellung von Dargebot und Bedarf:

Um einen höheren Bedarf in künftigen Hitzeperioden abzuschätzen, wurde der reale **Tagesspitzenbedarf** aus den vergangenen Jahren pauschal um 20 % erhöht. Dies beruht auf Erfahrungen aus dem Trockenjahr 2003. Eine Bedarfsanalyse nach DVGW-Arbeitsblatt W 410 diente zur Prüfung der Plausibilität.

Die Prognose des für die Trinkwasserversorgung besonders wichtigen **minimalen Dargebots** erfolgte als „worst case“ Betrachtung auf der Grundlage einer Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Quellwässer im Südschwarzwald (LUBW 2015). Nach Auswertung der zur Verfügung stehenden Daten zu Quellschüttungen, Grundwasserständen und Hydrogeologie wurden für den Schwarzwald-Baar-Kreis folgende künftig gewinnbaren Mindestmengen abgeschätzt:

1. Grundwasser: Konstantes Dargebot
2. Quellen mit  $Q_{\min} < 20\%$  von  $Q_{\text{Mittel}}$ : künftiges  $Q_{\min} = 50\%$  von bisherigem  $Q_{\min}$
3. Quellen mit  $Q_{\min} > 20\%$  von  $Q_{\text{Mittel}}$ : künftiges  $Q_{\min} = 75\%$  von bisherigem  $Q_{\min}$

Praktisch alle Quellen im Kristallin bzw. Buntsandstein des Schwarzwald-Baar Kreises sowie auch die flachgründigen Quellen aus Kalkgeröllen (z. B. in Bad Dürkheim und Blumberg) sind dem Typ 2. zu zuordnen. Diese Quellen zeigten in den vergangenen Jahrzehnten zwar keine größeren Rückgänge der mittleren Schüttungen (max. -10 % seit 1955), jedoch oftmals deutliche Einbußen bei den ohnehin relativ geringen Mindestschüttungen im Spätsommer.

Bei den Quellen des Typs 3 handelt es sich um die beiden großen Karstquellen im Untersuchungsgebiet, die Gutterquelle (Donaueschingen) und die Keckquelle (Villingen-Schwenningen bzw. Deislingen) sowie die Kohlbrunnenquelle und die Quellen Längental in Niedereschach.

Durch die Messprogramme der LUBW existiert bereits eine gute Überwachung der Grundwasserstände und Quellschüttungen im Betrachtungsgebiet. Darüber hinaus wird den Kommunen empfohlen, die Wasserstände bzw. Absenkung ihrer Brunnen sowie die Schüttungen ihrer Quellen zu dokumentieren und hinsichtlich langfristiger Änderungen zu bewerten.

## Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

Zusammenfassend ergaben die Dargebots-Bedarfs-Analysen, dass im Landkreis Schwarzwald-Baar **keine größeren Mengendefizite** infolge des Klimawandels zu

erwarten sind. Allerdings sollten für die zahlreichen, relativ kleinen Versorgungsbereiche, in denen bislang ausschließlich Quellwasser zur Verfügung steht, die Absicherung der Versorgung durch ein „zweites Standbein“ geprüft werden (Brunnen, Wasserbezug). Für die betroffenen Kommunen wurden hierzu spezifische Vorschläge ausgearbeitet.

Neben Wassermangel z. B. infolge zu geringer Quellschüttung in Trockenperioden sind auch eventuelle Liefereinschränkungen durch extreme Wetterereignisse verbunden mit Überschwemmungen oder Sturmschäden (Stromausfall) zu berücksichtigen. Nach den Klimaprognosen treten derartige Situationen künftig häufiger auf, so dass Maßnahmen zur **Erhöhung der Resilienz** an Bedeutung gewinnen.

Mit Ausnahme der Gutterquelle in Donaueschingen sowie der Gewinnung Katzensteig in Furtwangen besteht nach derzeitiger Einschätzung im Betrachtungsgebiet kein erhöhtes Hochwasserrisiko. Für diese beiden Anlagen wurden nach Angabe der Betreiber bereits entsprechende Maßnahmen getroffen bzw. sind geplant.

In fast allen Bereichen des Schwarzwald-Baar Kreises erfolgt die Versorgung aus Hochbehältern, die relativ groß bemessen sind. Bei einem Stromausfall ist somit in der Regel die Trinkwasserversorgung über die Dauer von 1 - 2 Tagen sichergestellt. Auch die Löschwasserbereitstellung ist in den meisten Fällen auf diese Weise gewährleistet. Darüber hinaus sind in vielen Fällen bereits Notstromaggregate vorhanden. Damit sind einerseits auch Zonen abgesichert, die über Druckerhöhungsanlagen beliefert werden. Andererseits dienen sie dazu, die Wasserförderung bzw. Aufbereitung bei längerem Stromausfall zu betreiben. Für die einzelnen Kommunen wurden gegebenenfalls Maßnahmen zur weiteren Erhöhung der Resilienz vorgeschlagen.

Bei den Stadtwerken Villingen-Schwenningen GmbH sowie der aquavilla GmbH sind weite Bereiche vernetzt, d. h. lokale Gewinnungen sind durch Wasserbezug abgesichert bzw. können im Extremfall zeitweise ersetzt werden. Hierbei kommt dem Fernwasserbezug von der Bodenseewasserversorgung eine wesentliche Bedeutung zu. Ein Ausfall dieses Bezugs kann nicht bzw. nur ungenügend kompensiert werden.

In längeren Trockenperioden mit den prognostizierten Rückgängen der Quellschüttungen wird künftig auch die Gewinnung Katzensteig in Furtwangen für die Trinkwasserversorgung in mehreren Kommunen essentiell. Die Leistungsfähigkeit der zugehörigen Anlagen sollte eingehend überwacht werden und insbesondere in den Sommermonaten zu 100 % gewährleistet sein.

Eine weitere interkommunale Vernetzung z. B. in der Region zwischen Blumberg und Villingen-Schwenningen wäre unter dem Aspekt Resilienz anzustreben. Hier stünden auch ergiebige Grundwasservorkommen zur Verfügung, die prinzipiell sogar einen Ausfall des BWV-Bezugs absichern könnten. Allerdings wären hierfür höhere Investitionen u. a. in den Leitungsbau erforderlich. Problematisch dabei ist einerseits, dass diese Anlagen im Normalfall nicht bzw. lediglich in geringem Umfang benötigt werden, so dass sehr hohe spezifische Kosten resultieren. Andererseits würden dadurch mittelfristig die historisch gewachsenen Versorgungsstrukturen „in Frage gestellt“, beispielsweise der Erhalt zahlreicher kleinerer Grundwasser- und Quellgewinnungen.

### Klimainduzierte Verschlechterungen der Rohwasserqualität

Die Brunnenwässer sowie auch die Quellwässer aus dem Kristallin/Buntsandstein bzw. aus Kalkgeröllen sind in der Regel trübstofffrei und nicht bzw. lediglich gering mikrobiologisch belastet. In den meisten Fällen erfolgt bislang eine NaOCl-Desinfektion sowie ggf. eine Entsäuerung (Belüftung oder Entsäuerungsfiltration).

Die Untersuchungen deuten jedoch darauf hin, dass insbesondere die Quellwässer nach Starkregen leicht eintrüben und dann auch signifikante mikrobiologische Belastungen sowie z. T. auch erhöhte Huminstoffgehalte aufweisen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen einer Bewertung der hydrogeologischen Situation in den Einzugsgebieten von drei Quellwässern aus dem Kristallin/Buntsandstein. Danach ist bei den Quellwässern von einer mittleren bis hohen intrinsischen Vulnerabilität (systembedingte Verschmutzungsempfindlichkeit) auszugehen. Die meist gut durchlässigen, gering mächtigen Deckschichten in den Hanglagen und der Grundwasserleiter selbst bieten keinen ausreichenden Schutz des Quellwassers vor Trübstoffeinträgen und mikrobiologischen Kontaminationen aus dem Oberboden bspw. bei Starkregen.

Bedingt durch den prognostizierten Klimawandel mit steigender Zahl an Unwettern ist damit zu rechnen, dass problematische Rohwasserverhältnisse künftig häufiger auftreten. Nach derzeitiger Einschätzung sind mittel- bis langfristig bei über 70 % der zur Trinkwassergewinnung genutzten Quellwässer weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich. In den meisten Fällen ist hierbei vermutlich eine Membranfiltration (Ultra- bzw. Mikrofiltration) mit nachgeschalteter Desinfektion das Verfahren der Wahl. Der Einsatz dieser Technik wurde deshalb im Hinblick auf die im Betrachtungsgebiet vorliegenden Randbedingungen detailliert betrachtet. Für die Brunnenwässer ist derzeit noch keine Einschätzung eines Aufbereitungserfordernisses möglich.

Im Zusammenhang mit einer Nachrüstung von Membrananlagen resultieren z. T. hohe Kosten, da dabei oftmals auch größere bauliche Erweiterungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen erfolgen. Für die im Schwarzwald-Baar Kreis prinzipiell in Betracht kommenden ca. 40 Anlagen mit Quellwassernutzung können Gesamtinvestitionen von 30-50 Mio. € abgeschätzt werden.

Um Kosten einzusparen und Investitionen gezielt vornehmen zu können, sollten Methoden für eine Bewertung der einzelnen Gewinnungen hinsichtlich Erfordernisses und ggf. Art einer weitergehenden Aufbereitung entwickelt werden.

Weiterhin wären Entscheidungshilfen für die Auswahl der jeweils geeigneten Membrantechnik hilfreich. Dabei sind insbesondere auch die langfristigen Kosten für den Betrieb und die Wartung zu berücksichtigen. Abhängig von der Nennleistung haben sich bspw. Anlagen mit luftunterstützter Spülung oder externer chemischer Reinigung bewährt. Auch der Einsatz keramischer Membranen könnte langfristig Vorteile aufweisen.

#### Einzelwasserversorgungen

Rund 1.500, d.h. etwa 90 % der vom Landratsamt Schwarzwald-Baar übergebenen Adressen von Einzelwasserversorgern konnten geocodiert und dem Landratsamt als Shapefile übermittelt werden. In den meisten Fällen wird dabei Wasser von kleinen, flachgründigen Quellen genutzt. Bei vielen der 385 Einzelversorger mit Abgabe an Dritte ist künftig eine weitergehende Behandlung mittels UV-Desinfektion und/oder Membranfiltration erforderlich. Die Entscheidung ist Anhand der lokalen Randbedingungen zu treffen.

#### Allgemeine Methodik bzw. Anwendung auf den Landkreis Tuttlingen

Die für den Schwarzwald-Baar Kreis entwickelte Methodik zur Bewertung und ggf. Anpassung einer Wasserversorgung an den Klimawandel wurde erfolgreich auf drei Kommunen im Landkreis Tuttlingen angewandt. Sofern für ein zu betrachtendes Gebiet im Raum Süddeutschland keine genauen Daten vorhanden sind, kommt folgende erste Einschätzung des künftigen minimalen Dargebots in Betracht:

- a. Grundwasser: Konstantes bis leicht rückläufiges Dargebot (- 25 %).
- b. Quellen mit kleinem Einzugsgebiet ( $Q_{\text{Mittel}} < 15 \text{ L/s}$ ): 50 % von bisherigem  $Q_{\text{Min}}$ .
- c. Quellen mit größerem Einzugsgebiet ( $> 15 \text{ L/s}$ ): 75 % von bisherigem  $Q_{\text{Min}}$ .

***In der Konsequenz sollte für alle Bereiche, in denen bislang ausschließlich Quellwasser zur Verfügung steht, die Absicherung der Versorgung durch ein „zweites Standbein“ (Brunnen, Wasserbezug) geprüft werden.***

# 1 Einleitung

Im vorliegenden Projekt sollte am Beispiel des Landkreises Schwarzwald-Baar ein modellhaftes Strukturkonzept entwickelt werden, um in vulnerablen Mittelgebirgsregionen Maßnahmen zur Sicherstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgung auch unter klimatisch geänderten Bedingungen ableiten zu können.

Hierzu wurden für alle 20 Kommunen die historisch gewachsenen Einrichtungen der Wasserversorgung sowie Dargebots- bzw. Bedarfszahlen erfasst, bewertet und künftige Entwicklungen analysiert. Dabei fanden auch Aspekte des Katastrophenschutzes sowie klimatisch induzierte Veränderungen der Rohwasserbeschaffenheit Berücksichtigung. Auf dieser Grundlage wurden Konzepte mit Vorschlägen für technische und nicht-technische Maßnahmen ausgearbeitet. Ziel war es dabei auch, entsprechend § 50 des Wasserhaushaltsgesetzes weiterhin vorrangig ortsnahe Wasservorkommen für die Trinkwasserversorgung nutzen zu können.

Das für den Landkreis Schwarzwald-Baar entwickelte Strukturkonzept wurde im Rahmen des Projektes auf drei Kommunen im Landkreis Tuttlingen transferiert, um die Übertragbarkeit der Herangehensweise zu überprüfen.

Mit der erarbeiteten Methodik sollen einerseits den Trägern der öffentlichen Wasserversorgung Entscheidungsgrundlagen für klimainduzierte Anpassungen der Infrastruktur bereitgestellt werden. Andererseits kann sie auch die übergeordneten Stellen dabei unterstützen, koordinierend und steuernd sowohl bei einer mittelfristigen Weiterentwicklung der Wasserversorgungsstrukturen in Bezug auf den Klimawandel bei den Kommunen mitzuwirken, als auch im Katastrophenfall, z.B. infolge von Sturm oder Überschwemmungen einzugreifen.

## 2 Initialisierung und Arbeitsprogramm

Am Anfang des Projektes stand eine Detailabstimmung zwischen den Beteiligten des Projektes, dem Landratsamt Schwarzwald-Baar-Kreis (Amt für Wasser- und Bodenschutz), dem Landratsamt Tuttlingen (Wasserwirtschaftsamt) und dem Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe (TZW). Hierzu fand am 26.10.16 in Villingen-Schwenningen ein Treffen statt.

Die daraufhin erfolgte Information der Bürgermeister des Landkreises Schwarzwald-Baar über das Projekt durch das Landratsamt ergab durchgängig eine positive Rückmeldung. Daraufhin wurden die technisch Verantwortlichen der beteiligten Versorgungsunternehmen durch das Landratsamt am 05.12.16 nach Villingen-Schwenningen eingeladen. Dabei erfolgte eine Präsentation durch das TZW zur Vorstellung des Projektes sowie insbesondere zur Vorbereitung der Datenerhebung.

Anschließend kontaktierte das TZW die Ansprechpartner bei den Wasserversorgern entsprechend einer Liste des Landratsamtes und übermittelte einen zuvor ausgearbeiteten Fragebogen per Email. Dieser Fragebogen ist in Anlage 1 und Anlage 2 beigefügt.

Nach Sichtung und Auswertung der von Wasserversorger ausgefüllten und zurückgesandten Fragebögen wurden mit technisch verantwortlichen Mitarbeitern der Versorgungsunternehmen Besprechungstermine vereinbart. Lediglich für die beiden Kommunen Dauchingen und Tuningen ergab sich anhand der Fragebögen eine relativ einfache Versorgungsstruktur (Fernwasserbezug), so dass eine telefonische Nachfrage ausreichte.

Bei den Vor-Ort-Terminen wurden auf der Grundlage der mit dem Fragebogen übermittelten Daten im Rahmen eines 2 - 4 stündigen Gesprächs die relevanten Wasserversorgungsstrukturen diskutiert bzw. erfasst. Dabei wurden auch Fragen der Notversorgung erörtert und vorhandene Daten zu den Dargebots- und Verbrauchsmengen ermittelt. Bei der aquavilla GmbH erfolgten mehrere Vor-Ort-Termine, da diese die Trinkwasserversorgung in sieben Kommunen betreut.

### 3 Allgemeine Angaben zum Schwarzwald-Baar-Kreis

Der Landkreis Schwarzwald-Baar ist einer von 35 Landkreisen in Baden-Württemberg und umfasst 20 Gemeinden mit insgesamt 210.000 Einwohnern (vgl. Bild 18). Bei einer Fläche von 1025 km<sup>2</sup> ist die Bevölkerungsdichte somit deutlich geringer als der Landesmittelwert (294 Einwohnern pro km<sup>2</sup>). Die nachfolgenden Angaben beruhen auf einer Beschreibung der Region von der Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg (GWDB 2018).

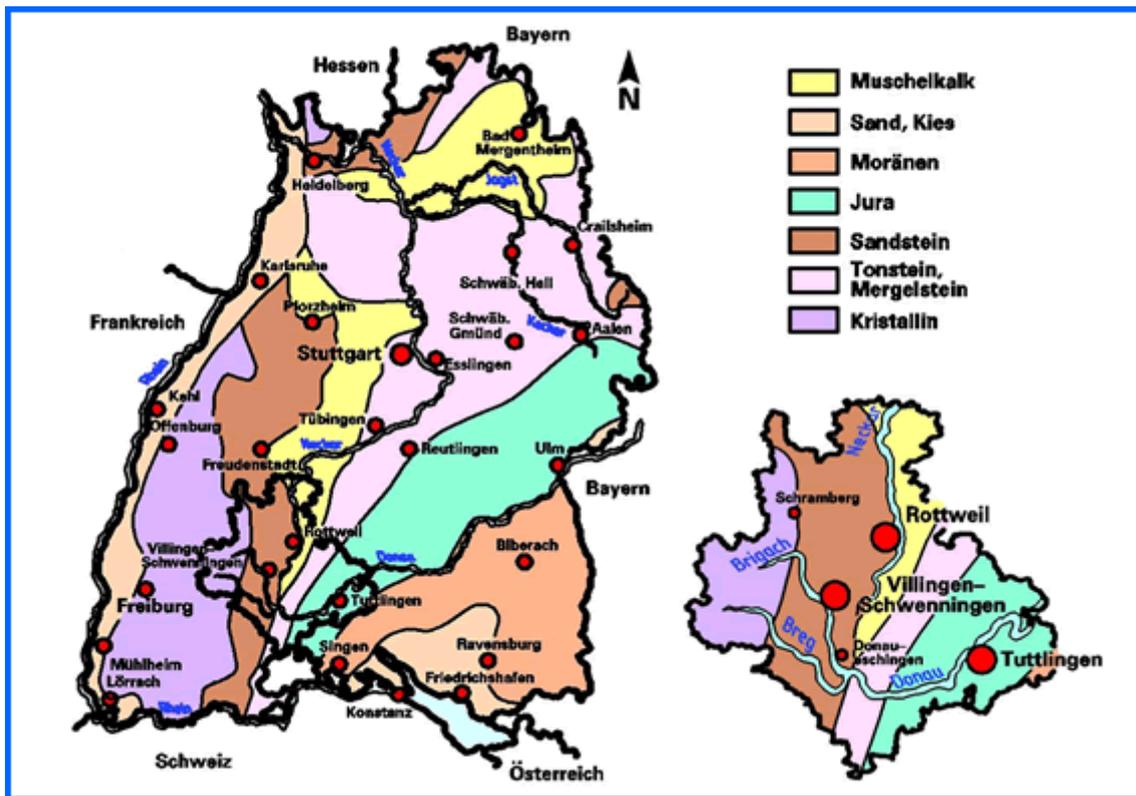
#### Landschaft

Kerngebiet der Region ist die Baar, eine Hochebene auf etwa 700 mNN zwischen den beiden großen Mittelgebirgen des Landes, dem Schwarzwald im Westen und der Schwäbischen Alb im Osten. Im Süden wird sie durch einen Höhenrücken zwischen Hüfingen und Blumberg begrenzt. Auch nördlich von Schwenningen steigt das Gelände an. Dies macht die Baar zu einer großen Mulde aus der der Neckar nach Norden und die Donau nach Osten hinausfließen.

Im Norden geht die Baar über in das Heckengäu einem sanft gewellten Landstrich, zwischen Schwarzwald und Alb. Im Westen reicht die Region bis auf die Höhen des mittleren Schwarzwaldes, der bei Furtwangen eine Höhe von 1.150 m NN aufweist. Dort entspringen die beiden Quellflüsse der Donau, Brigach und Breg. Ganz im Nord-Westen, bei Triberg und Schonach, wo die Flüsse zum Rhein fließen, haben sich enge und tiefe Täler gebildet.

#### Geologie und Hydrogeologie

Im Westen, d. h. im Schwarzwald in der Umgebung von Furtwangen und Triberg, besteht das Gebirge aus Gneis und Granit. Auf diesem Grundgebirge liegt der Buntsandstein auf (vgl. Bild 1). Da die Schichten in der Region mit etwa 1 - 2° nach Osten bis Südosten einfallen, schließt sich der Buntsandstein an der Oberfläche im Osten an. Als zweite Triasformation steht weiter östlich der Muschelkalk an. Darüber bildet der Keuper mit seinen verschiedenen meist weicheren Schichten (Tone, Merkel) das flachere Land der Baar und des Heckengäus.



**Bild 1: Geologische Karte der Region**

Das kristalline Grundgebirge mit Gneis und Granit ist weitgehend wasserundurchlässig. Lediglich an Klüften und Verwerfungen kann sich hier Wasser sammeln und Quellen mit relativ geringer Schüttung bilden. Der Buntsandstein ist zwar durch seinen Aufbau porös, aber so dicht gelagert, dass auch hier nur Quellen mäßiger Schüttung auftreten. Im Buntsandstein existieren jedoch auch einige Trinkwasserbrunnen mit größerer Ergiebigkeit (z. B. in Königsfeld und Villingen-Schwenningen, 5 - 12 L/s). Die Wässer aus diesen Gewinnungen sind wegen der hohen chemischen Beständigkeit und der geringen Wasserlöslichkeit des kristallinen Gesteins bzw. des Buntsandsteins arm an Mineralien und damit auch relativ weich (Quellwässer < 5°dH, Brunnenwässer 5 - 10 °dH).

Der Muschelkalk ist stark verkarstet und hat in der Region relativ große Einzugsgebiete. Daher treten z. T. sehr ergiebige Karst-Quellen zu Tage (> 50 L/s). Diese Wässer sind üblicherweise hart (15 - 25 °dH).

Insbesondere die Karstquellwässer aber auch die Quellwässer aus dem Schwarzwald sind von Oberflächenwasser beeinflusst und weisen somit nach Regenfällen erhöhte Trübungen und ggf. auch deutliche mikrobiologische Belastungen auf.

## 4 Trinkwasserversorgung im Schwarzwald-Baar-Kreis

### 4.1 VERSORGUNGSSTRUKTUREN IN DEN EINZELNEN KOMMUNEN

Die Ergebnisse der Datenerhebung und der Besprechungen mit technisch Verantwortlichen sind für die einzelnen Kommunen nachfolgend zusammengestellt (alphabetische Reihenfolge). Zusammen mit den Karten in Anlage 9 bis Anlage 28, die wesentliche Einrichtungen der jeweiligen Wasserversorgung (mit Lage und weiteren Kenndaten) enthalten, kann eine erste Einschätzung der Wasserversorgungen erfolgen. Die anhand der von den Versorgern bereitgestellten Informationen bzw. Kartenmaterialien ermittelten aktuellen Strukturen wurden darüber hinaus mittels GIS übertragen und dargestellt („Blauer Atlas“, vgl. Kapitel 4.6). In Kapitel 5.1 werden unter Berücksichtigung der nachfolgend erörterten Versorgungsstrukturen für die einzelnen Kommunen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel diskutiert.

*Die Detailausführungen zu den einzelnen Kommunen in Kapitel 4.1 sowie die Karten in den Anlagen 9 - 28 können mit Genehmigung der jeweiligen Kommune von den Autoren bezogen werden.*

## 4.2 WASSERBEDARFSANALYSE

Die bei den einzelnen Wasserversorgern erhobenen Daten zum aktuellen Wasserverbrauch bzw. -bedarf wurden einer eingehenden Analyse unterzogen. Dabei fanden auch Daten des Statistischen Bundes- und Landesamtes Berücksichtigung (Statistisches Bundesamt 2015, Statistische Berichte BaWü 2016). Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an das DVGW-Arbeitsblatt W410 „Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen“ (DVGW 2008). Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse.

Danach wird für die öffentliche Trinkwasserversorgung im Schwarzwald-Baar-Kreis, d. h. für rd. 210.000 Konsumenten einschließlich Industrie- und Gewerbebetriebe jährlich etwa 12 Mio. m<sup>3</sup> Wasser benötigt. Insgesamt betrachtet sind die Wasserverluste (Netz und Eigenbedarf) mit 12% vergleichsweise gering, wobei in einigen Kommunen, wie z. B. Schonach und Mönchweiler diesbezügliche Optimierungsmaßnahmen zu prüfen sind. Für das Betrachtungsgebiet ergibt sich ein relativ niedriger mittlerer Pro-Kopf-Verbrauch im häuslichen Bereich von rd. 110 L/(EW\*d)

**Tabelle 1: Wasserbedarfsanalyse im Untersuchungsgebiet**

Kommune	EW <sup>1)</sup> -	Übern. <sup>2)</sup> 1/d	Verkauf <sup>3)</sup> m <sup>3</sup> /a	Bereitst. <sup>4)</sup> m <sup>3</sup> /a	Verl. %	> 2000 m <sup>3</sup> /a m <sup>3</sup> /a	Verbrauch <sup>5)</sup> L/(EW*d)	fd <sup>6)</sup> -	Tagessp. <sup>7)</sup> m <sup>3</sup> /d	Tagessp. <sup>8)</sup> m <sup>3</sup> /d	Tagessp. <sup>9)</sup> m <sup>3</sup> /d
Bad Dürrenheim, Stadt	12.896	1.450	949.200	1.187.581	20	167.500	149	1,9	3.600	4.938	4.320
Blumberg, Stadt	9.975	84	522.481	581.280	10	132.000	106	2,0	2.400	2.792	2.880
Bräunlingen, Stadt	5.752	66	300.000	338.000	11	0	141	2,0	1.670	1.670	2.004
Brigachtal	5.013	20	247.878	285.389	13	0	135	2,1	900	1.395	1.080
Dauchingen	3.649	15	155.000	173.000	10	15.000	105	2,1	893	893	1.072
Donaueschingen, Stadt	21.746	601	1.245.807	1.347.911	8	270.000	120	1,8	4.400	6.268	5.280
Furtwangen im Schwarzw.	9.091	309	395.000	495.000	20	90.000	89	2,0	1.900	2.121	2.280
Gütenbach	1.170	15	36.000	37.437	4	4.000	74	2,3	280	226	336
Hüfingen, Stadt	7.583	88	460.000	520.000	12	31.000	153	2,0	2000	2.508	2.400
Königsfeld im Schwarzw.	5.945	414	315.600	370.000	15	52.000	114	2,0	1.200	1.745	1.440
Mönchweiler	2.965	35	130.000	184.000	29	10.000	110	2,1	600	761	720
Niedereschach	5.887	21	280.000	310.000	10	27.000	117	2,0	1000	1.557	1.200
Schonach im Schwarzw.	3.600	88	146.200	235.000	38	6.000	104	2,1	700	842	840
Schönwald im Schwarzw.	2.380	810	112.000	160.000	30	5.000	92	2,1	600	652	720
St. Georgen im Schwarzw.	12.838	125	539.000	675.000	20	90.000	95	1,9	2400	2.825	2.880
Triberg im Schwarzw.	4.500	381	217.000	255.000	15	55.000	91	2,1	800	1.224	960
Tuningen	2.936	10	140.000	165.000	15	15.000	116	2,1	600	820	720
Unterkirnach	2.534	251	110.500	130.000	15	22.000	87	2,1	450	650	540
Villingen-Schwenningen	84.674	389	4.291.835	4.636.711	7	1.240.000	98	1,7	17.500	19.530	21.000
Vöhrenbach, Stadt	3.823	50	121.000	160.000	24	17.000	74	2,1	700	695	840
<b>Gesamt</b>	<b>208.957</b>	<b>5.222</b>	<b>10.714.501</b>	<b>12.246.309</b>	<b>13</b>	<b>2.248.500</b>	<b>108</b>	<b>-</b>	<b>44.594</b>	<b>54.115</b>	<b>53.513</b>

1) Einwohner, Statistisches Bundesamt 2015 (auf Grundlage des Zensus 2011)

2) Übernachtungen, Statistische Berichte BaWü 2016

3) Angabe WVU 2015 bzw. 2016

4) aus Wasserentnahmeentgelt 2015 bzw. Bezugsmenge

5) aus Verkaufsmenge sowie EW+Gäste (Großverbr. abgezogen)

6) nach W 410 aus Einwohnerzahl (+ Übernachtungen)

7) Tagesspitzenabgabemenge, Angabe WVU (bzw. W 410)

8) nach W 410 (mit fd und jährl. Verkaufsmenge)

9) Prognose "längere Hitzeperiode" Tagesspitze + 20 %

Die nach DVGW-Arbeitsblatt W 410 aus der jährlichen Verkaufsmenge sowie der Einwohnerzahl berechneten Werte für den Tagesspitzenbedarf liegen z. T. deutlich über den tatsächlichen Betriebserfahrungen, entsprechend den Angaben der Wasserversorgungs-

unternehmen. Eine Ausnahme bildet Gütenbach, wobei dies auf einen sehr hohen Anteil eines Großabnehmers am Gesamtverbrauch zurückzuführen ist (50 %, vgl. Kapitel 4.1 Abschnitt „Gütenbach“). Für Bräunlingen und Dauchingen lagen keine Angaben zur Spitzenabgabe vor, so dass hier die nach W 410 berechneten Tagesspitzenwerte als „tatsächliche Werte“ verwendet wurden.

