

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500308041/23

# Vulnerabilitätsanalyse von Wasserversorgungsunternehmen im südlichen Schwarzwald hinsichtlich des Klimawandels

von

S. Stauder, A. Morhard, F. Brauer, T. Fischer und D. Hochmuth

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

Februar 2015

**KLIMOPASS**

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



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
<b>KONTAKT</b> <b>KLIMOPASS</b>	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, <a href="mailto:Kai.Hoepker@lubw.bwl.de">Kai.Hoepker@lubw.bwl.de</a>
<b>FINANZIERUNG</b>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS)
<b>BEARBEITUNG UND</b> <b>VERANTWORTLICH</b> <b>FÜR DEN INHALT</b>	Dr. Stefan Stauder, Friederike Brauer, Thilo Fischer, Dirk Hochmuth, Andreas Mor- hard, Technologiezentrum Wasser (TZW) Karlsruher Str. 84, 76184 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-N14
<b>STAND</b>	Februar 2015, Internetausgabe Februar 2015

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	9
2	ERFASSUNG DER WASSERVERSORGUNGSSTRUKTUREN	9
2.1	Erfassung der Bauwerke zur Wasserversorgung	11
2.2	Erfassung des Leitungsnetzes	13
2.3	Empfehlungen	15
3	PROGNOSE DES WASSERBEDARFS	16
4	ÄNDERUNG DES GRUNDWASSERDARGBOTS UNTER VERÄNDERTEN KLIMABEDINGUNGEN	17
4.1	Untersuchungsgebiet und Datengrundlage	17
4.2	Entstehung von Niedrigwassersituationen im Südschwarzwald	20
4.2.1	Niedrigwasserjahre und saisonales Auftreten	20
4.2.2	Entstehung der Niedrigwassersituationen	21
4.2.3	Auftreten extrem geringer Schüttung an den Quellen	22
4.3	Erwartete Änderung der Quellschüttungen in der Zukunft	23
4.3.1	Methodische Vorgehensweise	23
4.3.2	Übertragbarkeit auf andere hydrogeologische Regionen	25
4.3.3	Zeitvariante Korrektur des Gebietsniederschlags	25
4.3.4	Änderung von Bodenwasserhaushalt und Sickerwasserbildung	28
4.3.5	Aufteilung in schnelle laterale Komponenten und Grundwasserneubildung	30
4.3.6	Speicherkonzepte und Parameter für den kristallinen Südschwarzwald	31
4.3.6.1	Modellgüte für den Basisabfluss der Pegeleinzugsgebiete	34
4.3.7	Übertragung von Pegeleinzugsgebieten auf einzelne Quellen	37
4.3.8	Änderung der Quellschüttung unter veränderten Klimabedingungen	38
4.3.8.1	Klimaprojektion WETTREG2006 ("moderat")	40
4.3.8.2	Klimaprojektion WETTREG2010 (" <i>worst case</i> ")	44
4.3.8.3	Klimaprojektion CCLM 4.8	45
4.3.8.4	Fazit der Untersuchungen zur Änderung des Grundwasserdargebots	49
4.3.8.5	Empfehlungen	53

5	VULNERABILITÄTSANALYSEN	54
5.1	Ergänzende Daten zur Versorgungsstruktur	54
5.2	FallBeispiel Bernau	54
5.3	FallBeispiel Zweckverband Gruppenwasserversorgung Hochschwarzwald	55
5.4	FallBeispiel Herrischried	56
5.5	Empfehlung für eine Allgemeine Methodik zur Vulnerabilitätsanalyse	57
6	LITERATUR	57

# Zusammenfassung

In 21 Gemeinden im südlichen Schwarzwald, zwischen Feldbergregion, Wutach und Hochrheintal, wurde die Vulnerabilität der Wasserversorgung analysiert. Dies erfolgte unter Berücksichtigung der Versorgungsstrukturen durch Gegenüberstellung von Wasserdargebot und Wasserbedarf. Ziel war es zu prüfen, ob es bei Zugrundelegung verschiedener Klimaszenarien zu Engpässen in der Wasserversorgung kommen kann.

## *Wasserversorgungsstrukturen*

Grundlage für die Erfassung der Versorgungsstrukturen waren die vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) in Form von Shapefiles zur Verfügung gestellten Daten. Mit Hilfe von GIS-Software wurden die darin enthaltenen Attribute von insgesamt rd. 200 Bauwerken (z.B. Hochbehälter, Pumpwerke) sowie 75 Trinkwasseraufbereitungsanlagen und 450 km Wasserversorgungsleitungen überprüft, zum Teil neu erfasst und bei Bedarf aktualisiert. Dies erfolgte anhand der Antworten der Wasserversorgungsunternehmen auf Fragebögen sowie auf der Basis mündlicher Erläuterungen und zur Verfügung gestellter Karten der aktuellen Strukturen. Die Ergebnisse der digitalen Erfassung wurden der LUBW als aktualisierte Shapefiles per E-Mail übermittelt.

Das Projektgebiet ist durch eine stark zergliederte Geländeoberfläche mit z.T. großen Höhenunterschieden und eine geringe Besiedlungsdichte geprägt. Die Versorgungssysteme sind sehr komplex mit zahlreichen kleinen Wassergewinnungs-, Aufbereitungs- und Speichereinrichtungen sowie langen Transportleitungen. Die Trinkwasserversorgung erfolgt überwiegend durch die jeweilige Kommune. Mit dem Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald sowie dem Zweckverband Gruppenwasserversorgung Hochschwarzwald (GWV) existieren jedoch auch zwei größere Institutionen.