Um einen höheren Bedarf in künftigen Hitzeperioden abzuschätzen, wurde der tatsächliche Tagesspitzenbedarf in den einzelnen Versorgungszonen pauschal um 20 % erhöht. Dies beruht auf einer Auswertung langjähriger Daten zum Wasserverbrauch in Baden-Baden. In der Hitzeperiode in der ersten Augushälfte 2003 stieg hier der Tagesbedarf um rd. 15 % gegenüber dem langjährig mittleren Tagesspitzenwert an (LUBW 2015).

Die Ergebnisse dieser Abschätzung eines klimabedingt erhöhten Tagesspitzenbedarfs in den einzelnen Kommunen sind in der rechten Zahlenspalte von Tabelle 1 aufgelistet und werden den nachfolgenden allgemeinen Betrachtungen zugrunde gelegt. Allerdings sind die nach dieser Methodik überschlägig prognostizierten Werte für den Einzelfall immer kritisch zu überprüfen. Abhängig von der spezifischen Versorgungsstruktur kann es damit sowohl zu Unter- als auch Überschätzung des künftigen Spitzenbedarfs kommen.

#### 4.3 QUELL- UND GRUNDWASSERDARGEBOT

Von zwei Wasserversorgern im Landkreis Schwarzwald-Baar, den Gemeinden Gütenbach und Unterkirnach, wurde angegeben, dass unter Extrembedingungen Engpässe in der Wasserversorgung nicht völlig auszuschließen sind. Beide Kommunen nutzen ausschließlich Quellwasser, wobei neben niedrigen Quellschüttungen besondere Verbrauchssituationen eine wesentliche Rolle bei möglichen Versorgungsengpässen spielen. In Gütenbach befindet sich ein Großverbraucher, dessen kurzzeitig erhöhte Abnahme bei gleichzeitig geringem Dargebot zu einem Engpass führen kann. In Unterkirnach sind Engpässe für den Fall nicht auszuschließen, dass es bei sehr geringer Quellschüttung zu kurzzeitig stark erhöhtem Bedarf bspw. infolge einer Großveranstaltung kommt.

Die Befragungen ergaben weiterhin keine Hinweise auf langfristige sinkende Grundwasserstände. Von den Versorgern die Grundwasser nutzen wurde von jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserstands berichtet (1 - 2 m), wobei im langjährigen Mittel die Wasserstände in den Brunnen stabil sind.

Somit sind im Landkreis Schwarzwald-Baar keine größeren Mengendefizite zu erwarten. Um dennoch ggf. langzeitliche Veränderungen der Wasserdargebote zu ermitteln, wurden die bei der LUBW vorliegenden Daten zu Quellschüttungen und Grundwasserständen

(LUBW 2018) sowie zusätzlich entsprechende Messdaten der Wasserversorger ausgewertet.

#### 4.3.1 „SCHWARZWALDQUELLEN“

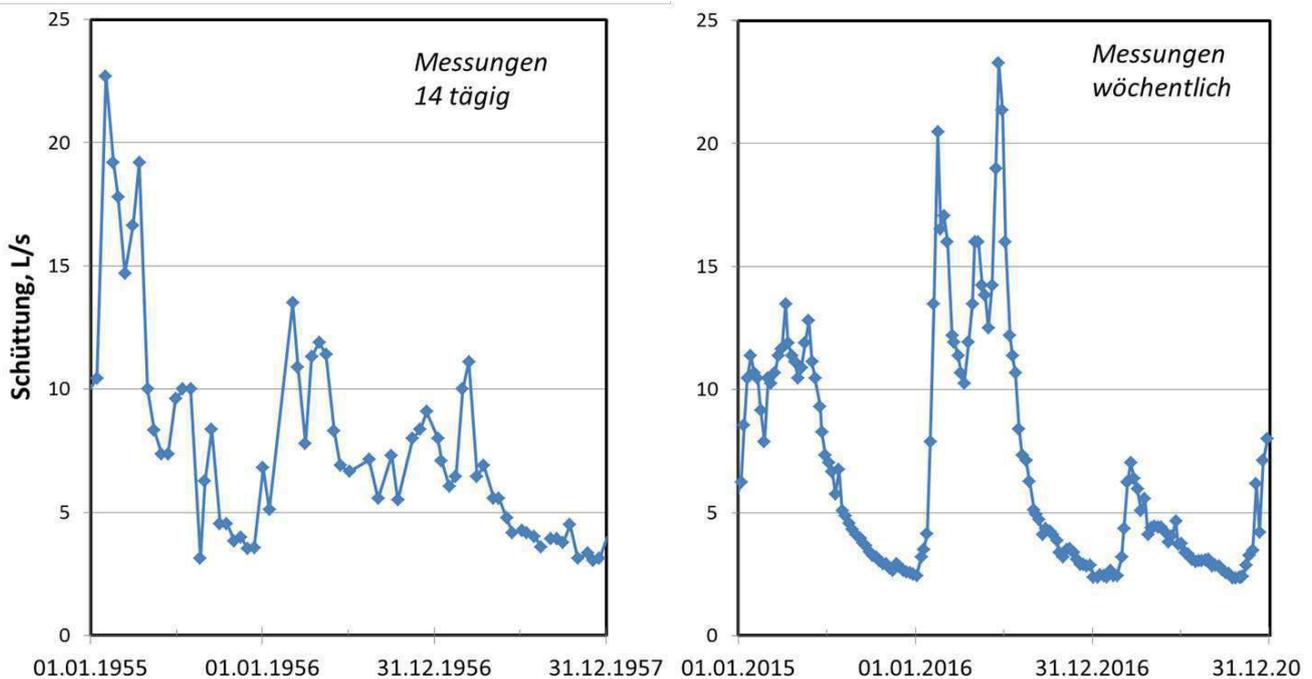
Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse dieser Auswertung, wobei die acht Quellen aufgeführt sind, für die über längere Zeiträume (> 30 Jahre) Daten vorhanden sind.

Die Quellen 1-6 entspringen im Festgestein bzw. Hangschutt des kristallinen Grundgebirges bzw. im Bundsandstein des Schwarzwaldes und die Quelle 7 aus Kalkgeröllen. Wie für derartige flachgründige Quellen typisch, zeigen sie sehr starke Schwankungen in der Schüttungsmenge. Beispielhaft sind für die Quellen 2 - 5 in Anlage 3 und Anlage 4 die zeitlichen Verläufe der Schüttungsmengen graphisch dargestellt.

**Tabelle 2: Schüttungen verschiedener Quellen im LK Schwarzwald-Baar**

Kommune	Quelle	Daten seit	Schüttung, L/s		
			Min	Max	Mittel
1 Donaueschingen	Oberholz	15.11.55	0,72	18	6,5 ↓ 5,9
2 Vill.-Schwenn.	Winterhalde 6	04.11.55	0,12	8,0	1,0 ↓ 0,9
3 St. Georgen	Harzloch	01.11.54	1,2	30	8,0 ↓ 7,0
4 Triberg	Heidenstein	01.11.56	0,71	10	2,9 ↑ 4,7
5 Furtwangen	Rothansenhof	01.11.54	0,18	12	2,1 ↓ 1,7
6 Furtwangen	Rössle	04.11.85	0,22	8,0	1,5
7 Blumberg	Kuresel	02.11.55	0,25	4,0	1,4

Bild 2 zeigt einen typischen jahreszeitlichen Verlauf der Schüttungsmenge am Beispiel der Harzlochquelle in St. Georgen.



**Bild 2: Schüttung der Quelle Harzloch in St. Georgen; links 1955-1957 und rechts 2015-2017 (gesamter Beobachtungszeitraum vgl. Anlage 3)**

Generell schütten die Quellen im ersten Quartal eines Jahres relativ stark, während im letzten Quartal, bzw. ab September/Oktober die geringsten Quellwassermengen zur Verfügung stehen.

Ermittelt man für die sieben betrachteten Quellen aus allen vorliegenden Werten der Stichtagmessungen (14 täglich bzw. wöchentlich) einen linearen Trendverlauf so ergeben sich die in der rechten Zahlenspalte von Tabelle 2 gelisteten Werte für die mittlere Schüttung. Danach haben sich die mittleren Schüttungen in den vergangenen 30 - 60 Jahren nicht bzw. lediglich geringfügig verringert (insgesamt maximal -10 %). Eine Ausnahme bildet die Heidensteinquelle in Triberg, deren Datenauswertung eine Zunahme der Quellschüttung ergab. Die genaue Betrachtung der Daten zeigt jedoch deutlich höhere Schüttungen ab 2000 nach mehreren Jahren ohne Messwertaufzeichnung. Vermutlich ist die Quelle in dieser Zeit neu gefasst worden. Seit 2000 ist ein deutlicher Rückgang der mittleren Schüttung von 5,4 auf 3,9 L/s zu verzeichnen(vgl. Anlage 4).

Die minimalen Quellschüttungen sind für die Trinkwasserversorgung besonders relevant, da sie im Spätsommer bei z. T. sehr hohem Bedarf auftreten. Wie aus den Ergebnissen der Datenauswertung in Tabelle 2 hervorgeht, liegen die minimalen Schüttungsmengen meist bei lediglich 10 - 20 % der mittleren Schüttung. Von besonderer Bedeutung ist, dass bei zwei der sieben detailliert ausgewerteten Quellen (Winterhalde und Rothansenhof), die

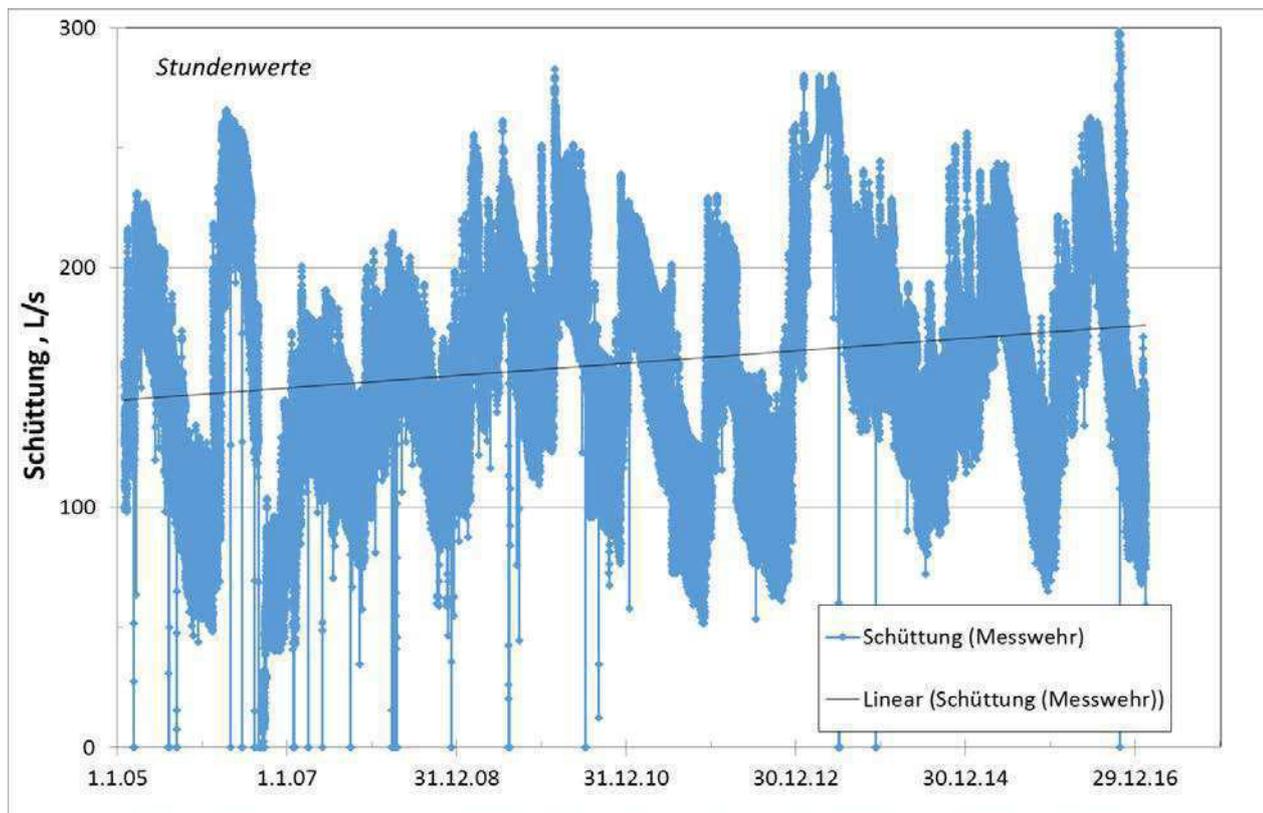
minimale Schüttungsmenge in den vergangenen Jahrzehnten wesentlich stärker zurückgegangen ist als die mittlere Schüttung (Minimum – 50 %, Mittel -10 %).

#### 4.3.2 KARSTQUELLEN

Neben den bislang erläuterten Quellen, die lediglich lokal geringmächtige Vorkommen erschließen und mittlere Schüttungen  $Q_M < 10$  L/s aufweisen, sind im Untersuchungsgebiet mit der Gutterquelle (Donaueschingen) sowie der Keckquelle (Villingen-Schwenningen, Quellaustritt im LK Rottweil) auch zwei größere Quellgewinnungen vorhanden. Dabei handelt es sich um Karstquellen mit größerem Einzugsgebiet, die mit Entnahmemengen von maximal 70 bzw. 150 L/s für die Trinkwasserversorgung genutzt werden.

Für die Keckquellen in Villingen-Schwenningen konnten die seit 2005 vorliegenden Stundenwerte der Schüttung ausgewertet werden (Bild 3). Bei der Interpretation dieser Daten ist zu berücksichtigen, dass die erfasste Schüttung durch die Entnahme zur Trinkwassergewinnung (60-120 L/s) in den Nachtstunden (täglich ca. 17 - 6 Uhr) verringert wird. Beispielsweise sind somit als tatsächliche Quellschüttung die oberen Werte der blauen Kurve in Bild 3 zugrunde zu legen.

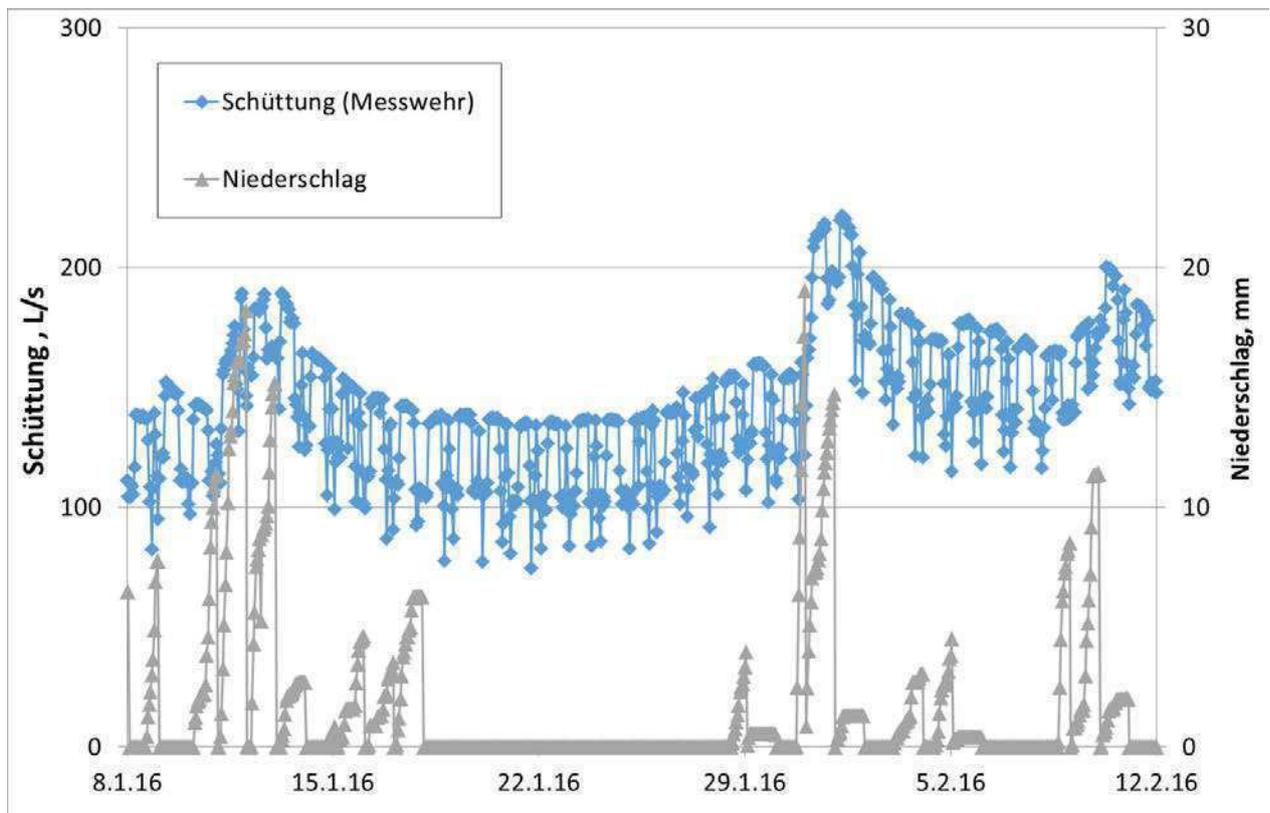
Unabhängig davon ist aus dem Kurvenverlauf ein ausgeprägter jahreszeitlicher Gang (analog den Schwarzwaldquellen) zu erkennen. Maximale Schüttungen treten meist im April/Mai auf (ca. 260 L/s) und minimale in der Regel im Spätjahr (Oktober-Dezember, ca. 120 L/s). Im Vergleich zu den Quellen im Schwarzwald liegt eine deutlich geringere Schwankungsbreite der Schüttung vor, wobei die Mindestschüttung noch bei rd. 50 % der mittleren Schüttung liegt (Schwarzwald ca. 10 %, vgl. Tabelle 2). Hervorzuheben ist, dass sich für die Keckquellen im Gegensatz zu den Schwarzwaldquellen aus den Datenaufzeichnungen ein tendenzieller Anstieg der mittleren Quellschüttung seit Beginn der Datenaufzeichnung 2005 ergibt.



**Bild 3: Schüttung der Keckquellen in Villingen-Schwenningen 2005 – 2017**

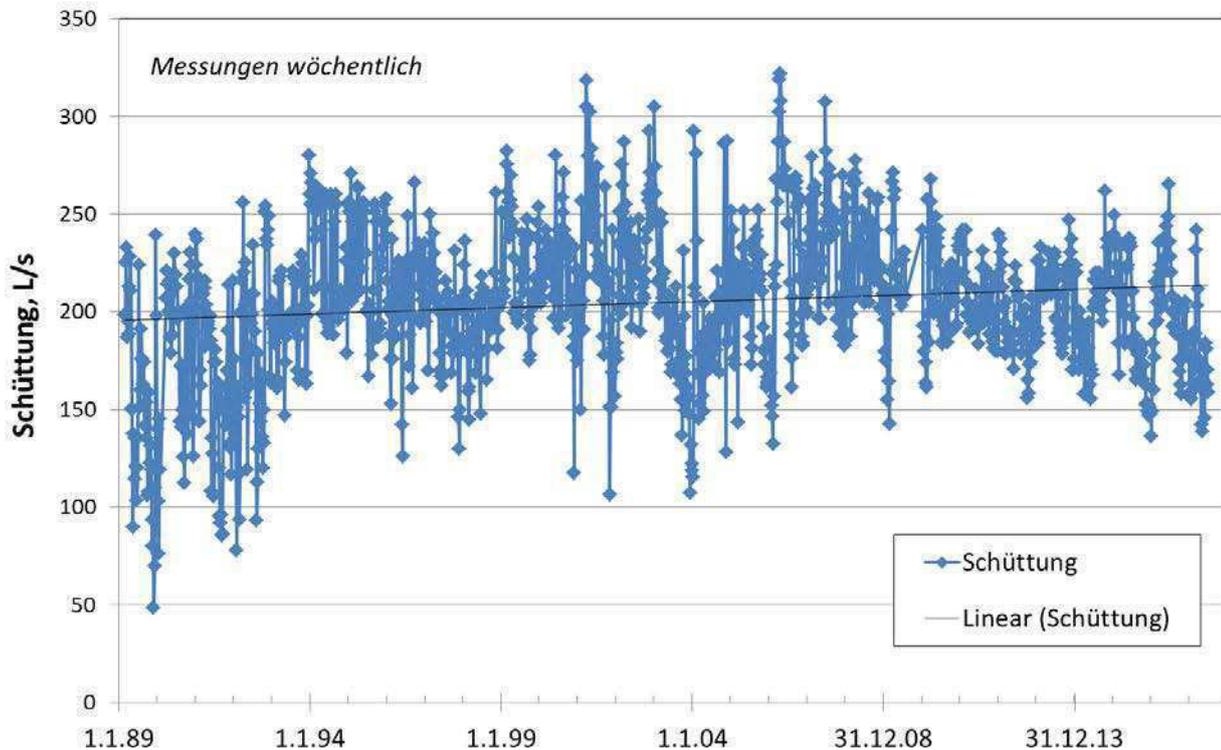
Aufgrund der hohen Datendichte (Stundenwerte) sind in Bild 3 auch sehr kurzzeitige Anstiege der Schüttung infolge von Regenfällen zu erkennen. Für eine genauere Betrachtung sind in Bild 4 die Schüttungsdaten der Keckquellen sowie Niederschlagsdaten (Messstelle Villingen-Schwenningen) für den Zeitraum 8.1 bis 12.2.2016 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Schüttung etwa 12 Stunden nach Beginn stärkerer Regenfälle signifikant ansteigt. Ebenso schnell, innerhalb weniger Stunden, ist nach Ende der Niederschläge ein Rückgang der Schüttung zu beobachten.



**Bild 4: Einfluss von Starkregen auf die Schüttung der Keckquellen**

Die zur Verfügung stehenden Schüttungsdaten der Gutterquelle sind im nachfolgenden Bild 5 dargestellt (wöchentliche Stichtagsmessungen). Danach stieg die mittlere Schüttung bis ca. 2006 tendenziell an, während seitdem leicht rückläufige Werte zu beobachten sind. Angaben zu den absoluten Schüttungsmengen sind aus diesen Daten nicht sicher ableitbar, da nicht ersichtlich ist, ob zum Zeitpunkt der Messung eine Entnahme zur Trinkwassergewinnung (max. 70 L/s) erfolgte. Unabhängig davon zeigt die Gutterquelle einen ähnlichen jahreszeitlichen Verlauf wie die Keckquelle und die Quellen im Schwarzwald, wobei insbesondere ein starker Rückgang der Schüttung im trockenen Sommer 2003 auffällt.



**Bild 5: Schüttungsdaten der Gutterquelle in Donaueschingen 1989 – 2017**

#### 4.3.3 GRUNDWASSER

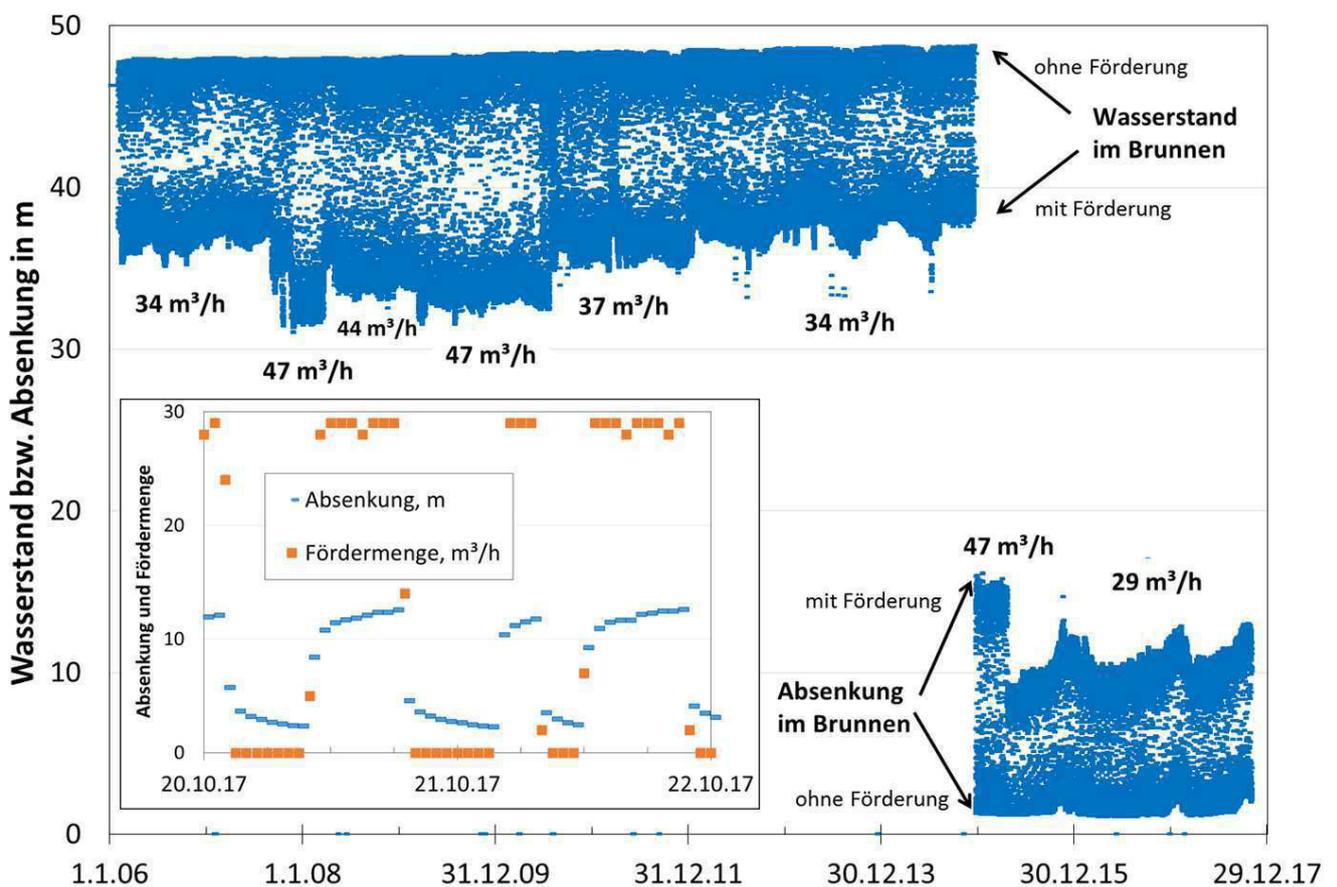
Wie oben erwähnt, haben alle Versorger im Landkreis Schwarzwald-Baar mit Grundwassernutzung angegeben, dass seit vielen Jahren stabile Wasserstände in den Brunnen vorliegen. Zur genaueren Beurteilung zeitlicher Entwicklungen wurden die bei der LUBW vorliegenden Messdaten von Grundwasserpegeln im Untersuchungsgebiet (LUBW 2018) sowie ergänzend auch Betriebsaufzeichnungen der Wasserversorger für die drei Trinkwasserbrunnen Wolfsgrube (Mönchweiler), Birkenwiese (Rietheim, Villingen-Schwenningen) und Kuhstubengarten (Blumberg) ausgewertet.

Die Graphiken in Anlage 5 und Anlage 6 zeigen für vier Grundwassermessstellen, für die seit über 30 Jahren Messergebnisse vorliegen, entsprechende Auswertungsergebnisse.

Danach ist in den vier Messstellen ein ähnlicher jahreszeitlicher Verlauf festzustellen. Dabei treten jeweils im Spätsommer/Herbst (in der Regel im September oder Oktober) minimale Grundwasserstände auf während die höchsten Stände in den Monaten Januar bis Juni zu beobachten sind und um 1 - 2 m höher liegen. Eine Ausnahme bildet die Messstelle Riedsee II in Hüfingen. Aufgrund ihrer Nähe zu einem Oberflächengewässer sind deren Schwankungen im Grundwasserspiegel relativ gering und betragen maximal 0,5 m.

Für den in Mönchweiler zur Trinkwassergewinnung genutzten Brunnen Wolfgrube konnten die ab Januar 2006 vorliegenden Aufzeichnungen zur Fördermenge und zum Wasserstand (Stundenwerte) ausgewertet werden. Dies ist besonders im Hinblick auf die Auswirkungen der täglichen Entnahme von rd. 300 m<sup>3</sup> auf den Grundwasserstand von Interesse. Wie in Kapitel 4.1 (Abschnitt Mönchweiler) ausgeführt, ist der Brunnen im rd. 50 m mächtigen Bundsandstein, der auf dem kristallinen Grundgebirge aufliegt, niedergebracht und zeigt von Beginn der Nutzung bei Förderung eine relativ hohe Absenkung.

Die Auswertung der aus den Jahren 2006 bis 2017 vorliegenden Daten zum Grundwasserstand im Brunnen Wolfgrube sowie zu den Entnahmeraten zeigt Bild 6.



**Bild 6: Wasserstand bzw. Absenkung und Förderung im Brunnen Wolfgrube**

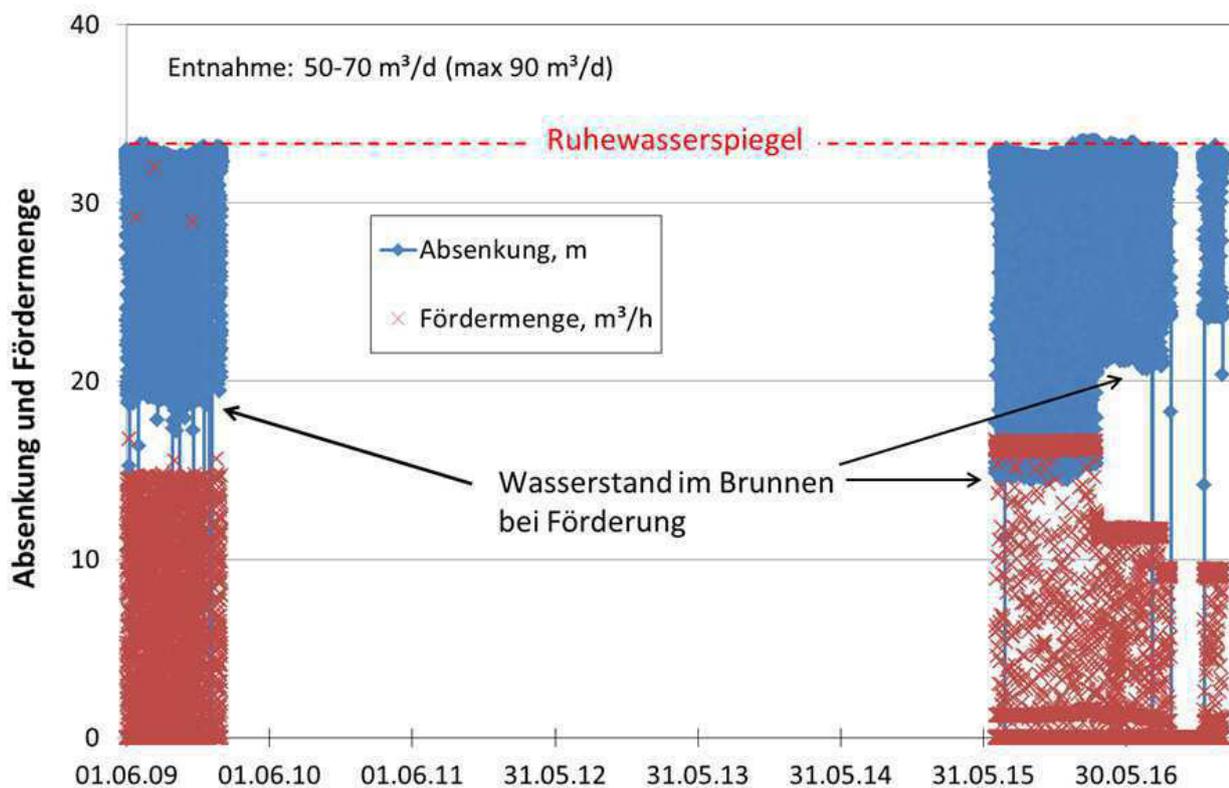
Bei der Interpretation der Graphik ist zu berücksichtigen, dass bis zum 9.12.2014 der Wasserstand im Brunnen erfasst wurde, während die nachfolgend aufgezeichneten Daten die Absenkung im Brunnen angeben. Aus der kleineren Graphik im Bild geht beispielhaft der Tagesgang der Fördermenge und der Absenkung am 20 und 21.10.2017 hervor.

Wesentliche Änderungen des Ruhewasserspiegels sowie der Absenkung im Förderbetrieb sind für den gesamten Betrachtungszeitraum nicht erkennbar. 2006 betrug die Absenkung

bei einer Förderrate von 34 m<sup>3</sup>/h ca. 11 m und 2017 bei ähnlicher Fördermenge von 29 m<sup>3</sup>/h etwa 10 m. Auch die relativ geringe Absenkung von rd. 15 m bei erhöhter Fördermenge von 47 m<sup>3</sup>/h im Jahr 2015 deutet auf ein langfristig stabiles bzw. tendenziell steigendes Grundwasserdargebot hin. Im Jahr 1993 wurden im Rahmen der Pumpversuche für ein hydrogeologisches Gutachten bei ähnlicher Fördermenge von 54 m<sup>3</sup>/h noch 23 m Absenkung ermittelt (GLA 1993).

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich ein jahreszeitlicher Gang der Absenkung mit einer, bei gleicher Fördermenge, Zunahme im Spätjahr.

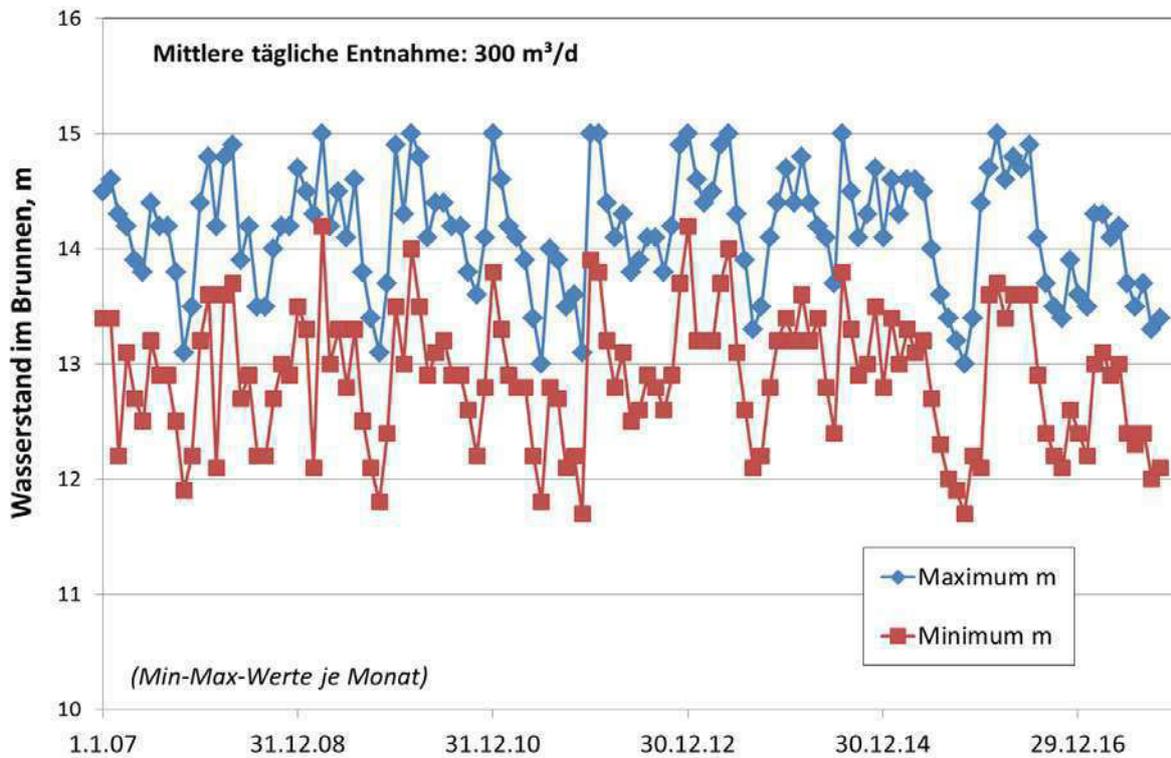
Für den Brunnen Birkenwiese der SVS in Villingen-Schwenningen liegen ab 2009 Messdaten zu Fördermenge und Grundwasserstand vor (Stundenwerte). Eine Auswertung der Daten vom Anfang und Ende des Aufzeichnungszeitraums zeigt Bild 7. Ähnlich wie beim Brunnen Wolfsgrube sind keine wesentlichen Veränderungen der Absenkung bei Förderbetrieb sowie des Ruhewasserspiegels zu erkennen.



**Bild 7: Wasserstand bzw. Absenkung und Förderung im Brunnen Birkenwiesen**

Die graphische Auswertung der von den Stadtwerken Blumberg zur Verfügung gestellten Daten zum Wasserstand im Brunnen Kuhstübengarten zeigt Bild 8. Danach sind im 10 jährigen Beobachtungsintervall jahreszeitliche Schwankungen im Grundwasserstand von

etwa 2 m zu beobachten. Die Höchststände treten im ersten Quartal eines Jahres und die niedrigsten Grundwasserstände meist im Oktober/November auf. Langfristige Veränderungen im Grundwasserstand oder in der Brunnenabsenkung sind nicht erkennbar.



**Bild 8: Wasserstand im Brunnen Kuhstübengarten Blumberg in der Zeit 2007-2017**

#### 4.3.4 FAZIT - DARGEBOT

Für die Quellen im Kristallin bzw. Buntsandstein des Schwarzwald-Baar Kreises sind keine größeren Rückgänge der mittleren Schüttungen in den vergangenen Jahrzehnten festzustellen (max. -10 % seit 1955).

Für die Trinkwasserversorgung besonders relevant sind jedoch die minimalen Quellschüttungen. Diese liegen für die meisten Quellen bei unter 10 - 20 % der mittleren Schüttung und treten im Spätsommer bei gleichzeitig z. T. sehr hohem Bedarf auf. Wie das Klimopass-Projekt „Vulnerabilitätsanalyse von Wasserversorgungsunternehmen im südlichen Schwarzwald hinsichtlich des Klimawandels“ gezeigt hat, werden die minimalen Schüttungsmengen bei derartigen Quellen ( $Q_{\min} = < 20\%$  von  $Q_{\text{Mittel}}$ ) künftig deutlich zurückgehen. Abhängig vom für die Berechnungen verwendeten Klimamodell wurden Rückgänge

der minimalen Schüttung auf 80 % (WETTREG2006, „moderat“) bzw. auf bis zu 50 % (WETTREG2010, „worst case“) der bisherigen Werte prognostiziert (LUBW 2015).

Auch die Schüttungen der beiden großen Karstquellen im Untersuchungsgebiet zeigen einen ausgeprägten jahreszeitlicher Gang mit maximalen Schüttungen meist im April/Mai und minimale in der Regel im Oktober-Dezember. Im Vergleich zu den Quellen im Schwarzwald liegt jedoch eine deutlich geringere Schwankungsbreite vor und die Mindestschüttung liegt noch bei rd. 50 % der mittleren Schüttung. Hervorzuheben ist, dass sich für beide Karstquellen aus den Datenaufzeichnungen ein tendenzieller Anstieg der mittleren Quellschüttung um 10 - 20% seit 2005 ergibt.

Im oben erwähnten Klimopass-Projekt wurden für Quellen mit relativ konstanter Schüttung ( $Q_{\min} > 20\%$  von  $Q_{\text{Mittel}}$ ) im worst case Szenario abgeschätzt, dass die Mindestschüttung auf maximal 75 % der heutigen Werte zurückgeht (LUBW 2015).

Aus den langjährigen Daten zu den Wasserständen in Grundwassermessstellen sowie den Betriebserfahrungen bzw. Datenaufzeichnungen der Trinkwasserbrunnen resultieren keine Hinweise auf ein sinkendes Grundwasserdargebot im Schwarzwald-Baar-Kreis. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Betrachtungsgebiet relativ niederschlagsreich ist. Im Rahmen von KLIWA wurden überregionale Langzeitbetrachtungen zur Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag (GwN) für die Periode 1951-2015 durchgeführt (KLIWA, 2017). Dabei zeigte sich, dass über größere Regionen hinweg die GwN während einer Trockendekade deutlich geringer ist als im vieljährigen Mittel 1951-2010, was in Bereichen mit gering bzw. teilweise gering ergebnigen Grundwasserleitern für die Zukunft entsprechend zu berücksichtigen ist. (LUBW 2017).

#### 4.4 VULNERABILITÄTSBETRACHTUNGEN IN AUSGEWÄHLTEN QUELLGEWINNUNGEN

##### 4.4.1 HEIDENSTEINQUELLEN

Die Heidenstein-Quellen befinden sich in bewaldetem Gebiet (siehe Bild 9) südöstlich von Triberg und haben ein gemeinsames Wasserschutzgebiet mit einer Größe von ca. 7 Hektar. Sie entspringen dem Hangschutt einer verkieselten Gangbrekzie. Die darunterliegenden paläozoischen Magmatite sind massige, geklüftete Grundwassergeringleiter, deren Grundwasserführung auf Kluft- und Störungszonen beschränkt ist (GLA 1976). Aus den darüber liegenden sandigen Fließerden und Schuttdecken haben sich - teilweise podsollierte - Braunerden entwickelt. In steileren Lagen liegen geringmächtige Regosole und Ranker vor. Die Filter- und Pufferkapazität der Böden wird als sehr gering eingeschätzt

(LGRB 1998). Stellenweise sind die moosige Vegetationsdecke und die Rohhumusüberdeckung verletzt, so dass Einträge unmittelbar in den sandigen, skelettreichen Untergrund erfolgen können.

Die starken Schwankungen der Quellschüttung zeigen die unmittelbare Abhängigkeit der Quellen von den Niederschlägen (GLA 1976).

Das Quellwasservorkommen weist insgesamt eine hohe intrinsische Vulnerabilität (systembedingte Verschmutzungsempfindlichkeit) auf. Die meist gut durchlässigen, geringmächtigen Deckschichten in den Hanglagen und der Grundwasserleiter selbst verfügen nur über ein geringes Retentionsvermögen und bieten einen sehr geringen Schutz des Quellwassers vor möglichen Schadstoffeinträgen oder mikrobiologischen Kontaminationen (GLA 1976).

Das Einzugsgebiet der Quellen ist relativ klein, aber nicht genau zu umgrenzen, da im Störungsbereich auch Kluftwasser zufließen kann. Es ist deshalb gut möglich, dass Einträge von außerhalb des ausgewiesenen Wasserschutzgebiets stattfinden. Im Rahmen der Erstellung des hydrogeologischen Gutachtens zur WSG-Ausweisung wurden häufig bakteriologische Befunde festgestellt (GLA 1976).



**Bild 9: Quellfassung einer der Heidensteinquellen**

#### 4.4.2 TANNWALDQUELLE

Die Tannwaldquellen (siehe Bild 10) liegen südöstlich von Königsfeld im Schwarzwald auf dem Gebiet der Gemeinde Mönchsweiler. Sie haben mit weiteren Quellen der Gemeinde Königsfeld (Rotwaldquellen) ein gemeinsames Wasserschutzgebiet, das 1985 rechtskräftig ausgewiesen wurde und 106 Hektar umfasst. Im Jahr 2008 erstellte das LGRB ein weiteres Gutachten, da in den Quellen Trübungen festgestellt wurden, die möglicherweise mit Bauarbeiten außerhalb des WSG in Verbindung stehen könnten. Es wurde daraufhin eine Erweiterung des Wasserschutzgebietes auf 145 Hektar empfohlen (LGRB 2008). Die Erweiterung wurde bisher nicht umgesetzt.

Die Tannwaldquellen erschließen Grundwasser im Grenzbereich zwischen Mittlerem und Oberem Buntsandstein. Sie liegen unmittelbar westlich einer Störungszone. Es wird vermutet, dass parallel dazu bei den Quellaustritten weitere Störungen verlaufen (LGRB 2008).

Der Buntsandstein ist ein Kluffgrundwasserleiter mit relativ hohen Fließgeschwindigkeiten. Die Grundwasserfließgeschwindigkeiten im Buntsandstein des Mittleren Schwarzwaldes betragen nach Markierungsversuchen bei Schramberg-Sulgen, Aichhalden und Hardt etwa einige Meter bis Zehnermeter pro Stunde. Aus dem darüber liegenden Sandsteinschutt haben sich Podsole und Braunerde-Podsole gebildet. Ihre Filter- und Pufferkapazität ist sehr gering (LGRB 1998). Die geringe Mächtigkeit der Böden lässt sich an Hand des Wurzeltellers in Bild 11 erkennen.



**Bild 10: Quellschacht der Tannwaldquelle 1**



**Bild 11: Wurzelteller in der Nähe der Fassung der Tannwaldquelle 1**

In den Jahren 2000 bis 2005 wurden die Rotwald- und Tannwald-Quellen mehrfach mikrobiologisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Rotwald-Quellen 1, 2 und 3 hygienisch sehr anfällig sind. Ursache der Beanstandungen könnten Mängel des Fassungsbaues sowie – trotz der Ableitung der Straßenwässer – Wasserwegsamkeiten von der unmittelbar über den Quellen führenden Straße zu den Quellen sein. Dagegen wurden die Tannwald-Quellen 1 und 2 nur bei einer von sechs Untersuchungen beanstandet (LGRB 2008).

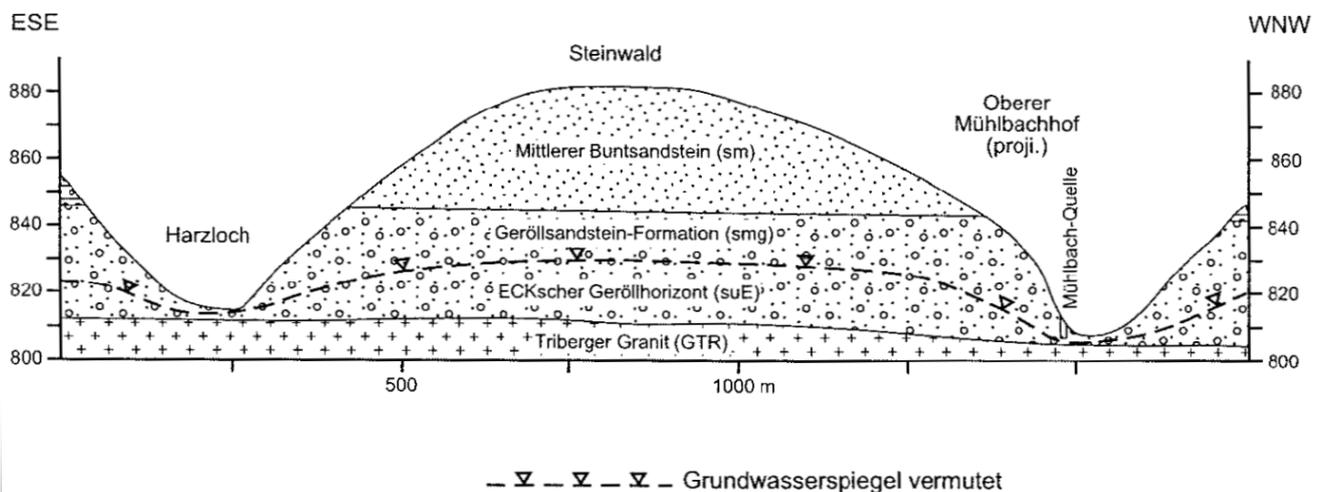
#### 4.4.3 *MÜHLBACHQUELLE*

Die Mühlbach-Quelle in St. Georgen ist in einem 21 m langen Stollen am rechten Steilhang des Mühlbachtals etwa 6 bis 15 m unter Gelände gefasst (siehe Bild 12). Sie entspringt vermutlich im Eckschen Geröllhorizont des Unteren Buntsandsteins nur wenige Meter über der Auflagerung von Buntsandstein auf dem Grundgebirge (siehe Bild 13, LGRB 2000).

Die Schüttung verläuft relativ ausgeglichen mit höheren Werten im Winterhalbjahr und geringeren im Sommer. Der Schüttungsabfall in Trockenzeiten erfolgt langsam.



**Bild 12: Fassung der Mühbachquelle**



**Bild 13: Hydrogeologischer Schnitt Einzugsgebiet der Mühbach-Quelle (5-fach überhöht). Quelle: LGRB, 2000.**

Zur Ermittlung des Einzugsgebietes sowie der Abstandsgeschwindigkeiten wurden vom LGRB zwei Markierungsversuche durchgeführt. Diese zeigten, dass die Quelle auch aus nördlichen / nordwestlichen Richtungen angeströmt wird. Die festgestellte mittlere Fließgeschwindigkeit lag bei ca. 6 m/d (LGRB 2000).

Bereits im Jahr 1926 wurden zwei Salzungsversuche in unmittelbarer Umgebung der Mühlbach-Quelle durchgeführt. Diese ergaben maximale Fließgeschwindigkeiten von 4.2 m/h. Dies entspricht ca. 100 m/Tag (GLA 1977).

Wegen der guten Durchlässigkeiten und hohen Fließgeschwindigkeiten im Hangschutt oder im klüftigen Sandstein sind Kluftquellwässer im Buntsandstein häufig hygienisch anfällig.

Als besonders kritisch stuft das LGRB (2000) den Böschungs- und Hangfußbereich zwischen Quellstollen und Oberem Mühlbachhof ein. In diesem Bereich liegt auch der Untere Mühlbachhof (siehe Bild 14), sowie die Straße zum Oberen Mühlbachhof und einige landwirtschaftlich genutzte Flächen.



**Bild 14: Zugang zur Fassung der Mühlbach-Quelle. Im Hintergrund: Unterer Mühlbachhof.**

Die mikrobiologische Beschaffenheit des Quellwassers wurde im Rahmen der Erstellung eines Gutachtens durch das LGRB mehrfach untersucht und lediglich in 8 von 101 Fällen beanstandet.

Insgesamt sind die Quellen somit als mittel bis hoch vulnerabel einzustufen.

#### 4.5 KLIMAINDUZIERTE VERSCHLECHTERUNGEN DER ROHWASSERQUALITÄT

Im Rahmen des Projekts sollten auch bei den Kommunen vorliegende Messwerte zur Rohwasserbeschaffenheit, insbesondere hinsichtlich Trübung und Mikrobiologie erfasst und bewertet werden. Bei den im vorangegangenen Kapitel erläuterten hydrogeologischen Randbedingungen (erhöhte Vulnerabilität) waren in den oberflächennahen Quellfassungen niederschlagsbedingt zeitweise sowohl erhöhte Trübungen als auch bakteriologische Belastungen zu erwarten. Da infolge des Klimawandels künftig häufiger mit extremen Wetterbedingungen (z. B. sommerliche Starkregen) zu rechnen ist, wird sich diese Problematik verschärfen. Ziel der nachfolgenden Betrachtungen war es somit, die Auswirkungen klimainduzierter Verschlechterungen der Rohwasserqualität abzuschätzen und mögliche Konsequenzen bspw. hinsichtlich technischer Maßnahmen zur Aufbereitung abzuleiten.

Die meisten Versorger konnten keine Daten mit der für eine Bewertung erforderlichen zeitlichen Dichte zur Verfügung stellen. Lediglich bei den Stadtwerken Villingen-Schwenningen GmbH sowie bei der aquavilla GmbH lagen auswertbare Aufzeichnungen vor. Ergänzend wurden deshalb in der Zeit 16.1.2018 bis 12.4.2018 an den vier Quellen Rothansenhof (Furtwangen), Tannwald (Königsfeld), Heidenstein (Triberg) und Mühlbach (St. Georgen) Trübungsmessgeräte installiert und in Abständen von 10 Minuten die Trübung gemessen und aufgezeichnet. Zu zwei Zeitpunkten fanden an den vier genannten Wässern sowie auch an dem Wasser der Harzlochquelle (St. Georgen) auch bakteriologische Untersuchungen statt.

##### 4.5.1 *MIKROBIOLOGIE*

Von der aquavilla GmbH wurden Ergebnisse eines bakteriologischen Messprogramms an den drei Fassungen Gemeindewaldquelle, Gemeindequelle und Ottebrunnen in Königsfeld zur Verfügung gestellt. In der Zeit 9.12.2008 bis 23.9.2017 wurden diese drei Rohwässer insgesamt 215 mal auf Coliforme Bakterien sowie E. coli analysiert, wobei dies im Fall der Gemeindequelle auch quantitativ erfolgte. Bei der Bewertung der Befunde ist zu berücksichtigen, dass die drei Rohwässer für das intensive Messprogramm ausgewählt wurden, da sie nach den langjährigen Erfahrungen eine vergleichsweise schlechte bakteriologische Beschaffenheit haben.

Bei allen drei Rohwässern ergaben sich bei rd. einem Drittel der Messungen (29 - 40%) Positivbefunde für Coliforme Bakterien. E. coli war bei 6 % (Ottebrunnen) bis 15 % (Gemeindewaldquelle) der Untersuchungen nachweisbar.

Nach den Angaben für die Bakterienanzahl im Wasser der Gemeindequelle betragen die Coliformengehalte meist < 10 pro 100 mL, erreichten jedoch in einigen Fällen auch höhere, zweistellige Werte. Für E. coli wurden in der Regel Konzentrationen von 1 - 3 /100 mL ermittelt. Zu einem Zeitpunkt am 26.1.2009 weisen die Analysedaten stark erhöhte Bakterienghalte von > 201/100 mL sowohl für Coliforme als auch für E. coli aus.

Von den Stadtwerken Villingen-Schwenningen lagen Befunde eines Messprogramms aus der Zeit 1.10.2001 bis 29.04.2002 vor. Dabei erfolgten an fünf Quellwässern sowie vier Brunnenwässern zu insgesamt 9 Zeitpunkten Analysen u. a. auf Coliforme und E. coli.

Drei der Wässer (Br. Birkenwiese, Br. „Oberer Brühl“ und Sommerhaldenquelle) waren zu allen Zeitpunkten bakteriologisch einwandfrei. Bei den übrigen sechs Wässern wurden bei 1 – 3 der 13 Untersuchungen (11 – 33 %) sowohl Coliforme als auch E. coli festgestellt

Die Ergebnisse der zu zwei Zeitpunkten an fünf Quellwässern vom TZW durchgeführten bakteriologischen Analysen sind in Tabelle 3 enthalten. Danach waren die Quellwässer bei beiden Messreihen frei von E. coli. Coliforme Bakterien wurden einmalig bzw. im Fall der Quelle Rothansenhof zweimalig festgestellt.

**Tabelle 3: Bakteriologische Befunde des TZW**

Quelle	Coliforme pro 100 mL		E. coli pro 100 mL	
	16.1.2018	27.2.2018	16.1.2018	27.2.2018
Heidenstein	4	< 1	< 1	< 1
Tannwald	4	< 1	< 1	< 1
Rothansenhof	53	2	< 1	< 1
Mühlbach	1	< 1	< 1	< 1

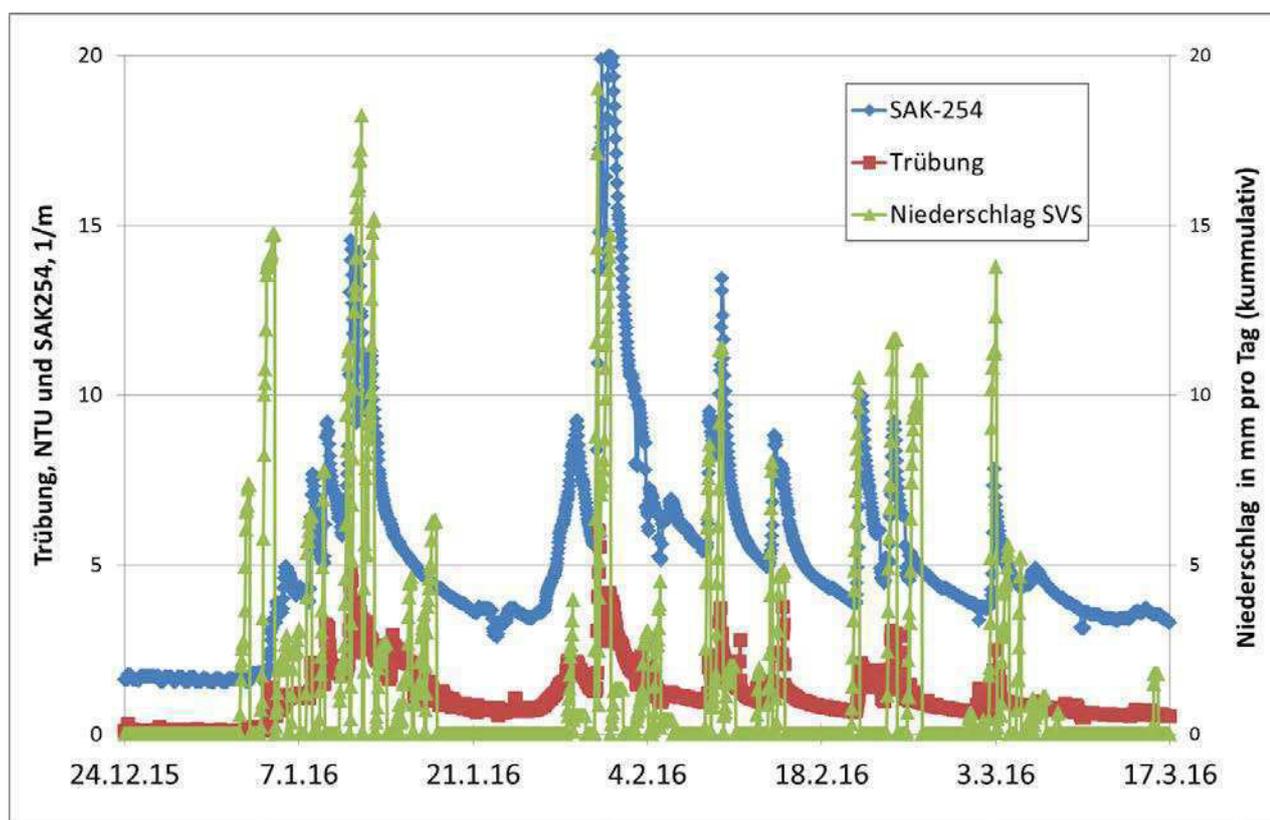
#### 4.5.2 TRÜBUNG

Von der aquilla GmbH wurden graphische Darstellungen der Betriebsaufzeichnungen vom Hochbehälter Mozartweg in Königfeld aus der Zeit 15.11.2017 bis 15.01.2018 zur Verfügung gestellt, da in der Zeit 5-10.1.2018 ein leicht erhöhter Trübungswert von bis zu 1,5 FNU auftrat. Die Analyse der Aufzeichnungen ergab, dass die Trübung dann erhöht war, wenn der Brunnen Kosewäldchen nicht förderte. Demnach wurden die Trübstoffe mit

dem kontinuierlich zufließenden Wasser der Tannwaldquelle eingetragen. Aufgrund dieses Befundes wurde diese Quelle in das TZW-Messprogramm aufgenommen.

Die von den Stadtwerke Villingen-Schwenningen in digitaler Form bereitgestellten Daten zur Trübung sowie zum spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254 nm im Rohwasser der Wieselsbachquellen (Stundenwerte) ermöglichten eine detaillierte Analyse. Erhöhte Werte für den SAK<sub>254</sub> zeigt hohe Gehalte an natürlichen organischen Substanzen („Huminstoffe“) an und sind meist mit einer Gelbfärbung des Wassers verbunden. Sie sind insbesondere deshalb zu berücksichtigen, da es durch erhöhte Huminstoffgehalte auch zu einer Beeinträchtigung der Desinfektion mittels UV bzw. mit Mitteln auf Chlorbasis kommen kann.

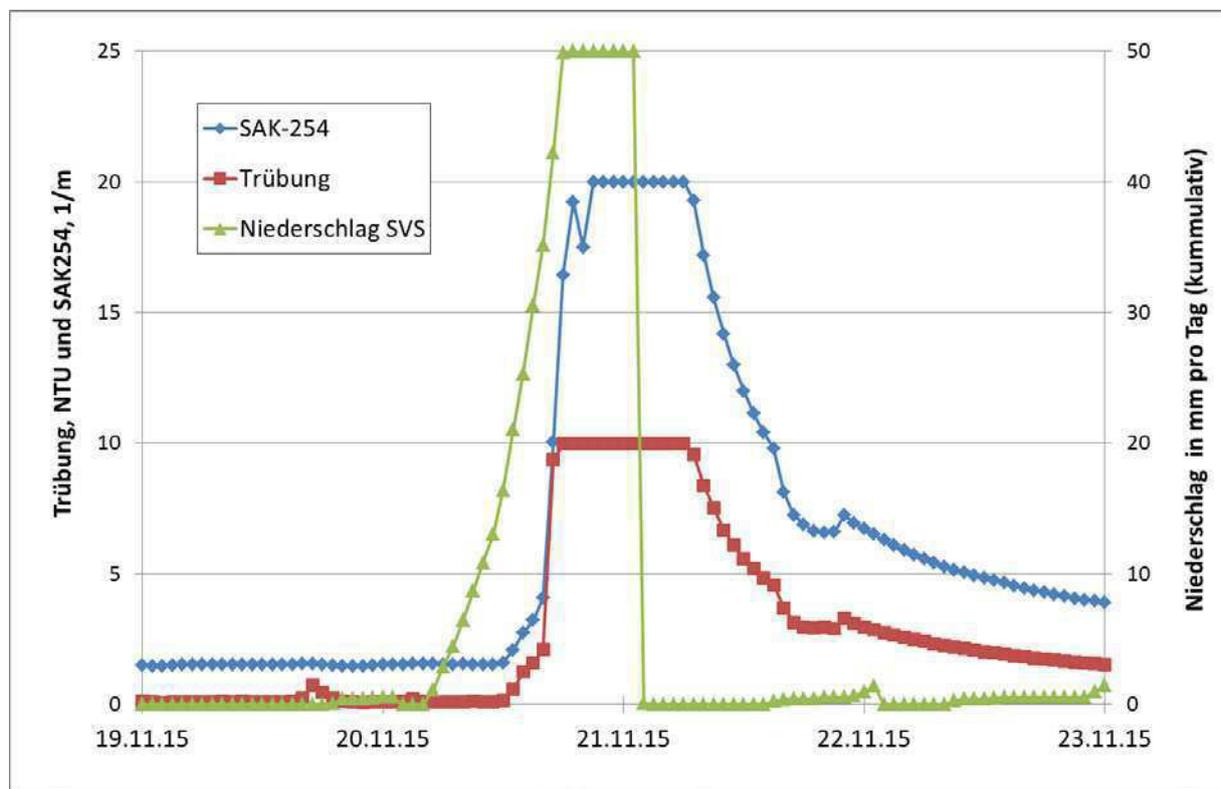
Bild 15 zeigt beispielhaft den Verlauf der Trübung und des SAK-254 in der niederschlagsreichen Zeit 24.12.15 bis 17.3.2016.



**Bild 15: Trübung und SAK-254 im Rohwasser der Wieselsbachquellen sowie Niederschlag in VS in der Zeit 24.12.15 bis 17.3.2016**

Es ist zu erkennen, dass in der Folge von Starkregen sowohl die Partikelgehalte (erfasst über den Parameter Trübung) als auch die Menge an gelösten organischen Substanzen (SAK-254) deutlich anstiegen. Dabei wurde häufig eine Trübung von 1 NTU deutlich überschritten (max. 7 NTU), wobei parallel auch erhöhte SAK-Werte auftraten (max. 20 1/m).

Am 20.11.2015 kam es zu besonders starken Regenfällen von 50 mm innerhalb von 12 Stunden. Die Auswirkungen auf die Quellwasserbeschaffenheit sind in Bild 16 zu erkennen.



**Bild 16: Trübung und SAK-254 im Rohwasser der Wieselsbachquellen sowie Niederschlag in VS in der Zeit 19.11. bis 23.11.2015**

Danach kam es am 20.11.15 um ca. 13 Uhr, d.h. etwa 8 Stunden nach Beginn der Regenfälle, zu einem schnellen Abstieg der Trübung und des SAK-Werts. Der Messbereich der Geräte wurde überschritten, wobei aus dem Kurvenverlauf Maximalwerte von 20 NTU und 25 1/m abgeschätzt werden können. In den drei darauf folgenden Tagen gingen Trübung und SAK wieder auf übliche Werte zurück.

Um u. a. zu prüfen, inwieweit die relativ starken Eintrübungen im Wasser der Wieselsbachquellen repräsentativ für Quellwässer aus dem Buntsandstein des Untersuchungsgebietes sind, wurden an vier Standorten Trübungsmessgeräte installiert. Die graphischen Auswertungen der Trübungsaufzeichnungen (Messintervall 10 Minuten) aus der Zeit 16.1. bis 12.4.2018 sind in Anlage 7 enthalten.

Die obere Graphik zeigt den Trübungsverlauf in den drei Quellwässern Rothansenhof, Tannwald und Heidenstein sowie Niederschlagsdaten von der Messstelle Triberg.

Auffällig sind periodisch auftretende kurze Trübungspeaks in den Wässern Rothansenhof und Heidenstein. Diese sind jedoch nicht repräsentativ sondern durch das An- und Abfahren der zugehörigen Aufbereitungsanlage bedingt. Demgegenüber handelt es sich bei den Trübungsanstiegen in allen drei Quellwässern auf leicht erhöhte Werte von 1 - 3 NTU in der Zeit 17 - 23.1.2018 um „reale“ Werte, als Folge starker Niederschläge. In den beiden Quellwässern Rothansenhof und Tannwald war dabei über die Dauer von rd. 24 h der Trinkwassergrenzwert von 1 NTU überschritten war. Auffallend sind deutlich Unterschiede in der Höhe und im Abklingverhalten der Trübung bei den drei genannten Quellwässern untereinander sowie auch im Vergleich zur Wieselsbachquelle in Villingen-Schwenningen (Bild 15 und Bild 16). Dies ist vermutlich sowohl auf die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse als auch auf Unterschiede in der tatsächlichen Niederschlagsmenge im Nahbereich der jeweiligen Fassungen zurückzuführen.

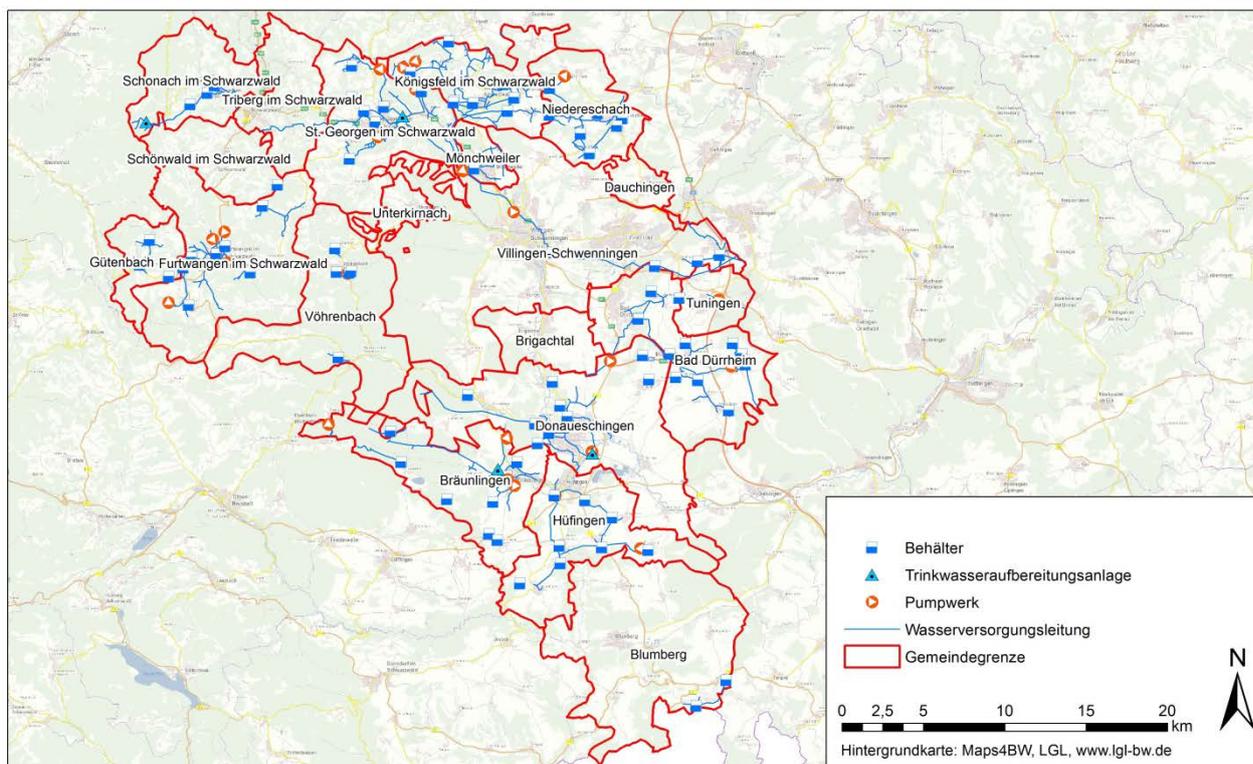
Auch bei der Mühlbachquelle in St. Georgen ergaben die Trübungsaufzeichnungen periodisch erhöhte Werte (untere Graphik von Anlage 7). Eine detaillierte Auswertung ergab, dass immer bei Anlagenstillstand (nachts) die Trübungen um 0,05-0,5 NTU höher lagen als bei regulärem Betrieb. Dies zeigt das kleine Bild in der unteren Graphik von Anlage 7 mit Trübungsdaten aus der Zeit 22-25.1.2018. Repräsentativ für die Quellwassertrübung ist somit die untere Kurve. Dementsprechend trübte dieses Quellwasser im Beobachtungszeitraum praktisch nicht ein. Selbst in der Zeit 17 - 23.1.2018 mit starken Niederschlägen stieg die Trübung lediglich auf maximal 0,08 NTU an. Dies deckt sich mit den bakteriologischen Befunden dieser Quelle, die mit 8 % Positivbefunden relativ gering belastet ist (vgl. Kapitel 4.3.7).

#### 4.6 DIGITALE ERFASSUNG DER WASSERVERSORGUNGSSTRUKTUREN

Im Rahmen des Projekts waren auch die Wasserversorgungsstrukturen in den 20 Gemeinden des Landkreises Schwarzwald-Baar digital zu erfassen. Dabei handelt es sich v.a. um Wasseraufbereitungsanlagen, Hochbehälter, Versorgungsleitungen und Pumpwerke, sowie Quelfassungen und Trinkwasserbrunnen.

Als Grundlage für die Erfassung der Versorgungsstruktur dienten von der LUBW digital in Form von Shapefiles zur Verfügung gestellte Daten. Diese beruhen auf dem Atlas der Wasserwirtschaft ("Blauer Atlas", Landesanstalt für Umweltschutz: Kartenwerk Wasser- und Abfallwirtschaft), d.h. im Wesentlichen auf Daten aus dem Jahr 1999. In Einzelfällen fand im Jahr 2005 eine Aktualisierung statt. Bild 17 zeigt das Projektgebiet mit den Bauwerken und Leitungen zur Wasserversorgung aus diesen Shapefiles.

Die übergebenen Daten waren so aufzubereiten, dass diese kompatibel für eine Aufnahme in das Kartenwerk Wasser- und Abfallwirtschaft (KWA) Baden- Württemberg (Nachfolgerwerk des „Blauen Atlas“) sind.



**Bild 17: Versorgungsstruktur im Schwarzwald-Baar-Kreis (Stand 1999, z.T. 2005 aktualisiert)**

Um Informationen zur aktuellen Wasserversorgungsstruktur zu erhalten, wurde den Gemeinden bzw. Wasserversorgern zunächst ein Fragebogen zugesandt. Vorausgegangen war eine Informationsveranstaltung beim Landratsamt, bei der das Projekt vorgestellt worden war. Mit Hilfe des Fragebogens wurde die Vergleichbarkeit der bei den verschiedenen Gemeinden erhobenen Daten sichergestellt. Er umfasst Fragen zum Wasserversorgungsunternehmen sowie zu den einzelnen Quellfassungen, Brunnen und Bauwerken wie Hochbehältern, Pump- und Wasserwerken.

Um die z. T. komplexen Versorgungssysteme korrekt zu erfassen, erfolgten zusätzlich zur Datenerhebung mittels Fragebögen und telefonischer Nachfrage auch Vor-Ort-Gespräche mit den technisch Verantwortlichen sowie Ortsbegehungen. Neben den ausgefüllten Fragebögen konnten für diese Gespräche auch Schemazeichnungen der Versorgungsstruktur, die vom Landratsamt SBK/Gesundheitsamt zur Verfügung gestellt worden waren, verwendet werden. Die teilweise gemeinsam mit dem zuständigen Wassermeister angefertigt wurden. Viele Projektgemeinden übergaben bei den Besprechungen kartographische

Darstellungen der Wasserversorgungsstrukturen, z.B. Karten, die für die Genehmigungsplanung bei Baumaßnahmen erstellt wurden.

Die digitale Erfassung der Leitungen und Bauwerke erfolgte nach Vorgaben der LUBW, um eine problemlose Übernahme der aufgenommenen Daten in den Datenbestand des Landes zu ermöglichen.

Folgende Daten wurden von der LUBW als Grundlage für die Digitalisierung zur Verfügung gestellt (jeweils Stand November 2016):

- ALK-Objekte (u. a. Wasserbehälter und Wasserwerke),
- Straßen- und Wegegeometrien sowie Ortslagen aus dem Basis-DLM 1 : 25 000,
- Wasserentnahmestellen und
- Wasserschutzgebietszonen.

Die beschriebenen Tätigkeiten wurden mit der Geoinformations- (GIS-) Software ArcGIS 10.3 der Firma ESRI durchgeführt. Nach Abschluss der Arbeiten werden die Ergebnisse der digitalen Erfassung am TZW der LUBW und dem Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft als aktualisierte Shapefiles zur weiteren Verwendung übermittelt.

Insgesamt umfassen die bearbeiteten Shapefiles im Schwarzwald-Baar-Kreis rund 200 Bauwerke (Hochbehälter, Pumpwerke, Trinkwasseraufbereitungsanlagen) und 660 km Wasserversorgungsleitungen, von denen ein Teil neu erfasst, ein Teil überprüft und bei Bedarf aktualisiert wurde.

#### *4.6.1 ERFASSUNG DER BAUWERKE ZUR WASSERVERSORGUNG*

Für die Aufnahme von Bauwerken stehen in der Struktur des von der LUBW erhaltenen Shapefiles folgende Funktionsattribute zur Auswahl:

- Behälter,
- Wasserwerk,
- Leitungspumpwerk und
- Behälter mit Pumpwerk.

Die Lage noch nicht erfasster Bauwerke wurde nach den Vorgaben der LUBW aus den Unterlagen übertragen und mit Hilfe der Fangfunktion im GIS (snapping) punktgenau auf ein vorhandenes ATKIS-Basis-DLM-Symbol oder ALK-Gebäude gesetzt. Wenn weder im Basis-DLM noch in den ALK-Daten ein Bauwerk vorhanden war, wurde das Symbol auf Basis der kartographischen Grundlage, z. T. mit Hilfe des Luftbildes, gesetzt.

Zu Hochbehältern sowie auch zu Wasserwerken (Trinkwasseraufbereitungsanlagen), die in der Regel einen größeren Reinwasserbehälter beinhalten - wurden Volumen und Wasserspiegel angegeben. Diese Informationen stammen in den meisten Fällen aus den Fragebögen oder den Gesprächen mit den Wasserversorgungsunternehmen bzw. Gemeinden. Darüber hinaus wurden 14 Wasserwerke, 46 Behälter, sowie 18 Leitungspumpwerke und 6 Behälter mit Pumpwerk neu erfasst. Für viele bereits erfassten Behälter und Wasserwerke konnten Wasserspiegel und/oder Volumen ergänzt werden. Häufig wurden auch Namen der Bauwerke ergänzt. Für Hochbehälter, in denen Anlagen zur Wasseraufbereitung integriert sind, wurde der Bauwerkstyp von Behälter zu Wasserwerk geändert. Bei allen Bauwerken wurden die Angaben zum Betreiber aktualisiert, da bisher keine oder veraltete Angaben vorhanden waren.

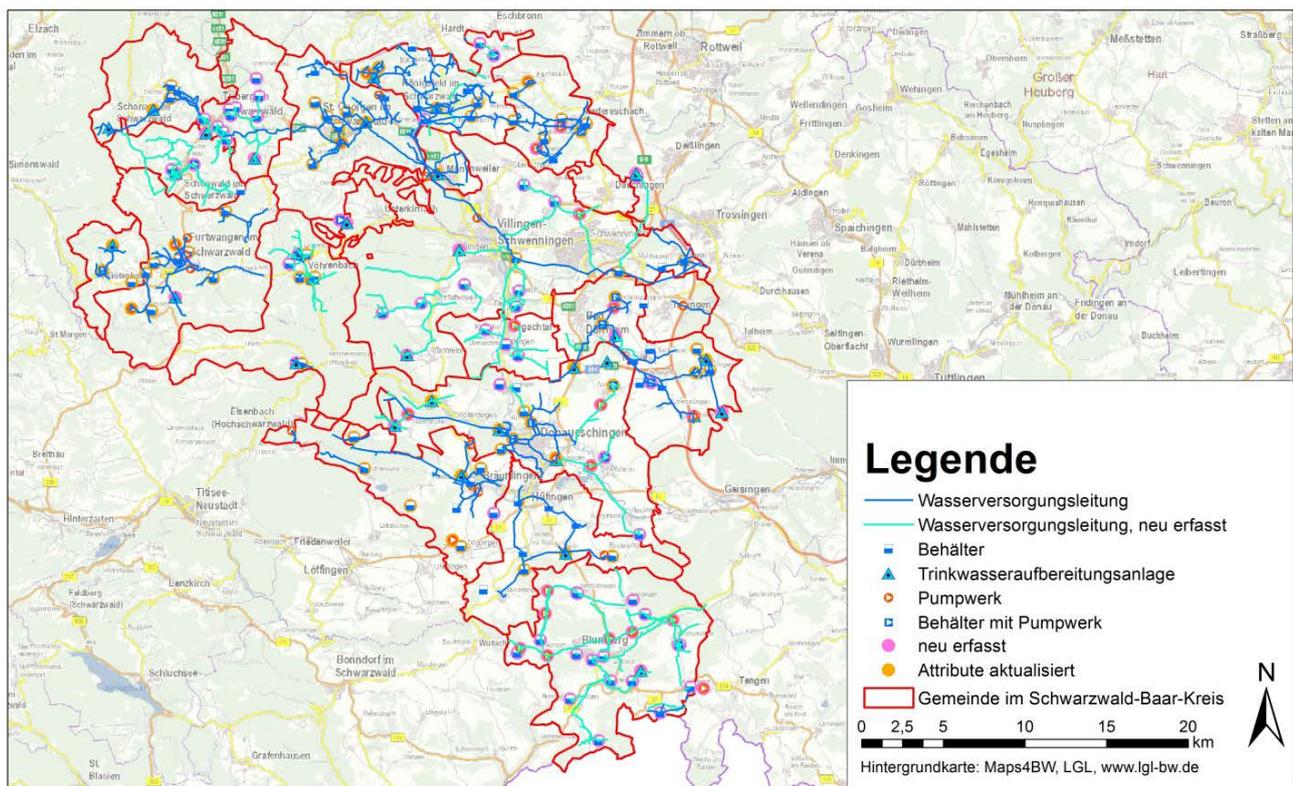
Die Änderungen wurden in dem von der LUBW erhaltenen Shapefile festgehalten, wobei geänderten Datensätzen jeweils ein aktuelles Änderungsdatum zugewiesen wurde. Die Struktur der Daten wurde nicht verändert, so dass eine problemlose Übernahme in den Gesamtdatenbestand möglich ist. Zusätzlich wird der LUBW zum Abschluss des Projekts eine Tabelle mit den aktualisierten Informationen übergeben.

Tabelle 4 zeigt exemplarisch eine Aufstellung der Wasserversorgungs-Bauwerke in der Gemeinde Donaueschingen. Über die Objekt-ID können alle Datensätze eindeutig den GIS-Objekten zugeordnet werden. Neu hinzugefügten Bauwerken wurden fünfstellige Objekt-IDs zugewiesen, um so eine Unterscheidung zu den bereits früher erfassten Bauwerken zu ermöglichen, deren Objekt-IDs drei- bis vierstellig sind. In Anlage 8 ist eine vollständige Liste aller im Projektgebiet erfassten Bauwerke zur Wasserversorgung enthalten.

#### **Tabelle 4: Informationen zu den Bauwerken der Gemeinde Donaueschingen**

*Tabelle 7 und die Informationen in Anlage 8 können mit Genehmigung der Stadt Donaueschingen von den Autoren bezogen werden.*

Bild 18 zeigt eine Übersicht über die bereits digital vorhandenen sowie die neu erfassten Bauwerke. Dabei ist durch Umrandung gekennzeichnet, bei welchen bereits erfassten Bauwerken mindestens ein Attribut verändert wurde. Im Vergleich mit Bild 17 wird deutlich, dass viele vormals als Behälter geführte Bauwerke jetzt als Wasserwerk (mit Speicherbehälter) dargestellt sind. In diesen Gebäuden sind Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung wie z.B. Entsäureungsfilter und/oder eine UV-Anlage vorhanden. In den Karten in Anlage 9 bis Anlage 28 sind die Bauwerke detailliert für die einzelnen Gemeinden dargestellt.



**Bild 18: Wasserversorgungsanlagen im Projektgebiet**

#### 4.6.2 ERFASSUNG DES LEITUNGSNETZES

Die Aktualisierung des Leitungsbestandes erfolgte durch Einscannen bzw. Fotografieren und Georeferenzieren vorhandener Pläne und anschließendes Abdigitalisieren der Leitungen.

Entsprechend den LUBW-Vorgaben wurden die Versorgungsleitungen auf den Achsen des DLM erfasst. Leitungen, die einem Straßenverlauf folgen, werden demnach entweder auf den Straßenachsen oder versetzt daneben digitalisiert (GIS-Funktion Tracing). Da in keinem Fall bekannt war, auf welcher Seite der Straße Leitungen liegen, wurden die Leitungen grundsätzlich auf den Straßenachsen digitalisiert. Die Digitalisierung erfolgte in der Regel gemäß den LUBW-Vorgaben in Fließrichtung von der Entnahmestelle weg (Quelle, bzw. Brunnen). In einigen Fällen war eine eindeutige Fließrichtung jedoch nicht feststellbar. Dies ist vor allem in Verbundnetzen der Fall, wenn bedarfsabhängig Wasser zwischen den Behältern umverteilt wird.

Zusätzlich sollten zu den Leitungen Funktion sowie Durchmesser und Material angegeben werden. Diese Informationen waren in vielen Fällen jedoch nicht bekannt. Zur Charakterisierung der Funktion stehen folgende Attribute zur Auswahl:

- Wasserversorgungsleitung,
- Fernversorgung,
- Not-Versorgung,
- Reserveversorgung,
- geplant und
- unbekannt.

Für die neu hinzugefügten Leitungen wurde grundsätzlich die Funktion „Wasserversorgungsleitung“ angegeben. Zu Durchmesser und Material waren in den meisten Fällen keine Informationen verfügbar.

In einigen Fällen ging aus Angaben der Wasserversorgungsunternehmen hervor, dass bestimmte Bauwerke zur Wasserversorgung miteinander verbunden sind (z. B. Rohwasserzuführleitungen zu einem Wasserwerk/Hochbehälter). Die Lage der Leitungen war jedoch nicht genau bekannt. Diese Leitungen wurden für den projektinternen Gebrauch als gerade Verbindung der betroffenen Bauwerke mit dem Vermerk „Leitung mit ungenauer Lage“ in einem eigenen Shapefile festgehalten. Dieses Shapefile wird nicht an die LUBW übermittelt.

#### 4.7 EINZELWASSERVERSORGUNGEN IM SCHWARZWALD-BAAR-KREIS

Vom Landratsamt des Schwarzwald-Baar-Kreises wurden die Adressen der Eigenwasserversorgungen mit und ohne Abgabe an Dritte im Landkreis übermittelt mit der Bitte, diese in Shapefiles zu übertragen. Insgesamt handelte es sich um 385 Adressen von Eigenwasserversorgern mit Abgabe an Dritte sowie 1294 Adressen von Eigenwasserversorgungen ohne Abgabe an Dritte.

Die Daten wurden zunächst in Excel-Tabellen überführt und anonymisiert, indem die Namen durch IDs ersetzt wurden. Anschließend wurden sie mit Hilfe eines Online-Instruments zur Geocodierung von Adresslisten, das die Geocoding API von GoogleMaps nutzt (<https://de.batchgeo.com/>) geocodiert. Da die maximale Datensatz-Anzahl überschritten wurde, erfolgte die Geocodierung abschnittsweise. Die als Ergebnis erhaltenen kml-Dateien wurden mit Hilfe von ArcGIS in shapefiles überführt und erneut mit den Namen verknüpft.

Zudem wurden die nicht geocodierbaren Adressen erfasst. Die Probleme wurden in der Regel dadurch verursacht, dass die betreffenden Straßennamen in der Geodatenbasis von GoogleMaps nicht bekannt waren oder entweder in der Datenbasis oder im zu geocodierenden Datensatz keine Hausnummer vorhanden war.

Rund 90 % der übergebenen Adressen konnten geocodiert und dem Landratsamt als Shapefile übermittelt werden.

Die Eigenversorger nutzen in den meisten Fällen Quellwasser. Damit stellt sich, analog zu den für die öffentliche Versorgung genutzten Quellwässern (vgl. Kapitel 5.2), die Frage nach dem Erfordernis weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen. Bei den Einzelversorgern mit Abgabe an Dritte ist in vielen Fällen auch eine Behandlung mittels UV oder UF erforderlich. Die Entscheidung ist Anhand der lokalen Randbedingungen zu treffen (z. B. Einzugsgebiet, Eintrübungen). Sofern die erforderliche Kontrolle/Wartung einer UF-Anlage gegeben ist, kann ggf. auf eine zusätzliche Desinfektion verzichtet werden.

# 5 Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

## 5.1 BEWERTUNG UND ERHÖHUNG DER RESILIENZ

Eine Gefährdung der Wasserversorgung infolge des Klimawandels kann einerseits durch Wassermangel bei zu geringer Quellschüttung in Trockenperioden resultieren. Andererseits müssen auch Liefereinschränkungen durch extreme Wetterereignisse verbunden mit Überschwemmungen oder Sturmschäden (Stromausfall) berücksichtigt werden.

Im Untersuchungsgebiet ist dies an mehreren Stellen bereits der Fall gewesen. Beispielsweise kam es in der Gemeinde Niedereschach als Folge des Sturms Lothar 2003 zu einem 36 stündigen Stromausfall. Die Versorgung konnte durch Aufhebung einer Zonentrennung mit Hilfe des Speichervolumens der Hochbehälter knapp gewährleistet werden. Als weiteres Beispiel ist Donaueschingen zu nennen. Hier wurde 1990 die Gewinnung „Gutterquelle“ überschwemmt und dabei u.a. die elektrischen Anlagen zerstört. Die Verlegung von provisorischen Transportleitungen zu benachbarten Versorgern konnte einen Teilausfall der öffentlichen Versorgung nicht verhindern.

Auf der Grundlage der Bestandsaufnahme (Kapitel 4) werden die einzelnen Kommunen nachfolgend hinsichtlich möglicher Gefährdungen der Wasserversorgung analysiert und Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz diskutiert.

### Bad Dürkheim

Die Stadt Bad Dürkheim verfügt über die zwei ergiebigen Brunnen Entenfang, die nicht hochwassergefährdet sind und auch langfristig ausreichend Wasser liefern sollten. Für einen längeren Ausfall der Stromversorgung ist im Wasserwerk Schabelwiesen ein Notstromaggregat mit 120 kVA installiert. Vier mobile Zapfwellengeneratoren (20-50 kVA) sollen noch angeschafft werden, um bei Stromausfall auch die kleineren Pumpwerke weiterbetreiben zu können.

Der Bereich Ostbaar wird überwiegend mit Quellwasser versorgt, wobei in Zeiten geringer Schüttung und hohem Verbrauch Wasser aus dem HB Kapfwald (Gewinnung Entenfang/Schabelwiesen) zugespeist werden kann. Aus den in Kapitel 4.1 genannten Kenndaten kann für die Ostbaar der maximale Tagesbedarf zu etwa 900 m<sup>3</sup> und die bislang zur Verfügung stehende minimale Quellwassermenge zu 300 m<sup>3</sup> pro Tag abgeschätzt werden. Geht man für eine worst case Betrachtung künftig in Trockenzeiten von 50 % weniger Quellwasser und 20 % höherem Spitzenbedarf aus, so ergibt sich eine erforderliche Zuspeisemenge aus dem HB Kapfwald in den HB Hirschhalde von rd. 900 m<sup>3</sup>. Dies über-

steigt die derzeitige Förderkapazität (ca. 500 m<sup>3</sup>/d), so dass Möglichkeiten zur deren Erhöhung geprüft werden sollten.

Die vorhandene Aufbereitungstechnik (O3/MSF/Cl<sub>2</sub>) bietet prinzipiell eine ausreichende Aufbereitungssicherheit. Gegebenenfalls erfordern sehr ungünstige und stark schwankende Rohwasserbedingungen (z. B. im Anschluss an starke Regenfälle) eine Anpassung der Betriebsweise (u. a. Flockungsmitteldosierung).

Zur weiteren Erhöhung der Versorgungssicherheit könnte prinzipiell durch Leitungsbau die Möglichkeit eines Wasserbezugs (2tes Standbein) geschaffen werden. Die Entfernung zwischen HB Kapfwald und dem HB Törnleberg (Stadtwerke Villingen-Schwenningen bzw. BWV) beträgt rd. 5 km, und zwischen dem Werk Schabelwiesen und dem HB Buchwald (Donaueschingen) bzw. den Brunnen der Gemeinde Brigachtal wären rd. 2 km Leitung zu verlegen.

### Blumberg

Ähnlich wie in Bad Dürkheim stehen auch in Blumberg ergiebige Brunnen zur Verfügung. Sie sind hochwassersicher im Aitrachtal gelegen und die langjährigen Betriebserfahrungen geben keine Hinweise auf einen Rückgang des Grundwasserstands (vgl. Kapitel 4.3.3). Ein mobiles Notstromaggregat mit 90 kVA vorhanden. Damit kann einerseits die Löschwasserpumpe für den Bereich Randen betrieben werden. Andererseits ist das Aggregat auch für die Pumpen der Brunnen im Aitrachtal kompatibel. Für die Mehrzahl der Kunden in Blumberg ist die Wasserversorgung somit gut abgesichert.

Für den Bereich Zollhaus (rd. 100 EW), der ausschließlich mit Wasser der Kureselquelle versorgt wird ( $Q_{\min}$  bisher 0,25 L/s), ergibt eine worst case Betrachtung ( $Q_{\min}$  0,13 L/s) ein mögliches Defizit. Dies gilt möglicherweise auch für den Bereich Randen (rd. 200 EW). Daten zur Abschätzung der künftigen Schüttung der in Randen genutzten Quelle Kummernried waren nicht verfügbar. Möglichkeiten zur Absicherung der beiden Versorgungen sollten geprüft werden.

Mit Ausnahme der UF/UV-Anlage in Randen (TWA Kummernried) erfolgt bisher keine weitergehende Aufbereitung. Zur Frage inwieweit dies ggf. zukünftig erforderlich ist, wird auf die Ausführungen in Kapitel 5.2 verwiesen.

Zur Erhöhung der Versorgungssicherheit in der Stadt Blumberg wäre eine zusätzliche, unabhängige Einspeisung anzustreben. Prinzipiell bestünde hierzu die Möglichkeit, einen Verbund mit dem ZV Unteres Aitrachtal herzustellen. Hierzu müsste u. a. im Aitrachtal zwischen dem Brunnen Einöd und dem Brunnen Aulfingen ein rd. 2 km langes Leitungs-

stück verlegt werden. Darüber hinaus könnte durch den Bau einer rd. 2 km langen Transportleitung entlang der B27 eine Verbindung zwischen dem ON Riedböhringen (HB Reutebuck) und dem Versorgungsnetz Hüfingen (PW Behla) hergestellt werden.

### Bräunlingen

In der Vergangenheit stand auch in trockenen, verbrauchsreichen Sommermonaten immer ausreichend Quellwasser zur Verfügung. Auch bei künftig in Trockenzeiten verringerter Schüttungsmenge und erhöhtem Bedarf werden von der Kommune keine Mengendefizite erwartet.

Für das Stadtgebiet kann in Zeiten extrem geringer Quellschüttung voraussichtlich durch erhöhte Entnahme aus dem Brunnen Ebermannstraße die Versorgung sichergestellt werden. Auch für den Bereich Unterbränd besteht die Möglichkeit, Ersatzwasser einzuspeisen sofern die lokalen Quellen nicht ausreichend schütten. Demgegenüber ist die Versorgung der Ortsteile Mistelbrunn, Waldhausen und Döggingen allein auf das lokal zur Verfügung stehende Quellwasser angewiesen. Eine Analyse im Hinblick auf etwaige künftige Mengendefizite war im vorliegenden Projekt aufgrund fehlender Angaben zu den Quellschüttungsmengen nicht möglich. Entsprechende Risikoanalysen sollte von der Kommune noch durchgeführt werden (Rückgang der Quellschüttungen auf 50 % der bisherigen Mindestschüttung, kurzzeitig erhöhte Entnahme aus dem Brunnen Ebermannstraße).

Für längere Stromausfälle wird ein Notstromaggregat vorgehalten mit dem die UF-Anlage im HB Triberg sowie die DEA's in Waldhausen und Döggingen betrieben werden können. Das Speichervolumen im HB Banzel (Hochzone Bräunlingen) reicht für 3 Tage aus.

Für das Stadtgebiet ist eine hohe Aufbereitungssicherheit auch bei sehr ungünstiger Rohwasserbeschaffenheit durch die UF im HB Triberg gegeben. Hinsichtlich weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen in den vier kleineren, in Tabelle 1 spezifizierten Versorgungsbereichen, wird auf Kapitel 5.2 verwiesen.

Mit der Nachbargemeinde Hüfingen besteht ein Notfallkonzept, um gemeinsam innerhalb von 8 - 10 Stunden eine rd. 500 m lange Verbindungsleitung zu errichten. Hierfür würden Standard-Hausanschlussrohre (PE16, DN 80, 12 m) mit insgesamt drei Schweißgeräten von Hydrant zu Hydrant verlegt werden. Damit könnten etwa 40-50 % der Einwohner der jeweils anderen Kommune versorgt werden. Eine weitere Erhöhung der Versorgungssicherheit könnte durch einen Verbund mit den Nachbarkommunen Hüfingen und/oder Donaueschingen und der Möglichkeit, in den Hochbehälter Triberg einzuspeisen, erreicht werden.

### Brigachtal

Die Standorte der drei ergiebigen Brunnen in Brigachtal sind hochwassersicher. Bei Komplettausfall der Brunnen Oberried würde das Volumen des Behälters Sallen für rd. 2 - 3 Tage zur Versorgung der angeschlossenen Verbraucher ausreichen. In dieser Zeit könnte beispielsweise eine Not-Anbindung an die Brunnenleitung der Stadtwerke Villingen-Schwenningen im Gemeindegebiet (Br. I-III Kirchdorf sowie Klengen IV, entlang der Brigach) geschaffen werden. Der Kauf eines Zapfwellen-Notstromaggregats für die Brunnenpumpen sowie das PW Bildstöckle ist bereits geplant.

Nach derzeitiger Einschätzung sind keine weitergehenden Aufbereitungsmaßnahmen für die Brunnenwässer erforderlich. Für eine genauere Beurteilung wären eine Situationsanalyse und bakteriologische Reihenuntersuchungen erforderlich.

Zur weiteren Erhöhung der Versorgungssicherheit könnte eine unabhängige Einspeisemöglichkeit, bspw. durch Bau einer ca. 1,5 km langen Leitung von den Brunnen Oberried zum WW Schabelwiesen (Bad Dürkheim) geschaffen werden.

### Dauchingen

Hinsichtlich Resilienz in der Trinkwasserversorgung ist die Gemeinde Dauchingen als Teil von Villingen-Schwenningen zu betrachten (siehe dort).

### Donaueschingen

Die Gutterquelle schüttet relativ stabil, was einerseits auf ein größeres Einzugsgebiet der Karstquelle zurückzuführen ist. Andererseits ist auch von einer Infiltration der Breg in den Karstaquifer auszugehen, wie u. a. die geringe Wasserhärte zeigt. Mengendefizite sind somit auch langfristig nicht zu erwarten. Die Anlagen befinden sich jedoch in einem von Überschwemmungen gefährdeten Gebiet. Zwar wurden umfangreiche bauliche Sicherungsmaßnahmen getroffen und die Förderung auch durch eine zusätzliche Stromleitung zur Kläranlage abgesichert. Dort befinden sich vier Blockheizkraftwerke (3x Gas, 1 x Diesel), die bei Ausfall der Netzversorgung Strom (150 kVA) liefern können. Dennoch ist ein zweites Standbein anzustreben (siehe unten). Für die übrigen DEA ist ein mobiles Aggregat vorhanden.

Im westlichen Versorgungsbereich wird Quellwasser aus dem Buntsandstein genutzt. Dabei ist der Ortsteil Wolterdingen durch den sehr ergiebigen Brunnen „Obere Wesen“ abgesichert. Zudem bestünde hier die Möglichkeit, unaufbereitetes Quellwasser Oberholz-Rimsen (Ortsteil Hubertushofen) einzuspeisen.

Demgegenüber ist für den Bereich Hubertushofen ein Mengendefizit nicht völlig auszuschließen. Zwar stand in der Vergangenheit immer ausreichend Quellwasser zur Verfügung, da bei Bedarf über das Pumpwerk Mühlwiese auch Quellwasser Oberholz zugeführt werden kann. Geht man jedoch im Rahmen einer worst case Betrachtung in künftigen Trockenzeiten von einer Mindestschüttung der Quellen Hubertushofen und Oberholz von in der Summe 0,7 L/s (bislang rd. 1,4 L/s) aus, so deckt dies nicht den prognostizierten Tagesspitzenbedarf in Hubertushofen von rd. 90 m<sup>3</sup> ab. Durch Installation einer Pumpe im HB Aufen-neu, mit der Wasser durch die vorhandene Falleitung in das PW Mühlwiese gefördert werden kann, könnte die Versorgung in einem solchen Fall jedoch prinzipiell relativ problemlos gewährleistet werden. Der HB Aufen-neu kann aus dem HB Schellenberg im freien Gefälle mit Trinkwasser aus dem Stadtgebiet (Gutterquelle) befüllt werden. Zu prüfen wäre, ob die bisher ausschließlich als Falleitung genutzte Leitung für den erforderlichen Druckbetrieb (bis zu ca. 4 bar) geeignet ist.

Die vorhandene Aufbereitungstechnik (u. a. O3/MSF in allen vier Werken) bietet prinzipiell eine ausreichende Aufbereitungssicherheit. Vorausgesetzt ist, dass bei sehr ungünstiger und stark schwankender Rohwasserbeschaffenheit (z. B. im Anschluss an starke Regenfälle) die Betriebsweise, insbesondere die Flockungsmitteldosierung, entsprechend angepasst wird.

Im Hinblick auf die Lage der Gutterquelle in von Hochwasser gefährdetem Gebiet, ist ein „zweites Standbein“ anzustreben, über das bei Ausfall der Gewinnung die Versorgung im Stadtgebiet sowie im östlichen Bereich abgesichert ist. Neben einer Vernetzung bspw. mit Hüfingen kommt hierfür auch der Bau eines Brunnens in Betracht. Wie im Abschnitt Hüfingen in Kapitel 4.1 ausgeführt, stehen in der Region ergiebige Grundwasservorkommen zur Verfügung. Nach Angabe der Stadtwerke wird derzeit der Bau eines Brunnens (50 L/s Entnahme) sowie einer 1,6 km Zuführleitung zur TWA Gutterquelle geplant.

### Furtwangen

Furtwangen wird überwiegend mit Quellwasser versorgt, ist jedoch durch die ergiebige Grundwassergewinnung im Katzensteigtal abgesichert. Dabei können neben dem Stadtgebiet auch alle Ortsteile ersatzweise mit aufbereitetem Grundwasser versorgt werden. Die Gewinnung Katzensteig wird künftig auch die Versorgung in den Gemeinden Schönwald und Schonach sowie voraussichtlich auch in Vöhrenbach absichern (siehe dort).

Die beiden Brunnen Katzensteig befinden sich nahe der Breg auf 876 m NN und haben Entnahmerechte von 22 L/s (Br. 1) und 15 L/s (Br. 2). Es ist davon auszugehen, dass auch in trockenen Sommern ausreichend Grundwasser zur Verfügung steht, da der Aquifer im Katzensteigtal ein relativ großes Gebiet entwässert (u. a. sechs Seitentäler) und die Breg

immer Wasser führt. Zwar besteht aufgrund der Nähe der Brunnen zur Breg (Uferfiltrat) sowie zu bebautem bzw. landwirtschaftlich genutztem Gebiet ein gewisses Potential für den Eintrag von Trübstoffen und hygienisch relevanten Mikroorganismen, im Hinblick auf die hohe Aufbereitungssicherheit durch die Ultrafiltration ist dies jedoch von untergeordneter Bedeutung. Beide Brunnen sowie auch die DEA zur Förderung nach Schonach und Schönwald sind nach Angaben der aquavilla GmbH hochwassersicher ausgebaut.

Nach Fertigstellung des HB Katharinenhöhe sowie der Zuführleitungen kann ab 2018 auch Trinkwasser in die Gemeinden Schonach und Schönwald geliefert werden. Hierzu ist im Bereich des Brunnens 1 Katzensteig eine DEA (4 x 12 m<sup>3</sup>/h, 876 mNN) vorhanden, die Trinkwasser aus dem HB Winterberg (923 mNN) bezieht und zunächst in das PW Schulhaus (2x20 m<sup>3</sup>/h, 924 mNN) fördert. Von dort wird in den HB Katharinenhöhe (1075 mNN, 100 m<sup>3</sup>) gepumpt aus dem die Einspeisung nach Schönwald (Bezugsrecht 2,5 L/s,) und über eine zweite Freispiegelleitung in den Quellsammler Korallenhäusle erfolgt (1038 mNN, Schonach, Bezugsrecht 2,5 L/s).

Für den HB Winterberg ist ein Notstromaggregat vorhanden (TWA und DEA). Die Volumina in den einzelnen Hochbehältern von Furtwangen sind zudem so bemessen, dass die zugehörigen Versorgungszonen über die Dauer von 2-3 Tagen im freien Gefälle mit Trinkwasser beliefert werden könnten.

### Gütenbach

Aufgrund geringer Quellschüttungen in den Spätsommerwochen kam es in Gütenbach in den vergangenen Jahren zu Engpässen. Diese traten insbesondere dann auf, wenn die Fa. Rena größere Mengen von bis zu 100 m<sup>3</sup>/d (d.h. rd. 50 % des Tagesspitzenbedarfs) bezog. Die bislang geringste Schüttung lag am 9.11.2016 mit 190 m<sup>3</sup>/d aus den beiden Gewinnungsgebieten Dorenhof und Gründle vor.

Als Abhilfemaßnahme soll eine Leitung sowie eine DEA errichtet werden, um dem HB Eckle auch das Wasser der sechs Quellen Lehmannsgrund zuführen zu können. Die Gesamtkosten von rd. 0,3 Mio. € sind im Verhältnis zur gewinnbaren Wassermenge relativ hoch (60 m<sup>3</sup>/d Mindestschüttung).

Hinsichtlich weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen für das Quellwasser wird auf Kapitel 5.2 verwiesen.

Nach derzeitigen Klimaprognosen und abhängig von den lokalen hydrogeologischen Verhältnissen können die Mindestquellschüttungen in Zukunft um 20 - 50 % zurückgehen

(LUBW 2015), so dass im Extremfall auch mit den Quellen Lehmannsgrund maximal 125 m<sup>3</sup>/d und damit nicht ausreichend Trinkwasser zur Verfügung steht.

Es sollten deshalb weitere Maßnahmen geprüft werden. In Betracht kommen neben einem Wasserrecycling bei der Firma Rena, auch ein Anschluss an das benachbarte Versorgungsnetz der Stadt Furtwangen. Durch Bau einer rd. 0,5 km langen Leitung könnte aus dem HB Bregenbach (1005 mNN) in den HB „Unteres Gschwend“ (938 mNN), der den westlichen Bereich „Ob der Eck“ (mit Fa. Rena) versorgt, eingespeist werden.

### Hüfingen

Mit den ergiebigen und hochwassersicheren Brunnen Schaafäcker sollte auch künftig ausreichend Wasser zur Verfügung stehen, das bei geringer Quellschüttung neben dem Stadtgebiet auch den südlichen Bereich versorgen kann. Im Fall eines längeren Stromausfalls besteht die Möglichkeit, von drei Anbietern kurzfristig Notstromaggregate auszulihen. Im Trockenjahr 2003 konnte die Versorgung mit einem Brunnen bei 24 h Förderung mit 25 L/s sichergestellt werden. Zu prüfen wären vertragliche Regelungen, die sicherstellen, dass bei einem regionalen Stromausfall tatsächlich Aggregate für die Trinkwasserförderanlagen der Stadt Hüfingen zur Verfügung stehen.

Nach derzeitiger Einschätzung sind für die Brunnenwässer Schaafäcker neben der UV-Desinfektion keine weitergehenden Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich. Für eine genauere Beurteilung, u.a. hinsichtlich eines möglichen Oberflächenwassereinflusses, wären eine Situationsanalyse und bakteriologische Reihenuntersuchungen erforderlich.

Mit Bräunlingen besteht eine Kooperation, um innerhalb eines Tages ein Notleitung zwischen den beiden Versorgungsgebieten zu verlegen (Versorgung von etwa 50 % der Einwohner, Details siehe Abschnitt Bräunlingen).

Zur Absicherung der Versorgung wäre langfristig ein Verbund zu prüfen. Es könnte bspw. eine Transportleitung mit einer Länge von 2-3 km zur TWA Gutterquelle (Donaueschingen) errichtet werden.

### Königsfeld

In Königsfeld sind vier Brunnen vorhanden, mit denen im Kernort sowie in Neuhausen/Erdmannsweiler und Weiler auch in künftigen Trockenzeiten ausreichend Trinkwasser zur Verfügung stehen sollte. Eine Überschwemmungsgefahr besteht jeweils nicht und mit Ausnahme von Weiler ist auch eine gewisse Redundanz bei Ausfall eines Brunnens gegeben, da dann auf andere Brunnen zurückgegriffen werden kann. In Weiler wurde für den

Fall einer Störung bei der Grundwasserförderung die Quelle Reutenbach entsprechend ausgerüstet („Selbstabholer“).

Inwieweit für die Quell- und Brunnenwässer weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich sind sollte durch Trübungsmessungen und bakteriologische Reihenuntersuchungen geprüft werden (vgl. Kapitel 5.2).

Der Bereich Buchenberg ist ausschließlich auf Quellwasser angewiesen. Eine detaillierte Analyse ist nicht möglich da genauere Verbrauchs- und Schüttungsdaten nicht zur Verfügung standen. Für eine erste Abschätzung wurde von einem künftigen Tagesspitzenbedarf der rd. 1000 Einwohner von 250 m<sup>3</sup> ausgegangen. Die Mindestschüttungen der Gemeinde sowie der Gemeindewaldquellen betragen nach den Angaben der wasserrechtlichen Genehmigung vom 4.12.1981 2,0 bzw. 2,7 L/s. Bei einer worst case Betrachtung mit Rückgang der Mindestschüttung auf 50 % dieser Werte sind somit Mengendefizite in Buchenberg nicht auszuschließen.

Zu prüfen wäre auch die Anschaffung von Notstromaggregaten, um bei einem längeren Stromausfall eine Wasserlieferung aus den Brunnen sicherzustellen.

#### Mönchweiler

Auch für die beiden Brunnen in Mönchweiler besteht kein erhöhtes Risiko im Hinblick auf längere Betriebsstörungen durch eine Überschwemmung. Für die Brunnenpumpen und die Aufbereitung im HB Mönchweiler ist ein Notstromaggregat vorhanden.

Die vorhandene Aufbereitungstechnik (u. a. O3/MSF) bietet prinzipiell eine ausreichende Aufbereitungssicherheit. Vorausgesetzt ist, dass bei sehr ungünstiger und stark schwankender Rohwasserbeschaffenheit (z. B. im Anschluss an starke Regenfälle) die Betriebsweise, insbesondere die Flockungsmitteldosierung, entsprechend angepasst wird.

Eine Redundanz ist gegeben, wobei unter extremen Bedingungen (geringe Schüttung der Quelle Stehlebrunnen und sehr hoher Bedarf) der Brunnen Bohl möglicherweise nicht ausreicht, um einen längeren Ausfall des Brunnens Wolfsgrube vollständig zu kompensieren.

#### Niedereschach

Die Kohlbrunnenquelle, die die Hauptmenge des Trinkwassers in Niedereschach liefert, schüttet stabil (rd. 10 L/s) und unterscheidet sich auch hinsichtlich der Härte von typischen Quellen im Schwarzwald. Somit ist von relativ geringen Rückgängen der Schüttung in künftigen Trockenperioden in der Größenordnung von maximal 20 % auszugehen (LUBW 2015).

Mit den Brunnen Schlierbach (30 m<sup>3</sup>/h) und Kappel (15 m<sup>3</sup>/h) sind weitere Einspeisemöglichkeiten vorhanden. Darüber hinaus steht mit den Quellen Längental (26°dH, 10 - 30 L/s) eine Noteinspeisung zur Verfügung, so dass auch künftig nicht mit Mengendefiziten zu rechnen ist.

Inwieweit für die Quell- und Brunnenwässer weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich sind sollte durch Trübungsmessungen und bakteriologische Reihenuntersuchungen geprüft werden (vgl. Kapitel 5.2).

In der Folge eines 36 stündigen Stromausfalls nach dem Sturm Lothar in 2003 wurden zwei Notstromaggregate angeschafft (80 kVA im PW Fischbach, 25 kVA mobil).

### Schonach

In Schonach steht ausschließlich Quellwasser zur Verfügung, wobei es seit Jahren im Sommer zu Engpässen kommt. Künftig wird die Trinkwasserversorgung durch Bezug aus Furtwangen (Details siehe dort) abgesichert. Die Einspeisung erfolgt über den HB Katharinenhöhe (Schönwald) in den Quellsammelschacht Korallenhäusle, der in das Werk Moos einspeist.

Die Mindestschüttung der lokalen Quellen wird mit 4,7 L/s angegeben und könnte unter extremen Bedingungen künftig auf 50% dieses Wertes zurückgehen. Rechnerisch reicht somit das Bezugsrecht von 2,5 L/s nicht aus um einen prognostizierten Tagesspitzenbedarf von 840 m<sup>3</sup> abzudecken. Eine Erhöhung auf bis zu 7 L/s ist zu prüfen.

Hinsichtlich weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen für das lokale Quellwasser, wird auf Kapitel 5.2 verwiesen.

Bei einem längeren Stromausfall kann eine Not-Versorgung mit dem in die Hochbehälter frei zufließenden Quellwasser erfolgen.

### Schönwald

Die Quellschüttungen reichen bereits seit Jahren nicht sicher zur Bedarfsdeckung aus, so dass zeitweise zusätzlich Bachwasser aufbereitet wurde. Ab 2018 kann auf diese Bachwassernutzung verzichtet und bei Bedarf Trinkwasser aus Furtwangen bezogen werden (Details siehe dort). Die Einspeisung erfolgt aus dem HB Winterberg über zwei PW in den neu errichteten HB Katharinenhöhe (1075 mNN, 120 m<sup>3</sup>) und von dort in die Transportleitung von der Rainerquelle in die TWA „HB Schönwald-NZ“.

Detaillierte Angaben zu den Quellschüttungen liegen nicht vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es sich um typische Hangschuttquellen handelt, deren Schüttung künftig in

manchen Spätsommern um die Hälfte niedriger liegen könnte als bislang. Zu prüfen wäre, inwieweit in diesen Fällen das Bezugsrecht von 2,5 L/s aus Furtwangen ausreicht. Ggf. ist eine Erhöhung auf z. B. 5 L/s erforderlich.

Durch die Behandlung des Quellwassers u. a. mittels UF ist eine hohe Aufbereitungssicherheit auch bei sehr ungünstiger Rohwasserbeschaffenheit gegeben.

Bei einem längeren Stromausfall kann eine Not-Versorgung mit dem in die Hochbehälter frei zufließenden Quellwasser erfolgen.

### St. Georgen

St. Georgen wird überwiegend mit aufbereitetem Quellwasser versorgt, wobei in sämtliche Bereiche zusätzlich auch BWV-Wasser eingespeist werden kann. Das in die Mittelzone zufließende BWV-Wasser kann auch in die NZ St. Georgen bzw. in die TWA Brudermoos fließen. Über die dortige Förderanlage besteht dann die Möglichkeit, BWV-Wasser in den HB Hochwald HZ und somit in die von dort versorgten Bereiche einzuspeisen. In der TWA Brudermoos ist ein Notstromaggregat vorhanden.

Zu prüfen wäre, ob die BWV-Bezugsrechte auch für den Fall ausreichen, dass sich die Mindestschüttung aller Quellen (derzeit rd. 12 L/s) künftig in extremen Trockenperioden halbiert und gleichzeitig der Tagesspitzenbedarf um rd. 20 % auf 2.900 m<sup>3</sup> ansteigt.

Hinsichtlich weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen für das Quellwasser, wird auf die Ausführungen in Kapitel 5.2 verwiesen.

### Triberg

Die Trinkwasserversorgung in Triberg beruht zum einen auf Quellwasser, zum anderen ist eine Leitung zur Einspeisung von BWV-Wasser in den zentralen Hochbehälter Prisen vorhanden. Bei Ausschöpfen des BWV-Bezugsrechts von 10 L/s sollte auch bei rückläufigen Mindestschüttungen der Quellen (künftig  $Q_{\min} = 2,0$  L/s) und erhöhtem Tagesspitzenbedarf (960 m<sup>3</sup>) die Versorgung gewährleistet sein.

Hinsichtlich weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen für das lokale Quellwasser, wird auf Kapitel 5.2 verwiesen.

### Tuningen

Die Versorgung von Tuningen erfolgt aus dem HB „Silo Weigheim“, in den sowohl Trinkwasser aus dem Werk Keckquellen (vgl. Villingen-Schwenningen) als auch Fernwasser der BWV einspeist. Somit ist eine ausreichende Versorgungssicherheit gegeben.

### Unterkirnach

In Unterkirnach wird ausschließlich Wasser aus lokalen Quellen genutzt, deren Schüttungen nach Angabe des Versorgers seit einigen Jahren leicht rückläufig sind. Quellschüttungsdaten für eine genauere Analyse standen nicht zur Verfügung. Bei extrem hohem Bedarf ist bereits heute ein Engpass nicht völlig ausgeschlossen. Im Hinblick auf in Zukunft deutlich verringerte Mindestschüttungen der Quellen sollte eine zweite Einspeisemöglichkeit geschaffen werden.

Hierfür käme prinzipiell der Bau einer ca. 3,5 km langen Leitung nach Oberkirnach (HB Sternenhöhe 960 mNN, St. Georgen) in Betracht, wobei die dort zur Verfügung stehenden Kapazitäten noch zu prüfen wären. Möglich wäre auch der Bau eines „Notbrunnens“ in der Talau der Kirnach mit Einspeisung in den HB Unterkirnach (3-5 L/s). Durch die dort vorhandene UF wäre in Kombination mit einer Desinfektion die erforderliche Aufbereitungssicherheit gewährleistet.

Bei einem längeren Stromausfall könnte eine Notversorgung mit dem im freien Gefälle in den HB zufließenden Quellwasser erfolgen (ggf. im Bypass zur UF).

### Villingen-Schwenningen

Etwa 70 % des Trinkwassers in Villingen-Schwenningen wird von der BWV bezogen. Dabei kann in nahezu alle Bereiche sowohl BWV-Wasser als auch Eigenwasser bzw. Wasser des Zweckverbandes Keckquellen eingespeist werden, so dass eine gewisse Redundanz gegeben ist.

Für einen Ausfall der BWV-Einspeisung ist eine Notversorgung, u. a. mit der Altstadtquelle ( $Q_N$  60 m<sup>3</sup>/h, NaOCl) und Brunnen in Brigachtal ( $Q_N$  60 bzw. 80 m<sup>3</sup>/h, NaOCl, Einspeisung in HB Wanne) sowie z. B. der Rohrbrunnenquelle in Obereschach vorgesehen. Eine Vollversorgung über längere Zeiträume ist damit jedoch nicht möglich.

Bei einem längeren Stromausfall könnte der überwiegende Versorgungsbereich im freien Gefälle versorgt werden, sofern der Zufluss von BWV-Wasser in den HB Türnleberg sichergestellt ist. Um das komplette Versorgungsgebiet abzusichern müssten mehrere Notstromaggregate für die zahlreichen Förderanlagen vorgehalten und ein relativ aufwändiges „Managementsystem“ eingerichtet werden.

Die im Werk Hammerhalde vorhandene Aufbereitungstechnik (u. a. O3/MSF) bietet prinzipiell eine ausreichende Aufbereitungssicherheit. Inwieweit für die übrigen Quell- und Brunnenwässer weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich sind sollte durch

Trübungsmessungen und bakteriologische Reihenuntersuchungen geprüft werden (vgl. Kapitel 5.2).

### Vöhrenbach

In Vöhrenbach steht bislang lediglich Wasser aus lokalen Quellen zur Verfügung, wobei in der Vergangenheit bereits Engpässe auftraten. Der Bau einer Transportleitung, über die von Furtwangen (HB Schönenbach) ins ON Vöhrenbach (WW/HB Burg) sowie ggf. auch nach Hagenreute und Langenbach eingespeist werden kann, ist geplant. Für die separaten Bereiche Hammereisenbach und Urach stehen nach Angabe des Versorgers ausreichende Quellwasserreserven zur Verfügung.

Für die Quellwässer sollte das Erfordernis weitergehender Aufbereitungsmaßnahmen durch Trübungsmessungen und bakteriologische Reihenuntersuchungen geprüft werden (vgl. Kapitel 5.2).

Der überwiegende Teil des Versorgungsgebietes könnte bei einem längeren Stromausfall mit im freien Gefälle in die HB zufließendem Quellwasser versorgt werden. Zur Absicherung der übrigen Bereiche ist die Anschaffung von Notstromaggregaten zu prüfen.

## 5.2 WEITERGEHENDE AUFBEREITUNGSMAßNAHMEN

Die Karstquellen im Betrachtungsgebiet weisen zeitweise eine hohe Trübung und auch mikrobiologische Belastungen auf und werden deshalb bereits seit vielen Jahren einer weitergehenden Aufbereitung bspw. mittels Flockungsfiltration zur Partikelabtrennung sowie mittels Ozon und Mitteln auf Chlorbasis zur Oxidation bzw. Desinfektion unterzogen.

Dagegen sind die Brunnenwässer sowie auch die Quellwässer aus dem Kristallin/Buntsandstein bzw. aus Kalkgeröllen in der Regel trübstofffrei und nicht bzw. lediglich sehr gering mikrobiologisch belastet. In den meisten Fällen erfolgt bislang lediglich eine Desinfektion (Brunnenwässer und Quellen aus Kalkgerölle) bzw. Entsäuerungsfiltration und Desinfektion (Quellwässer).

Wie in Kapitel 4.5 ausgeführt wurde, trüben jedoch viele der Quellwässer nach Starkregen leicht ein (1 - 3 NTU), und können dann ggf. auch signifikante mikrobiologische Belastungen aufweisen. Analoges gilt, wenn auch eingeschränkt, für einige Brunnenwässer. Bedingt durch den prognostizierten Klimawandel mit steigender Zahl an Unwettern ist damit zu rechnen, dass derart problematische Rohwasserverhältnisse künftig häufiger auftreten. Es sind deshalb weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen zu prüfen. Zu berücksichtigen sind hierbei u. a.:

- Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2018):  
Grenzwert für die Trübung von 1,0 NTU (Anlage 2-II, Nr. 18) sowie insbesondere Aufbereitungsgebot nach §5, Absatz 5.
- Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der TrinkwV 2001 (UBA 2017):  
„Bei Einsatz der Verfahren für die Desinfektion ist auf eine weitest gehende Partikelabtrennung vor der Desinfektion zu achten. Dabei sind Trübungswerte im Ablauf der partikelabtrennenden Stufe im Bereich von 0,1 - 0,2 NTU anzustreben, wenn möglich zu unterschreiten“.
- DVGW Arbeitsblatt W 290 (Entwurf), Trinkwasserdesinfektion - Einsatz- und Anforderungskriterien (DVGW 2017):  
„Eine Trübstoff- und Partikeleliminierung vor der Desinfektion mikrobiell belasteter Rohwässer ist erforderlich, wenn eine Trübung von 0,2 NTU überschritten wird, auch wenn dies nur zeitweise der Fall ist. Auf der Grundlage der Bewertung der Gesamtsituation im Einzugsgebiet kann im Einzelfall ggf. auf eine Aufbereitung verzichtet werden, wenn die in der „Empfehlung zur Vermeidung von Kontaminationen des Trinkwassers mit Parasiten“ des Umweltbundesamtes angegebenen mikrobiologischen Belastungen nicht überschritten werden“ (UBA 2001).

Wie eine Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg ergab, werden vermutlich bei über 70 % der Quellwässer die letztgenannten UBA-Empfehlungen nicht eingehalten (TZW 2003). Es ist somit davon auszugehen, dass mittel- bis langfristig bei der Mehrzahl der zur Trinkwassergewinnung genutzten Quellwässer in Baden-Württemberg weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen nachgerüstet werden müssen. Da es sich hierbei meist um kleine Anlagen mit Nennleistungen von 10 - 30 m<sup>3</sup>/h handelt, scheidet eine konventionelle Aufbereitung (bspw. Ozon und Flockungsfiltration) in der Regel aus. Stattdessen käme insbesondere eine Membranfiltration in Betracht. Im Folgenden wird der Einsatz dieser Technik im Hinblick auf die im Betrachtungsgebiet vorliegenden Randbedingungen näher erläutert.

### *5.2.1 MEMBRANANLAGEN - FUNKTIONSWEISE UND UNTERSCHIEDSMERKMALE*

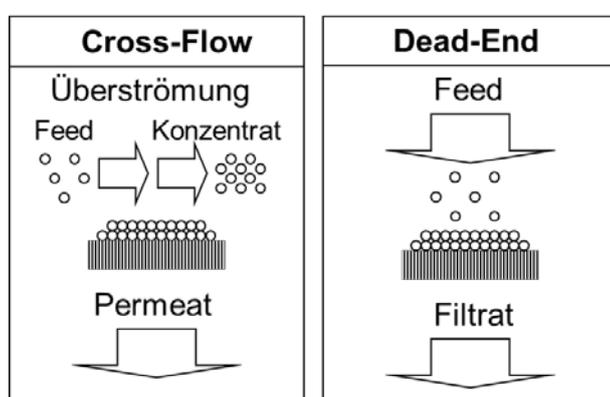
Membrananlagen werden in der Wasseraufbereitung zur Entfernung von Trübstoffen, Partikeln und Mikroorganismen zunehmend eingesetzt. Dabei wird das zu filtrierende Wasser (Feed) unter geringem Druck durch die Membranen gepresst, wobei partikuläre Wasserinhaltsstoffe, die größer sind als der Porendurchmesser der Membran ähnlich wie bei einem Sieb zurückgehalten werden. Die Membrananlagen haben den Vorteil, dass

auch bei stark schwankenden Konzentrationen im Zulauf der Anlage ein konstant hoher Rückhalt gewährleistet ist. Zudem sind Membrananlagen im Vergleich zu konventionellen Kornmassenfiltern kompakt und können dadurch relativ einfach an bestehende räumliche Verhältnisse angepasst werden.

Der Wirkungsgrad einer Membran beim Partikelrückhalt wird von der Porengröße bestimmt. Zu unterscheiden ist zwischen Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen. Mikrofiltrationsmembranen trennen Partikel bis zu einer Größe von  $0,1 \mu\text{m}$  ab. Damit sind solche Membranen in der Lage Bakterien zu entfernen, die typischerweise eine Größe von ca.  $1 \mu\text{m}$  aufweisen. Die mit etwa  $0,02 \mu\text{m}$  wesentlich kleineren Viren werden durch Ultrafiltrationsmembranen zurück gehalten. Diese Membranen weisen eine Porengröße von etwa  $0,01 \mu\text{m}$  auf. Gemäß DVGW-Arbeitsblatt W213-5 müssen durch Ultrafiltration „...Partikel im Größenbereich von  $0,02$  bis  $0,03 \mu\text{m}$  um mindestens  $99,99\%$  (4 log-Stufen) ...“ zurück gehalten werden.

Mikro- und Ultrafiltrationsmembranmodule stehen in unterschiedlichen Bauformen zur Verfügung. Im Inneren eines Moduls befinden sich Membranen mit unterschiedlich gestalteten Kapillaren. Weitere Unterscheidungsmerkmale bestehen in der Filtrationsrichtung. Diese beschreibt ob das Wasser aus den Membrankapillaren hinausgepresst (IN/OUT), oder hineingepresst (OUT/IN) wird.

In der Wasserversorgung werden die Membranmodule üblicherweise im Dead-End betrieben. Das bedeutet, dass der gesamte Feed-Volumenstrom durch die Membran gedrückt wird. Im Cross-Flow-Betrieb, der im Wesentlichen nur bei stark trübstoffhaltigen Rohwässern zum Einsatz kommt, passiert nur ein Teilstrom des Feeds die Membran. Der andere Teilstrom fließt parallel zur Membran (Bild 19), mit dem Ziel, Ablagerungen an der Membranoberfläche zu minimieren. Jedoch resultiert hieraus ein höherer Energiebedarf.



**Bild 19: Unterschied zwischen den Betriebsweisen dead-end und cross-flow**

Der Volumenstrom über die Membranfläche, angegeben als  $L/(m^2 \cdot h)$ , wird als Flux bezeichnet. In Anlagen der öffentlichen Wasserversorgung wird meist ein Flux im Bereich von 50 bis 70  $L/(m^2 \cdot h)$  eingestellt.

Partikel und Substanzen, die sich während der Filtration an der Membranwand ablagern bilden eine sogenannte Foulingschicht. Diese erhöht den Transmembrandruck, was letztendlich den Filtrationsfluss durch die Membran und damit die Trinkwasserproduktion signifikant einschränkt. Daher muss die Foulingschicht in regelmäßigen Abständen durch Spülung entfernt werden.

Wie schnell sich eine Foulingschicht bildet hängt maßgeblich von der Beschaffenheit des Rohwassers und dem Flux ab. Zur Entfernung der Foulingschicht werden verschiedene Spülvarianten benutzt. Die einfachste Form ist der *forward-flush* bei dem ein separates Ventil auf der Rohwasserseite des Membranmoduls geöffnet wird. Dadurch erhöht sich die Fließgeschwindigkeit des Feed über die Membranoberfläche und entfernt die Foulingschicht an der Membran. Hierbei wird im Vergleich zu den anderen Spülformen kein externer Spülwassertank benötigt. Allerdings ist der Reinigungsgrad mit dieser Spülmethode relativ gering.

Die geläufigste Methode ist der *back-flush* bei welchem Filtrat entgegen der Filtrationsrichtung unter Druck durch die Membran gepresst wird. Zusätzlich kann auf der Feedseite auch Luft dazugegeben werden, um eine bessere Entfernung der Foulingschicht durch Luftbläschen und die begleitende Vibration der Membran zu bewirken.

Oft wird eine Kombination der Spülarten verwendet. Beispielsweis können mit dem *forward-flush* die durch den *back-flush* von der Membran abgelösten Komponenten wegspült werden. Die Kombination von *back-flush* und Luftspülung gilt als sehr effektiv, so dass auf eine Spülung unter Zusatz von Chemikalien verzichtet werden kann. Dies erlaubt es in der Praxis oft, das sogenannte „schlammhaltige Wasser“ aus der Spülung in Fließgewässer einzuleiten. Die Luftspülung ist meist in Anlagen mit OUT/IN-Membranmodulen zu finden. Allerdings gibt es auch einige Anlagen, bei denen die Luftspülung auf IN/OUT Membranmodule angewendet wird. Die Spülungen verlaufen automatisiert und sind in ihrer Häufung und Dauer frei wählbar. Erfahrungen haben gezeigt, dass eine Intensivierung der Spülung einen größeren Effekt auf die Entfernung der Foulingschicht ausübt hat als eine Verkürzung der Spülintervalle.

Wenn der gewünschte Flux durch Spülen mit Wasser nicht wieder hergestellt werden kann, werden dem Spülwasser Chemikalien zugegeben (Chemical Enhanced Backwash, CEB). Meist sind Säuren und Basen, in einigen älteren Anlagen zusätzlich noch Chlor im

Einsatz. Sofern langfristig auch durch CEB der Flux nicht wieder hergestellt werden kann, wird eine chemische Reinigung der Membranmodule durchgeführt. Dies erfolgt in größeren Anlagen lokal (Cleaning in Place, CIP), indem eine Reinigungslösung über längere Zeit (mehrere Stunden) im Kreislauf geführt wird. In Kleinanlagen (z.B.  $< 5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) kann das Membranmodul aus der Anlage entfernt und an einem anderen Ort, beispielsweise bei einem externen Dienstleister gereinigt werden (Cleaning out of Place, COP).

### Allgemeines

Im Zusammenhang mit den Zielen der vorliegenden Studie wurde der Fokus auf Anlagen für kleinere Durchsätze (z.B.  $< 50 \text{ m}^3/\text{h}$ ) gelegt. Solche Anlagen basieren meist auf den gleichen Membranmodulen, die auch in Großanlagen mit Kapazitäten von weit mehr als  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  installiert sind. Durch Standardisierung in der Fertigung (Serienfertigung anstelle Einzelfertigung) und einem frei konfigurierbaren Ausstattungs- und Automatisierungsgrad werden bei Anlagen mit kleineren Durchsätzen Kostenvorteile realisiert.

Die Auswahl einer geeigneten Membrananlage erfolgt auf Basis verschiedener Kriterien. Dabei liegt der Fokus zunächst auf dem Flux, der auf das Foulingpotential des Feed abzustimmen ist. Prinzipiell nimmt mit ansteigender Belastung des Feed mit Foulingbildnern und mit ansteigendem Flux die Geschwindigkeit der Bildung von Foulingschichten zu. Bei der Anlagentechnik bestehen Unterschiede u.a. im Modultyp, im Automatisierungsgrad und in der Spültechnik.

Um einen Überblick über aktuelle Typen von Membrananlagen zu erhalten, wurde eine Internetrecherche durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt sind.

### Anlagen mit Wasser-Luft-Spülung

Anlagen, die als Spülmedien Wasser und Luft verwenden, setzen meist Membranmodule zur OUT-IN-Filtration ein. Verschiedene Anlagentypen erlauben aber auch den Einsatz von Membranmodulen zur IN-OUT-Filtration.

Ein Beispiel für Membranmodule zur OUT-IN-Filtration ist die Baureihe Aria LT der Firma Pall Corporation. Die Membranen bestehen aus PVDF. PVDF-Membranen weisen einerseits eine hohe Beständigkeit aber andererseits auch einen etwas höheren Betriebsdruck als PES-Membranen auf. Innerhalb der Baureihe können die Anlagen bis zu 10 Membranmodule mit einer Fläche von jeweils  $50 \text{ m}^2$  ausgewählt werden. Die Kompaktheit der Anlage mit 10 Modulen geht aus den Abmessungen von ca.  $4 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  (LxBxH) vor bei einem Betriebsgewicht von ca.  $1,8 \text{ t}$  vor (Bild 20). Ein vereinfachter Integritätstest gehört zur Ausstattung. Wird ein maximaler Flux von  $70 \text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  zugrunde gelegt, könnten

mit diesem Anlagentyp bis zu 35 m<sup>3</sup>/h Rohwasser relativ kostengünstig aufbereitet werden. Für die Anlage steht ebenfalls eine gering automatisierte CIP-Station zur Verfügung.



**Bild 20: Produktbeispiel für OUT-IN-Filtration mit Wasser-Luft-Spülung als 4-Membranmodulanlage mit CIP-Station (Bild: Pall Corporation)**

Für die IN-OUT-Filtration bietet beispielsweise die Firma Strecker Wassertechnik GmbH die Baureihe KA 1/64 bis 12/64 an. Der Filtratvolumenstrom soll bis zu 47 m<sup>3</sup>/h betragen. Die Abmessungen der gesamten Anlage sind kompakt und betragen beispielsweise für eine Anlage mit 4 Membranmodulen wie in Bild 21 dargestellt ca. 1,5 m x 2 m x 2,3 m (LxBxH). Die Anlage ist optional mit verschiedener Messtechnik ausrüstbar. Erfahrungen zeigen, dass die kombinierte Wasser-Luft-Spülung Foulingschichten ausreichend entfernt und somit eine Spülung mit Chemikalien (CEB) nicht erforderlich ist. Die Installation einer solchen Anlage in einem Wasserwerk verdeutlicht Bild 22.



**Bild 21:** Produktbeispiel für IN-OUT-Filtration mit Wasser-Luft-Spülung als 4-Membranmodul-Anlage mit CIP-Station (Bild: Strecker Wassertechnik GmbH)



Beispiel für Installation einer Ein-Modul-Anlage



Räumlichkeiten des Wasserwerks vor Installation der Ultrafiltration



nach Installation der UF-Membran

**Bild 22:** Beispiele für IN-OUT-Membranfiltrationsanlagen im Wasserwerk (Fotos: Strecker Wassertechnik GmbH)

### Anlagen mit Wasser-Spülung

Häufig sind in der Wasseraufbereitung Ultrafiltrationsanlagen zu finden, die mit Membranmodulen für die Filtrationsrichtung IN-OUT ausgestattet sind. Für kleinere Volumenströme stehen auch Anlagentypen aus der Serienfertigung zur Verfügung, die einen Kostenvorteil aufweisen können (Bild 23). Solche Anlagen können durch optionale Zusatzkomponenten an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden.



**Bild 23:** IN-OUT-Filtrationsanlage der Firma Seccua GmbH (Foto: Büntig, Y.)

Prinzipiell erscheinen solche Anlagen insbesondere für Rohwässer mit einer relativ geringen Belastung an Foulingbildnern (Trüb- und Huminstoffe), geeignet. Bei ausgeprägten Trübstoffstößen kann eine Spülung unter Zusatz von Chemikalien (CEB) oder eine chemische Reinigung der Module (CIP) erforderlich sein, um den Flux und somit den geplanten bzw. erforderlichen Filtratvolumenstrom wieder herzustellen. Für die Reinigung von Kleinanlagen bestehen verschiedene Handlungsoptionen. Neben der CIP mit einer stationären Anlage als Bestandteil der Membrananlage bieten einige Anbieter die CIP als Dienstleistung an. Dabei kümmert sich der Dienstleister neben der CIP auch um die Entsorgung des CIP-Abwassers. Andere Anbieter offerieren eine chemische Reinigung außerhalb der Anlage, wobei das zu reinigende Membranmodul ausgebaut und direkt beim Anbieter gereinigt wird (COP: Cleaning out of place).

### Vorbehandlung des Feed

Prinzipiell muss vor jeder Membrananlage eine Abtrennung größerer Partikel aus dem Feed erfolgen, welche die Membran beschädigen können. Dafür können beispielsweise automatisch spülbare Spaltfilter mit einem Trenngrad von etwa 200 µm zum Einsatz kommen.

Bei hohem Foulingpotential des Rohwassers kann die Dosierung von Flockungsmitteln in den Feed der Membrananlage erforderlich werden, um den Wasserbedarf für die Spülung der Membranen zu minimieren und die Anlage mit einer vertretbaren Ausbeute betreiben zu können. Hierbei ist auf möglichst niedrige Flockungsmittelrestkonzentrationen im Filtrat der Membran zu achten. In der Regel wird die Flockungsmitteldosierung nur bei Anlagen mit größeren Durchsätzen und mit entsprechender Infrastruktur (z.B. Dosier-, Steuer- und Überwachungstechnik) und Verfügbarkeit von ausgebildetem Betriebspersonal eingesetzt. Für die Dosierung von Pulverkohle in den Feed von Ultrafiltrationsmembranen bestehen zwar noch wenige Praxiserfahrungen. Allerdings stehen zwischenzeitlich automatisierbare technische Lösungsansätze zur Verfügung, bei denen in den Feed der Ultrafiltrationsmembran Pulverkohle dosiert wird, jedoch keine flüssigen Rückstände anfallen.

### Keramische Membranen

Fast alle in der öffentlichen Wasserversorgung installierten Membranen bestehen aus den organischen Materialien PES oder PVDF. Es gibt allerdings in jüngster Zeit vielversprechende Entwicklungen mit Membranen, die aus anorganischen Materialien, wie Aluminiumoxid oder Siliziumcarbid hergestellt werden. Diese sogenannten „Keramikmembranen“ sind weitgehend inert gegenüber mechanischen, chemischen und thermischen Belastungen. Das keramische Material verleiht den Membranen eine hydrophile Oberfläche, die einen höheren Flux im Vergleich zu Polymermembranen ermöglicht.

Besonders bei der Aufbereitung von höher belasteten Rohwässern sollten die Vorteile der keramischen Membranen im Vergleich zu den Polymermembranen deutlich werden. Geeignete Membranmodule mit ausreichender Membranfläche (z.B. > 10 m<sup>2</sup>/Modul) stehen bisher jedoch nur als Mikrofiltration mit einer Trenngrenze von ca. 0,1 µm zur Verfügung. Dadurch werden zwar Trübstoffe, Bakterien und Parasiten mit hohem Wirkungsgrad zurück gehalten. Allerdings können Viren Mikrofiltrationsmembranen passieren, so dass eine Desinfektion immer nachgeschaltet sein muss. Besonders bei Anlagen mit kleineren Volumenströmen könnten keramische Membranen auf Grund ihrer Robustheit und Langlebigkeit in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Daher gilt es die Ergebnisse künftiger Forschungsarbeiten und Modulentwicklungen aufmerksam zu beobachten.

### Hinweise zur Auswahl einer geeigneten Anlage

Zur Partikelentfernung sind zwischenzeitlich in der öffentlichen Wasserversorgung mehrere hundert Ultrafiltrationsanlagen im Einsatz. Wie bereits erwähnt, können Ultrafiltrationsanlagen auf Grund ihrer Kompaktheit und der beim Bau zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade prinzipiell einfacher in den Bestand integriert werden, als dies mit klassischen Schnellfiltern der Fall ist. Ein besonderer Vorteil der Membrananlagen besteht in deren Fähigkeit, Stoßbelastungen im Rohwasser sicher zu eliminieren. Stoßbelastungen im Rohwasser werden beispielsweise durch Starkniederschläge nach Trockenperioden initiiert. Im Zuge des Klimawandels ist verstärkt mit solchen Wetterereignissen zu rechnen.

Bei der Auswahl einer Membranfiltrationsanlage sind verschiedene Punkte zu berücksichtigen, um eine technisch und wirtschaftlich effiziente Wasseraufbereitung sicher zu stellen.

Der erste Schritt erfordert immer eine geeignete Analyse der Rohwasserbeschaffenheit. Hierbei interessieren im Wesentlichen die Gehalte an partikulären Stoffen, wofür Trübungs- oder Partikelmessungen zur Verfügung stehen. Zu Beurteilung des Foulingpotentials ist die Bestimmung der Konzentration an natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffen über die Parameter TOC und SAK bei 254 nm hilfreich. In besonderen Fällen kann auch die Ermittlung des Foulingpotentials des Rohwassers bzw. des Feed der Membrananlage mit einer Labormembrananlage die Entscheidungsfindung bei der Anlagenauswahl unterstützen. Außerdem ist die Erfassung und Bewertung der mikrobiologischen Beschaffenheit, beispielsweise zum Vorkommen von E.coli, coliformen Bakterien und Enterokokken erforderlich. Der Umfang der Rohwasserbelastung bestimmt die Auswahl eines geeigneten Membransystems.

Im Bereich der öffentlichen Trinkwasseraufbereitung werden Anlagen mit größeren Durchsätzen (z.B. > 50 m<sup>3</sup>/h) oder hohen Rohwasserbelastungen meist individuell geplant. Solche Anlagen sind in der Regel im Detail auf die jeweilige Rohwasserbeschaffenheit abgestimmt und vollständig automatisiert. Hierbei kann auch eine Vorbehandlung des Rohwassers wie beispielsweise eine Flockungsmitteldosierung vor der Ultrafiltrationsmembran integriert werden.

Für Anlagen mit kleineren Durchsätzen können ggf. vorgefertigte, relativ kostengünstige Ultrafiltrationsmembrananlagen zum Einsatz kommen. Für erhöhte Rohwasserbelastungen erscheinen Membrananlagen mit Wasser-Luft-Spülung geeigneter im Vergleich zu Anlagen mit ausschließlicher Wasserspülung. Augenmerk sollte auch auf die Wahl des Flux gelegt werden. Auf Basis vorliegender Erfahrungen sind geringe Fluxwerte aus betrieblicher Sicht zu bevorzugen, auch wenn dies die Investitionskosten auf Grund eines

höheren Membranflächenbedarfs erhöht. Fluxwerte im Bereich von 100 L/(m<sup>2</sup>·h), wie diese in Produktbeschreibungen von vorgefertigten Ultrafiltrationsanlagen manchmal angegeben sind, können ggf. bei sehr sauberen Wässern erreicht werden, jedoch kaum langfristig mit natürlichen Wässern.

Die Erteilung einer Erlaubnis für die Ableitung des sogenannten schlammhaltigen Wassers aus der Spülung der Ultrafiltrationsmembranen sollte unproblematisch sein, sofern auf eine Vorbehandlung, z.B. durch Dosierung von Flockungsmittel in den Feed der Membran und auf den Einsatz von Chemikalien zur Spülung verzichtet wird. Sofern eine Dosierung von Flockungsmitteln erforderlich ist, müssen diese vor Ableitung in den Vorfluter mit einem hinreichenden Wirkungsgrad aus dem schlammhaltigen Wasser abgetrennt werden. Bei dem Einsatz von Chemikalien zur Spülung, wie beispielsweise Säure und Lauge, müssen diese vor Einleitung in einen Vorfluter neutralisiert werden.

Bei der Auswahl des Membransystems sollte auch ein geeignetes Vorgehen für die Wartung der Anlage und die chemische Reinigung der Membranmodule festgelegt werden. Dabei ist in vielen Fällen ein mehrjähriges Vertragsverhältnis zwischen dem Betreiber der Anlage und dem Anlagenbauer oder einem externen Dienstleister sinnvoll.

Um den Herausforderungen einer Verschlechterung der Rohwasserbeschaffenheit als Folge des Klimawandels zu begegnen, stehen somit kompakte und leistungsfähige technische Lösungen für die flächendeckende Wasserversorgung zur Verfügung. Die Membrantechnik bietet auch relativ kostengünstige Lösungen für die dezentrale Aufbereitung kleinerer Volumenströme.

# 6 Strukturkonzepte zur Anpassung der Wasserversorgung

## 6.1 ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE

Im vorliegenden Projekt wurden in 20 Kommunen im Landkreis Schwarzwald-Baar die Versorgungsstruktur erfasst und Konzepte zu deren Anpassung an den Klimawandel ausgearbeitet. Die hierfür entwickelte Methodik wird nachfolgend erläutert und zur weiteren Evaluation im Abschnitt 6.2 auf drei Kommunen im Landkreis Tuttlingen angewandt.

1. Initialisierung:  
Sofern, wie im vorliegenden Fall, die Untersuchungen nicht direkt von den Kommunen bzw. den Wasserversorgern beauftragt werden, ist eine Information der Beteiligten von offizieller Seite (Behörden) erforderlich.
2. Erhebung und Analyse verfügbarer Daten:  
In der Regel liegen bei den zuständigen Behörden umfangreiche Daten zur Trinkwasserversorgung vor und durch eine Internet-Recherche können weitere, öffentliche verfügbare Quellen auf einfache Weise ermittelt werden.
3. Kontaktherstellung und Basisdaten von den einzelnen Versorgern:  
Zur Erhebung erster spezifischer Informationen hat sich die Zusendung eines Fragebogens bewährt. Um die Rücklaufquote zu erhöhen empfiehlt es sich, die Zusendung bereits in der Initialisierungsphase von offizieller Seite anzukündigen.
4. Vor-Ort-Besprechungen zur Erfassung von Detailinformationen:  
Im Rahmen von einer bzw. mehreren Besprechungen mit einem technisch Verantwortlichen vor-Ort können die in 2. und 3. ermittelten Daten diskutiert und gezielt ergänzt werden. Dabei sind in der Regel auch Pläne/Kartenmaterialien und sonstige Unterlagen mit genauen Kenndaten verfügbar und es können wesentliche Gewinnungsanlagen besichtigt werden.
5. Prognose und Gegenüberstellung von Dargebot und Bedarf:  
Um einen höheren Bedarf in künftigen Hitzeperioden abzuschätzen, wurde im vorliegenden Projekt der **Tagesspitzenbedarf** aus den vergangenen Jahren (Angabe des Versorgers) pauschal um 20 % erhöht. Die ermittelten Werte sind kritisch unter Berücksichtigung der jeweiligen Versorgungssituation zu prüfen (z. B. Großabnehmer). Dabei empfiehlt sich zur Plausibilitätskontrolle eine Analyse der wesentlichen Verbrauchsdaten nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 410. In der Regel liegen die nach W 410 ermittelten Werte für den Tagesspitzenbedarf höher als die Erfahrungswerte der

Versorger. Für eine Prognose des künftigen **minimalen Dargebots** sind grundlegende hydrogeologische Informationen sowie Schüttungs- bzw. Absenkungsdaten der einzelnen Gewinnungen aus den vergangenen Jahren erforderlich. Stehen diese nicht zur Verfügung kann für eine erste Einschätzung von folgenden Mindestmengen ausgegangen werden:

- a. Grundwasser: Konstantes bis leicht rückläufiges Dargebot (- 25 %).
  - b. Quellen mit kleinem Einzugsgebiet und relativ geringer mittlerer Schüttung (< 15 L/s): Für eine worst case Betrachtung wird angenommen, dass künftig nur noch 50 % der bisherigen Mindestschüttung zur Verfügung steht.
  - c. Quellen mit größerem Einzugsgebiet und hoher mittlerer Schüttung (> 15 L/s): Für eine worst case Betrachtung wird angenommen, dass künftig die Mindestschüttung auf 75 % der bisherigen Werte zurückgeht.
6. Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz:  
Eine Gegenüberstellung der nach 5. ermittelten Werte für einen künftigen Tagesspitzenbedarf (Hitzeperioden) einerseits und dem Mindestdargebot andererseits, gibt Hinweise auf evt. künftige Mengendefizite. Unter Kenntnis der genauen Versorgungsstruktur können dann ggf. erste Vorschläge zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung sowohl in Wassermangelperioden als auch bei extremen Wettersituationen (Stromausfall, Überschwemmung) ausgearbeitet werden.

## 6.2 ANWENDUNG AUF DEN LANDKREIS TUTTLINGEN

Die anhand der Erfahrungen im Schwarzwald-Baar-Kreis entwickelte Methodik (Kapitel 6.1) zur Ausarbeitung eines Strukturkonzeptes wurde an den drei Kommunen im Landkreis Tuttlingen Mahlstetten, Mühlheim a. d. D. und Reichenbach angewandt. Diese Kommunen waren vom Landratsamt vorgeschlagen worden, da hier keine Ersatzwasserversorgung (zweites Standbein) besteht, bzw. in einer längeren Trockenperiode in 2015 Mangelsituationen aufgetreten sind.

### 1.-3. Initialisierung und erste Datenerhebung

Das Landratsamt Tuttlingen hatte zu Beginn des Projekts bereits grundlegende Daten zur Wasserversorgung der drei Kommunen zur Verfügung gestellt und die Bürgermeister sowie die technisch Verantwortlichen informiert. Die technisch Verantwortlichen wurden deshalb direkt kontaktiert.

#### 4. Vor-Ort-Besprechungen und Erfassung von Detailinformationen

Die Ergebnisse der Besprechungen bzw. der Auswertung der übermittelten Daten sind nachfolgend sowie in den Karten in Anlage 29 bis Anlage 31 dargestellt.

*Die Detailausführungen zu den einzelnen Kommunen in Kapitel 6.2 sowie die Karten in den Anlagen 29-31 können mit Genehmigung der jeweiligen Kommune von den Autoren bezogen werden.*

#### 5. Prognose und Gegenüberstellung von Dargebot und Bedarf:

Die Ergebnisse einer Wasserbedarfsanalyse, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, zeigt die folgende Tabelle.

**Tabelle 5: Wasserbedarfsanalyse der drei betrachteten Kommunen im LK Tuttlingen**

Kommune	EW <sup>1)</sup> -	Übern. <sup>2)</sup> 1/d	Verkauf <sup>3)</sup> m <sup>3</sup> /a	Bereitst. <sup>4)</sup> m <sup>3</sup> /a	Verl. %	> 2000 m <sup>3</sup> /a m <sup>3</sup> /a	Verbrauch <sup>5)</sup> L/(EW*d)	fd <sup>6)</sup> -	Tagessp. <sup>7)</sup> m <sup>3</sup> /d	Tagessp. <sup>8)</sup> m <sup>3</sup> /d	Tagessp. <sup>9)</sup> m <sup>3</sup> /d
Mahlstetten	820	0	29.192	38.155	23	0	98	2,4	120	188	144
Mühlheim a. d. D, Stadt	3.550	18	155.000	195.000	21	15.000	108	2,1	650	895	780
Reichenbach a. Heuberg	560	0	26.200	29.200	10	0	128	2,4	110	174	132

1) Angabe WVU

2) Übernachtungen, Statistische Berichte BaWü 2016

3) Angabe WVU 2015 bzw. 2016

4) Angabe WVU

5) aus Verkaufsmenge sowie EW+Gäste (Großverbr. abgezogen)

6) nach W 410 aus Einwohnerzahl

7) Tagesspitzenabgabemenge, Angabe WVU

8) nach W 410 (mit fd und jährl. Verkaufsmenge)

9) Prognose "längere Hitzeperiode" Tagesspitze nach 7) + 20 %

Legt man für **Mahlstetten** in künftigen Trockenperioden einen Anstieg des bisherigen Spitzenbedarfs um 20 % zugrunde, so ergibt sich ein Bedarf von 144 m<sup>3</sup>/d entsprechend 1,7 L/s. Selbst im Fall, dass die Mindestschüttung der Lippachquelle auf deutlich unter 50 % der im extremen Trockenjahr 2015 ermittelten Menge von 7,8 L/s abfällt, stünde somit noch ausreichend Quellwasser zur Verfügung. Ein künftiges Mengendefizit erscheint als sehr unwahrscheinlich.

Genauere Schüttungsdaten fehlen in **Mühlheim** zwar, es werden jedoch im hydrogeologischen Gutachten für die Waltersteinquelle ein  $Q_{\text{Mittel}}$  von 25 L/s und für die Brunnaderquelle  $Q_{\text{Mittel}}$  von 8 L/s angesetzt (LGRB 1999). Legt man als künftige Mindestschüttung 75

% der Schüttung im Spätjahr 2015 zugrunde (= 5,6 L/s) so könnte der künftige Tagesspitzenbedarf von 780 m<sup>3</sup>/d (= 9 L/s, vgl. Tabelle 5) nicht abgedeckt werden.

Zu berücksichtigen wäre dabei zwar, dass in 2017 ein älterer Rohrbruch an der Freispiegelleitung, die das Wasser zum Hochbehälter bzw. zum Volumenstrom-Messgerät transportiert, entdeckt wurde. Ob und um wieviel höhere Minimalschüttungen (bis zu 9 L/s) nach der Reparatur der Bruchstelle in künftigen Trockenzeiten zur Verfügung stehen, kann jedoch nicht sicher beurteilt werden.

Für **Reichenbach** werden in LGRB (2012b) für die Talbachquelle Werte für  $Q_{\text{Mittel}}/Q_{\text{min}}$  von 10,2/2,2 L/s und für die beiden Bogenquellen von in der Summe 4,5/1,3 L/s angegeben. Damit schütteten die Quellen bis 2008 relativ konstant ( $Q_{\text{min}} = 25\%$  von  $Q_{\text{Mittel}}$ ). Nach der in Kapitel 6.1 vorgeschlagenen Methodik sind für eine erste Abschätzung der künftigen Mindestschüttung 0,5 L/s anzusetzen (50 % der Mindestschüttung im November 2015) bisherigen  $Q_{\text{min}}$ ). Dies reicht zur Abdeckung des prognostizierten Tagesspitzenbedarfs von 1,5 L/s (132 m<sup>3</sup>/d, lt. Tabelle 8) bei weitem nicht aus.

#### 6. Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz:

##### **Mahlstetten**

Die vorhandene Aufbereitung (UF/UV) ist im Hinblick auf die Situation im Wassereinzugsgebiet erforderlich und bietet eine entsprechende Sicherheit auch bei niederschlagsbedingt starken Rohwasserbelastungen.

Eine zweite Einspeisemöglichkeit wäre zwar wünschenswert, hierfür müsste jedoch eine rd. 5 km lange Transportleitung zum nächst gelegenen HB des ZV WV Hohenberggruppe (in Königsheim) errichtet werden. Eine derart hohe Investition wird im Hinblick auf die relativ ergiebige Gewinnung Lippachquelle derzeit als nicht erforderlich erachtet (vgl. vorangegangener Abschnitt 5.).

Die Speicherkapazität im Hochbehälter reicht für eine Versorgung über 2-3 Tage aus. Dennoch sollte für den Fall eines längeren Stromausfalls der Weiterbetrieb des PW Lippachquelle bspw. mit Hilfe eines Zapfwellengenerators sichergestellt werden.

##### **Mühlheim a. d. D.**

Auch in Mühlheim ist die vorhandene Aufbereitung (UF/NaOCl) im Hinblick auf die Situation im Wassereinzugsgebiet erforderlich bzw. bietet auch bei künftigen Extremereignissen eine ausreichende Aufbereitungssicherheit.

Eine Dargebots-Analyse ist nicht möglich, da genaue Schüttungsdaten fehlen. Die vorhandenen Daten bzw. Betriebserfahrungen deuten darauf hin, dass bei alleiniger Versorgung mit Quellwasser künftige Engpässen nicht ausgeschlossen gewesen wären. Durch den zwischenzeitlich erfolgten Bau einer Transportleitung nach Nendingen ist die Trinkwasserversorgung in Mühlheim ausreichend abgesichert.

Bei einem längeren Stromausfall ist im überwiegenden Teil des Versorgungsgebietes die Trinkwasserlieferung durch ein Notstromaggregat im HB Kitzenbühl sichergestellt. Die Anschaffung eines mobilen Aggregates für die verschiedenen DEA sollte geprüft werden.

### **Reichenbach**

In Reichenbach ist ebenfalls eine UF-Anlage vorhanden, so dass extreme Rohwasserbelastungen infolge von Starkregen beherrscht werden können.

Wie die Erfahrungen im Jahr 2015 gezeigt haben, ist in künftigen Trockenperioden mit Mengendefiziten zu rechnen. Die Trinkwasserversorgung sollte deshalb durch eine zweite Einspeisemöglichkeit abgesichert werden. Hierfür könnte bspw. auf der Trasse, auf der 2015 eine „Notleitung“ installiert wurde, eine permanente Leitung verlegt werden. Die Gemeinde geht hierfür von Kosten in der Größenordnung von 0,6 Mio. € aus. In einer Studie der wave GmbH wurden für einen Leitungsbau bei Fernwasseranschluss lediglich rd. 0,24 Mio. € kalkuliert, jedoch ohne Angabe zur Streckenführung (wave 2004). Eine kostengünstige Lösung ist im Hinblick auf die zu erwarteten sehr geringen Liefermengen von im Mittel < 2000 m<sup>3</sup>/a anzustreben.

Prinzipiell wäre alternativ auch ein Konzept mit einem „Wasserwagen“. Abhängig von der weiteren Klimaentwicklung würde dabei allerdings voraussichtlich ein sehr hoher Aufwand resultieren (z. B. alle 2 - 5 Jahre über die Dauer von einigen Wochen täglich ein bis vier Fahrten mit 15 m<sup>3</sup> Tankanhänger über eine Distanz von mehreren Kilometern).

# 7 Literatur

DVGW Arbeitsblatt W 410 (2008), Wasserbedarf - Kennwerte und Einflussgrößen

DVGW Arbeitsblatt W 290 - Entwurf (2017), Trinkwasserdesinfektion; Einsatz- und Anforderungskriterien

GLA (1976): Hydrogeologisches Gutachten zur Festlegung von Wasserschutzgebieten für die Quellen der Stadt Triberg, Schwarzwald-Baar-Kreis. 01.04.1976. Unveröffentlicht.

GLA (1977): Hydrogeologisches Gutachten zur Festlegung von Trinkwasserschutzgebieten der Stadt St. Georgen im Schwarzwald, Schwarzwald-Baar-Kreis. 15.12.1977. Unveröffentlicht.

GLA (1990): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Gemeinde Mahlstetten, 17.5.1990, Unveröffentlicht.

GLA (1992): Hydrogeologisches Gutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für den Tiefbrunnen „Obere Wesen“ der Stadt Donaueschingen, 14.2.1992. Unveröffentlicht.

GLA (1993): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Neubearbeitung eines gemeinsamen Wasserschutzgebietes für die Tiefbrunnen „Bohl“ und „Wolfsgrube“, Wasserversorgung Mönchweiler, 19.4.1993, Unveröffentlicht.

GWDB (2018) <http://www.grundwasserdatenbank.de/regionsbh.htm>

H. Hölzl (1973) Die Hydrogeologie und Hydrochemie des Einzugsgebietes der obersten Donau, Kap. 5.2.2. Die Karstquellen im Raum Donaueschingen v., Karlsruhe, Veröffentlicht in: Steir. Beitr .z. Hydrogeologie, 25, Seiten 5-102,

LGRB (1998): Geowissenschaftliche Übersichtskarten von Baden-Württemberg 1:350.000. - CD-ROM, Freiburg

LGRB (1999): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung von Wasserschutzgebieten für die Brunnaderquelle und Waltersteinquelle der Stadt Mühlheim a. d. D. 16.8.1999. Unveröffentlicht.

LGRB (2000): Hydrogeologisches Folgegutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Mühlbach-Quelle (LfU-Nr.: 326/105) der Stadt St. Georgen, Schwarzwald-Baar-Kreis, TK 25: 7816 St. Georgen. 22.12.2000. Unveröffentlicht.

LGRB (2002a): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Schlauchquelle in Riedöschingen, Stadt Blumberg, 5.6.2012. Unveröffentlicht.

LGRB (2002b): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Tiefbrunnen I und II „Schaafäcker“ der Stadt Hüfingen, 27.3.2002. Unveröffentlicht.

LGRB (2008): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Rotwald- und die Tannwald-Quellen (LUBW-Nr. 104), Gemeinde Königsfeld. 03.01.2008. Unveröffentlicht.

LGRB (2012): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Talbach-Quelle und die Bogen-Quellen 1 und 2 der Gemeinde Reichenbach 03.01.2012. Unveröffentlicht.

LUBW (2015) Vulnerabilitätsanalyse von Wasserversorgungsunternehmen im südlichen Schwarzwald hinsichtlich des Klimawandels, <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/116063/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=91063&OBJECT=116063&MODE=METADATA>

KLIWA (2017) „Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasser-neubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015)“ KLIWA-Berichte Heft 21, ISBN: 978-3-88251-395-0, (<https://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/267247/>)“

LUBW (2018) Daten- und Kartendienst, <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/>; (letzte Datenabfragung am 20.4.2018)

Statistisches Bundesamt 2015, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Archiv/GVAuszugQ/AuszugGV3QAktuell.xls?blob=publicationFile>

Statistische Berichte BaWü 2016, <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/TourismGastgew/Tourismus/08065012.tab?R=GS326027>

Umweltbundesamt (UBA (2017) [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/19\\_bekanntmachung\\_der\\_liste\\_der\\_aufbereitungsstoffe\\_und\\_desinfektionsverfahren\\_gemaess\\_ss\\_11\\_trinkvw\\_2001.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/19_bekanntmachung_der_liste_der_aufbereitungsstoffe_und_desinfektionsverfahren_gemaess_ss_11_trinkvw_2001.pdf)

TrinkwV (2018), Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Verordnung zur Neuordnung trinkwasserrechtlicher Vorschriften, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 2, ausgegeben zu Bonn am 8. Januar 2018

TZW 2003, Neuartige Kriterien zur Beurteilung der Notwendigkeit und Art von Aufbereitungsmaßnahmen bei Vorliegen mikrobiell belasteter Rohwässer, Veröffentlichungen aus dem TZW Bd. 19

UBA (2001) Empfehlung zur Vermeidung von Kontaminationen des Trinkwassers mit Parasiten, Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2001,44, 406–408

Wave (2004) Generalgutachten über bestehende Eigenwassernutzung, mögliche Alternativen und Bewertung der Organisationsstruktur (W 1000), Dezember 2004, unveröffentlicht

# Fragebogen

zur Datenerhebung im Rahmen des **KLIMOPASS**-Forschungsprojektes:

" Entwicklung eines modellhaften Strukturkonzeptes zur Anpassung der Wasserversorgung an den Klimawandel und dessen Umsetzung in den Landkreisen Schwarzwald-Baar-Kreis und Tuttlingen "

## A. Wasserversorgungsunternehmen (WVU):

Name des WVU: .....

*Anschrift:* .....

Technisch Verantwortlicher: .....

*Telefon/email:* .....

Ansprechpartner in Detailfragen: .....

*Telefon/email:* .....

## B. Allgemeine Angaben (ggf. gerundete Mittelwerte aus den letzten 5 Jahren)

Anzahl der versorgten Einwohner: .....

Jährlich abgerechnete Wassermenge (m<sup>3</sup>/a): .....

Jährliche Rohwassermenge (lt. Entnahmegeld) (m<sup>3</sup>/a): .....

Tagesspitzenabgabe in den letzten 5 Jahren (m<sup>3</sup>/Tag): .....

Länge der Hauptversorgungsleitungen (km): .....

Anzahl der Hausanschlüsse: .....

Großkunden (> 2000 m<sup>3</sup>/a) mit Name und ca. Jahresbedarf

a). .....

b). .....

b). .....

Angaben (Name, Jahresbezugs/abgabemenge) bei Verbund zu anderen WVU's

.....

.....

*Ggf. weitere Gewinnungen, Pumpwerke und Hochbehälter auf separatem Blatt aufführen*

**C. Quellgewinnungen und Brunnen**

Kurzangaben: Typ/Name (z.B. Quelle xy) und jährliche Liefermenge (m<sup>3</sup>/a):

Gewinnung 1: .....

Gewinnung 2: .....

Gewinnung 3: .....

Gewinnung 4: .....

Gewinnung 5: .....

**D. Pump- bzw. Wasserwerke**

Kurzangaben: Name, Nennleistung, Aufbereitung (z.B. Sandfilter, Chlorung):

Werk 1: .....

Werk 2: .....

Werk 3: .....

Werk 4: .....

**E. Hochbehälter**

Kurzangaben: Name, Baujahr, geod. Höhe, Gesamtvolumen, Löschreserve

HB 1: .....

HB 2: .....

HB 3: .....

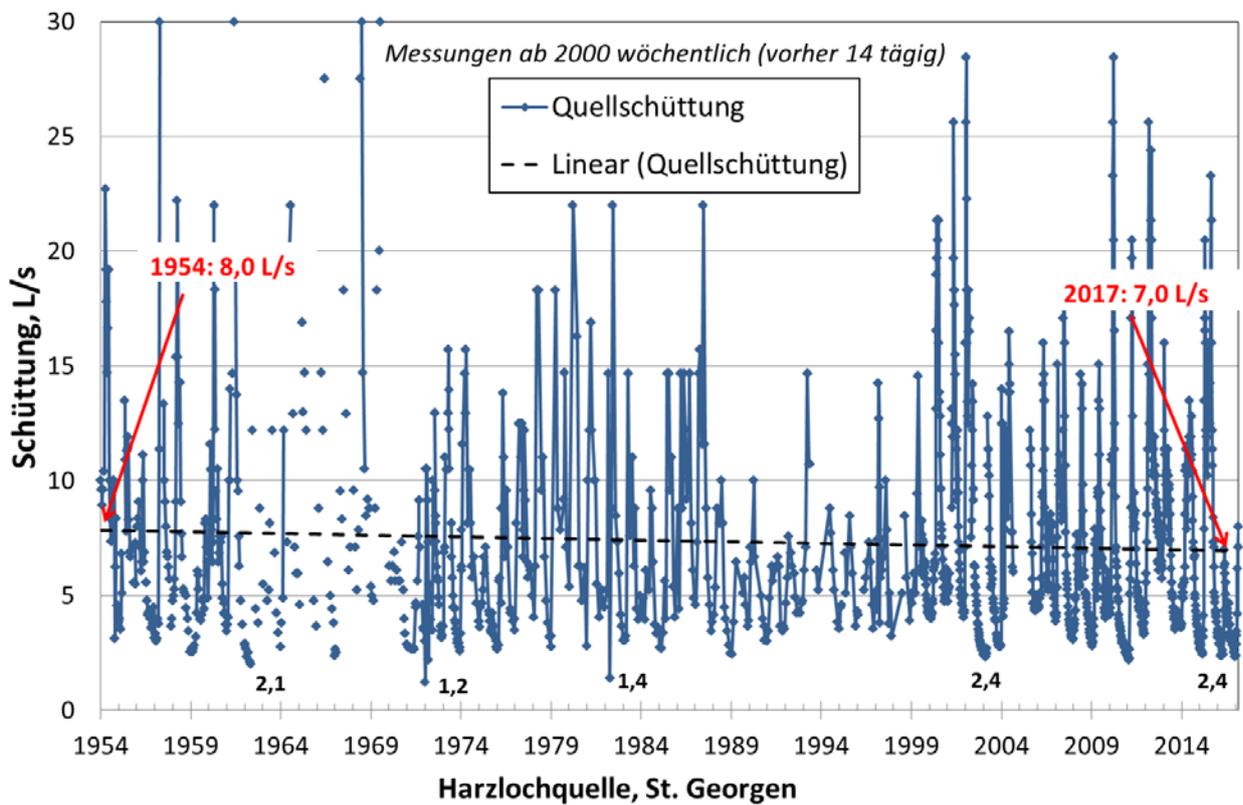
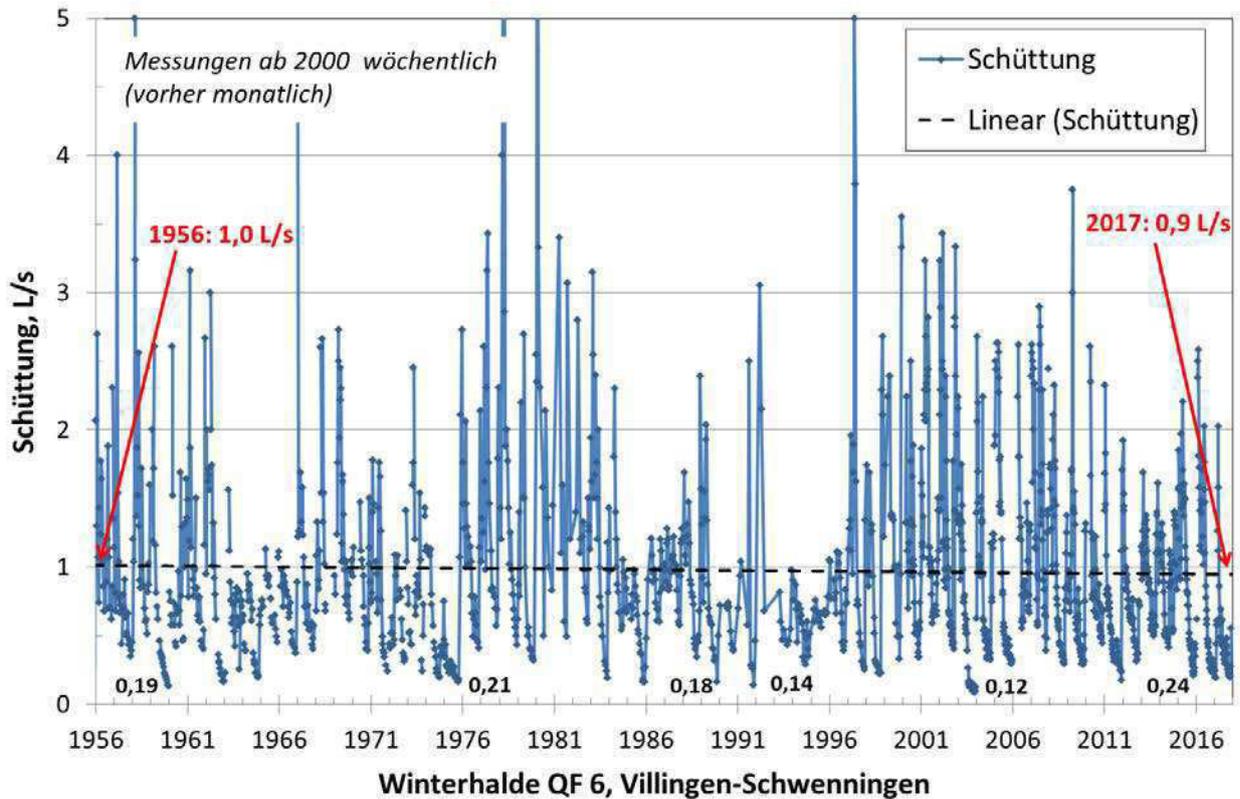
HB 4: .....

HB 5: .....

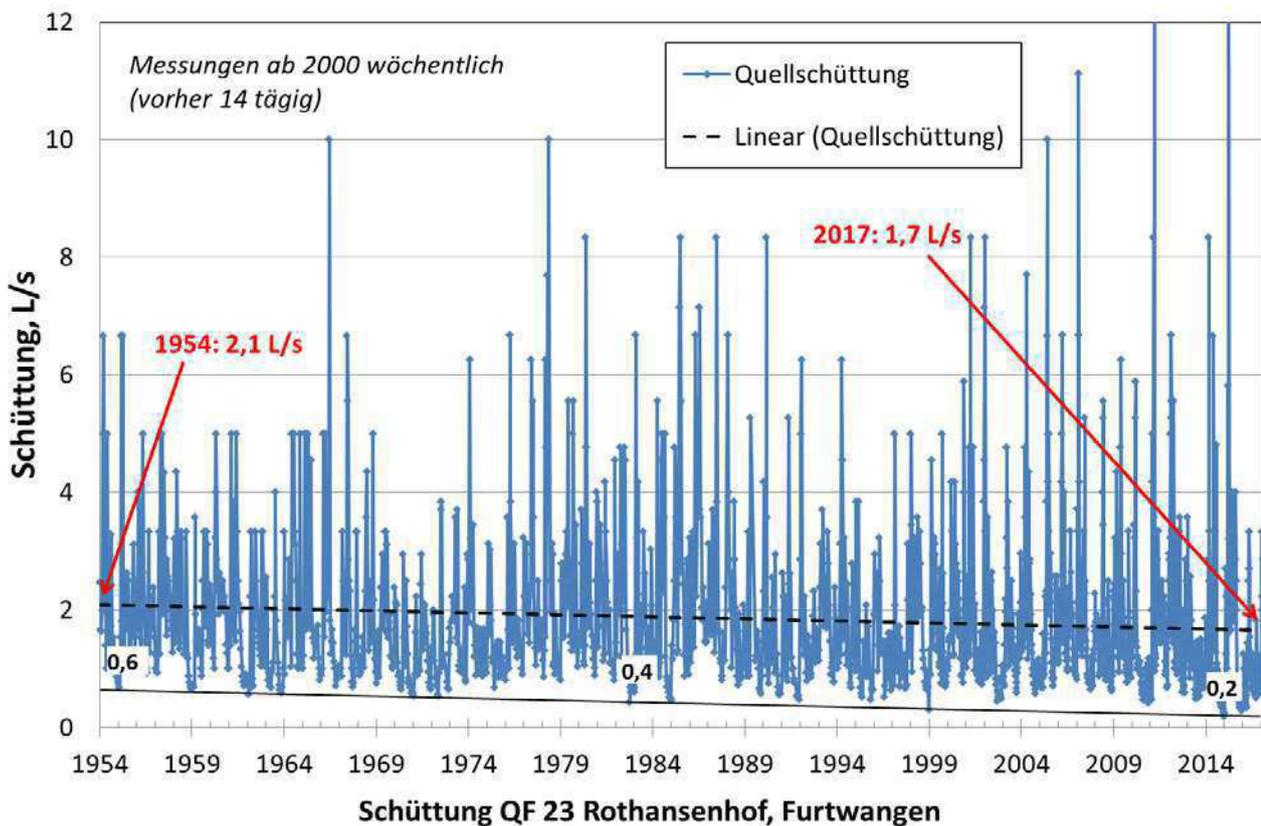
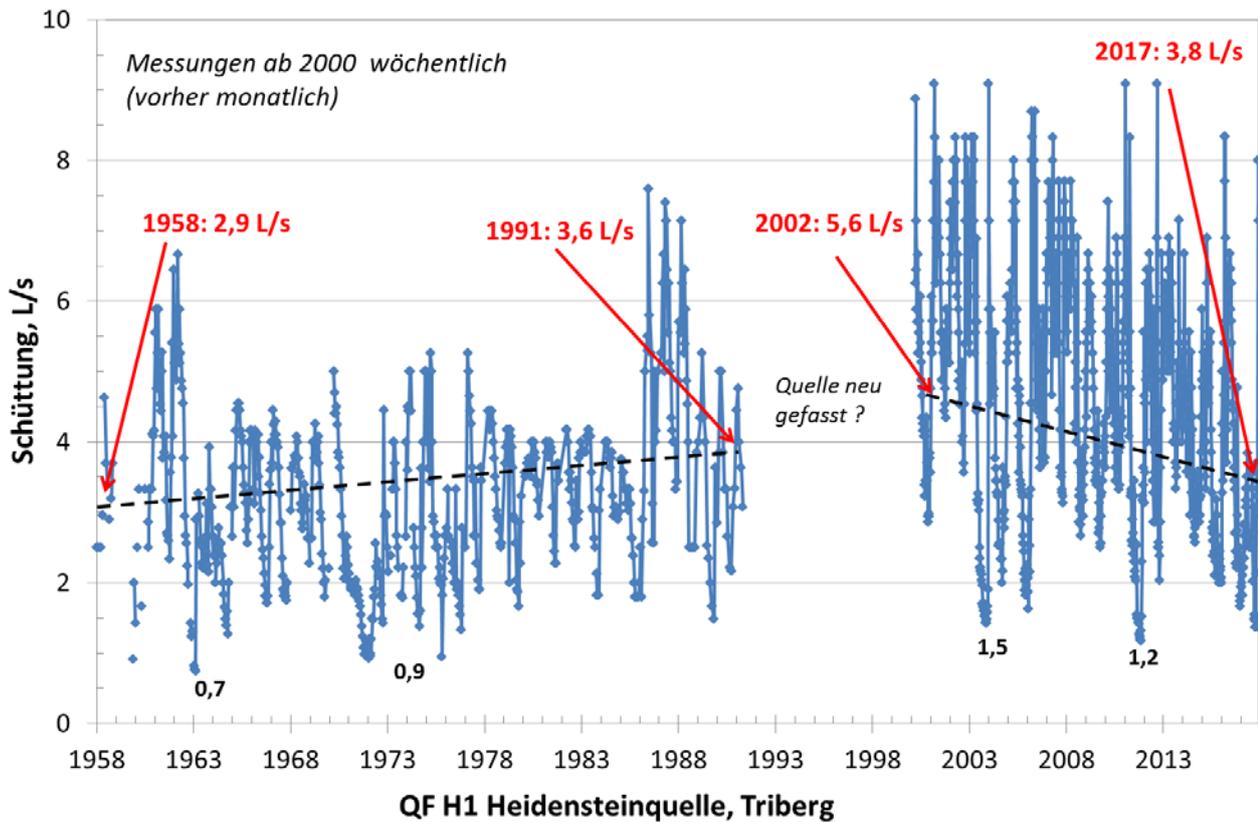
HB 6: .....

HB 7: .....

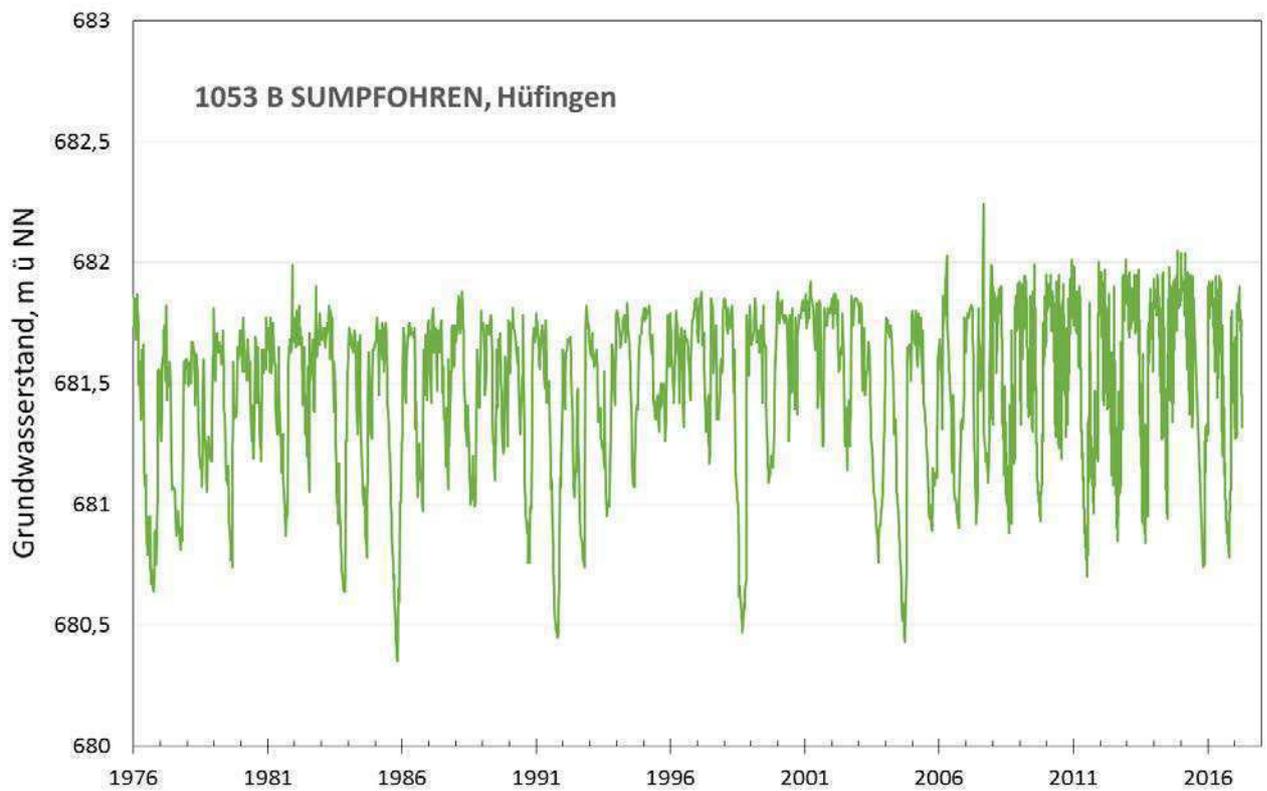
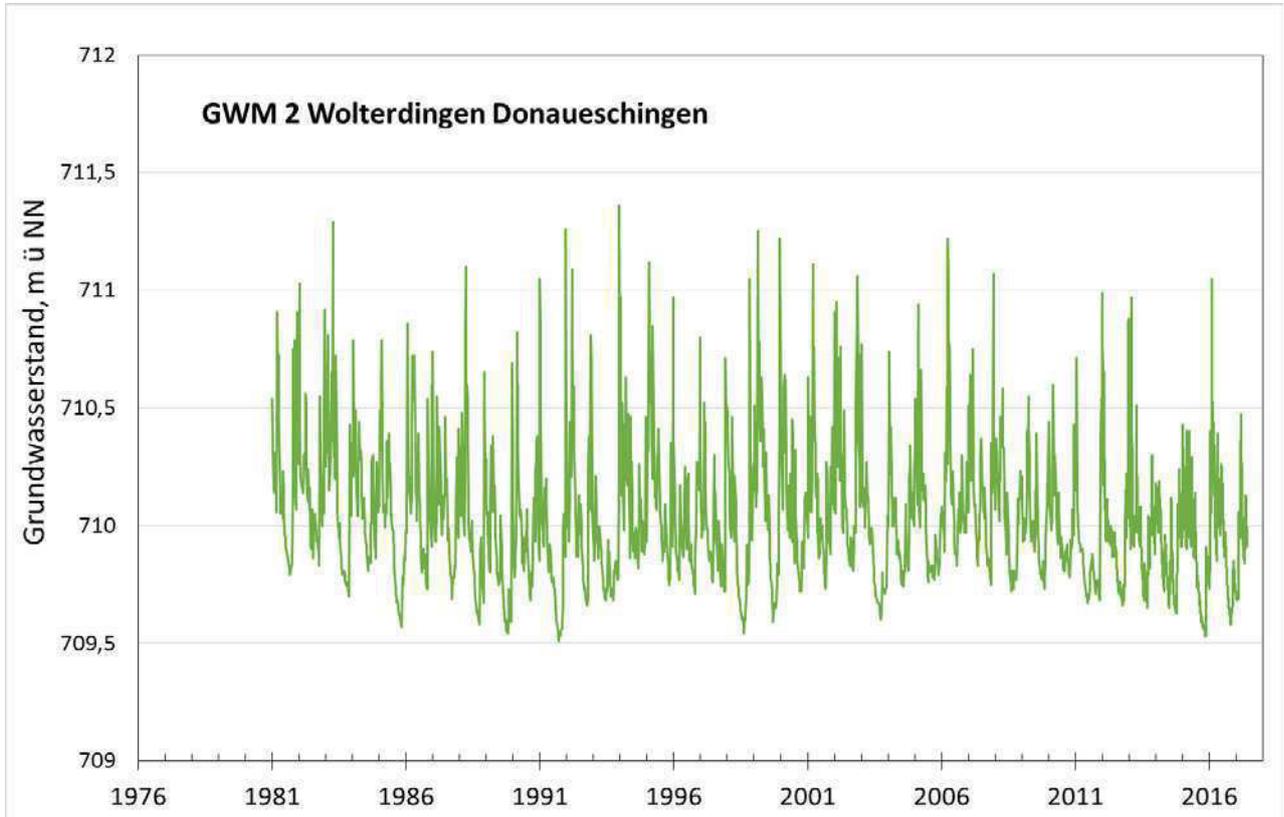
Langjährige Quellschüttungsdaten aus dem Schwarzwald-Baar-Kreis (1)



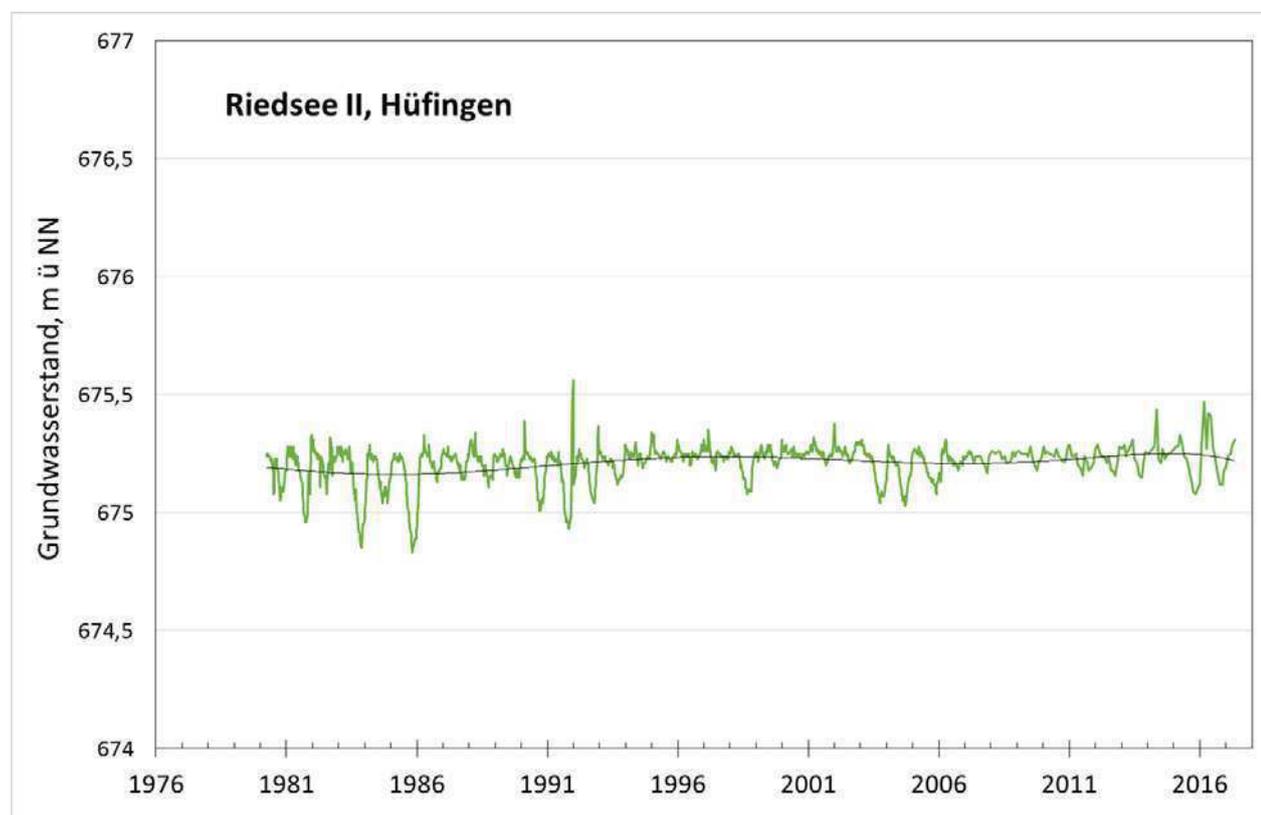
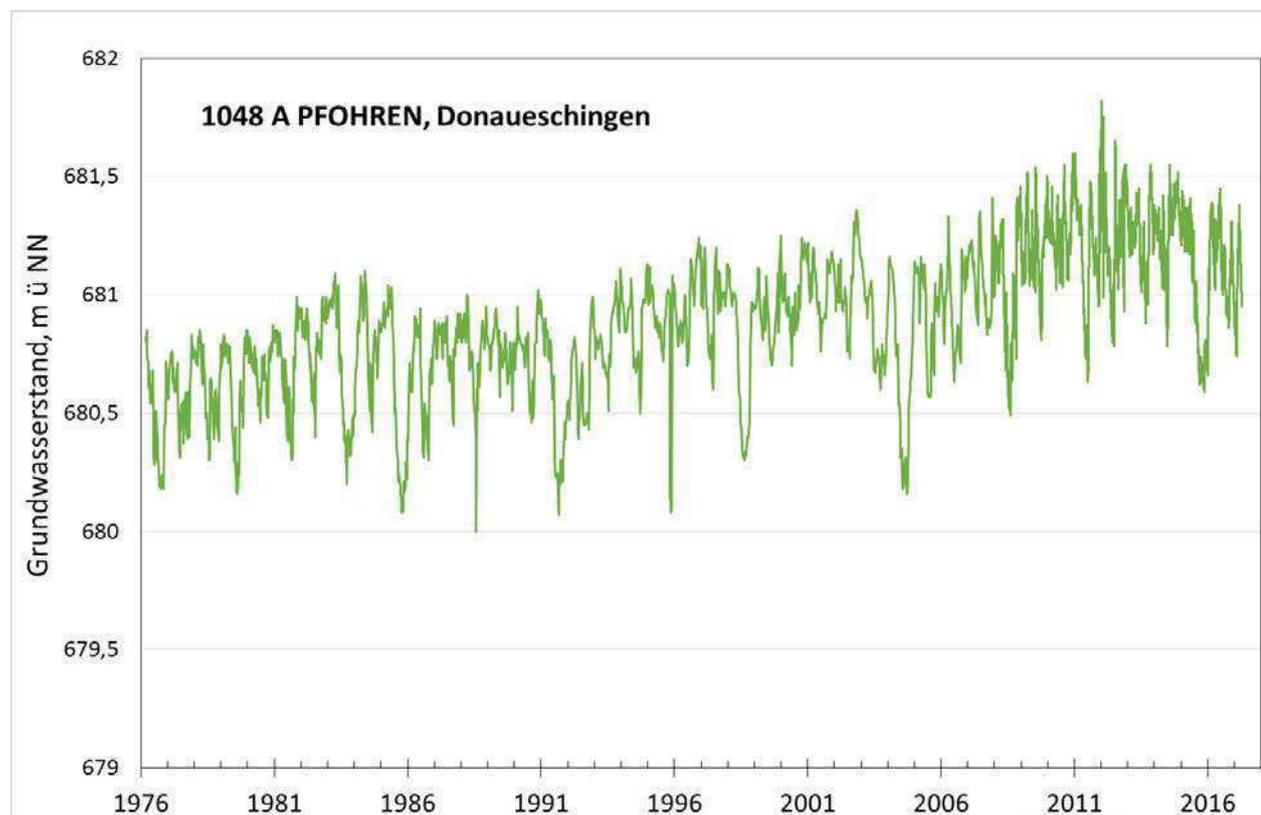
Langjährige Quellschüttungsdaten aus dem Schwarzwald-Baar-Kreis (2)



Grundwasserstände (Pegel) im Schwarzwald-Baar-Kreis (1)



Grundwasserstände (Pegel) im Schwarzwald-Baar-Kreis (2)



Trübungsdaten von vier Quellwässern aus dem Schwarzwald-Baar-Kreis