Hervorzuheben ist, dass als Folge von Wassermangelsituationen in den 80 und 90 Jahren in den vergangenen Jahren bei vielen Gemeinden durch Brunnenbau (z.B. in den Talauen der Wiese und der Alb) „zweite Standbeine“ geschaffen wurden. Mit der Gründung bzw. dem Ausbau des GWV wurden zudem rd. 50 % des Untersuchungsgebiets durch Verbundleitungen vernetzt.

## *Wasserbedarf*

Die Speicherkapazitäten der Wasserversorger umfassen im Allgemeinen etwa einen Tagesbedarf, so dass Tagesspitzenwerte für die Bewertung der Versorgungssicherheit wesentlich sind. Nach Auswertung der Wasserverbrauchs- bzw. -bedarfsdaten ist das Konzept des DVGW Arbeitsblattes W 410 zur Berechnung der Tagesspitzenverbräuche, u.a. aus den Jahresabgabemengen, im vorliegenden Fall geeignet. Unter Berücksichtigung gemeindespezifischer Besonderheiten (z.B. Feriengäste, Sonderverbraucher) ergeben sich für das Betrachtungsgebiet ein mittlerer Pro-Kopf-Verbrauch von 122 L/(EW\*d) sowie Spitzenfaktoren zwischen 1,6 und 1,9, abhängig von der Gemeindegröße.

Die langjährigen Daten zum Wasserverbrauch zeigen, dass im Trockenjahr 2003 der Tagesspitzenfaktor gegenüber dem langjährigen Mittel um 0,3 höher lag. Es wurden deshalb als Szenarien für den künftigen Wasserbedarf in Extremjahren zum einen die Erhöhung des Tagesspitzenfaktors gegenüber dem langjährigen Mittel um 0,4 und zum anderen eine Erhöhung um 0,7 (max. 320 L/(EW\*d)) näher untersucht. Dies entspricht einem Anstieg des Tagesspitzenverbrauchs im gesamten Pilotgebiet von derzeit rd. 16.000 m<sup>3</sup>/d auf 19.300 bzw. 21.800 m<sup>3</sup>/d, d.h. um 18 bzw. 27 %.

## *Hydrogeologie und saisonales Auftreten von Niedrigwassersituationen*

Im Vergleich zu anderen Landesteilen weist der kristalline Südschwarzwald ganzjährig hohe Niederschläge auf, welche auch in einem durchschnittlichen Sommerhalbjahr noch zu beachtlicher Sickerwasserbildung führen. Dabei erhält der Grundwasserleiter bis in die Monate Mai bis Juli hinein größere Zuflüsse und die Grundwasserneubildung setzt üblicher Weise bereits im Oktober wieder in größerem Umfang ein. Das Speichervermögen der Grundwasserleiter ist jedoch in aller Regel gering, so dass die Gebietspeicher schnell leerlaufen. Dementsprechend werden vom Sommer bis in den Herbst hinein auftretende extreme Minima von Quellschüttungen ausschließlich von der über die drei bis vier zurückliegenden Sommermonate hinweg stattfindenden Sickerwasserbildung bzw. von deren Ausbleiben bestimmt. Die Grundwasserneubildung des vorangegangenen Winterhalbjahrs spielt im Projektgebiet (von wenigen Quelleinzugsgebieten mit extrem ausgeglichener Schüttung abgesehen) keine Rolle für die beobachteten Niedrigwassersituationen.

## *Prognose von Sickerwasserbildung und Quellschüttung*

Aus der Vielzahl vorliegender Klimaprojektionen wurden drei Szenarien ausgewählt, welche innerhalb der Bandbreite der erwarteten Klimaentwicklung die Varianten "mittel" oder "worst case" repräsentieren. Unter Verwendung der als moderat eingestuften Klimaprojektion WETTREG-2006 ergibt sich sowohl für die nahe (2021-2050) als auch ferne Zukunft (2071-2100) über das Gesamtjahr hinweg eine weitgehend unveränderte Sickerwasserbildung. Allerdings verschiebt sich diese deutlich vom Sommer- ins Winterhalbjahr, so dass gegenüber dem Ist-Zustand (1971-2000) für die Sommermonate in der nahen Zukunft von einem Rückgang um rd. 20 % und in der fernen Zukunft um bis zu 50% auszugehen ist. Im als "worst case" eingeschätzten Szenario WETTREG-2010 ergibt sich über das Gesamtjahr hinweg eine Abnahme der Sickerwasserbildung in der nahen Zukunft um ca. 15 % und bis Ende des Jahrhunderts um bis zu 30 %. Dabei fällt die Abnahme im Sommerhalbjahr mit ca. 35 % (2021-2050) und 60 % (2071-2100) im Vergleich zum moderaten Szenario WETTREG-2006 erwartungsgemäß noch deutlicher aus.

Als maßgeblich für die Niedrigwasserabflüsse in der Region wurden die 3 - 4 trockensten, bis in den Herbst hineinreichenden Monate identifiziert, über welche die Sickerwasserbildung bereits in der Vergangenheit mitunter fast völlig ausblieb. Die einmal in 10 Jahren über einen bis sieben Tage hinweg verbleibende minimale Restschüttung nimmt deshalb nicht in gleichem Maße ab, wie die langjährig mittlere Sickerwasserbildung. Nach Transformation der auf Basis der Klimaszenarien berechneten Grundwasserneubildung durch mit der für den kristallinen Südschwarzwald gefundenen Bandbreite des Auslaufverhaltens parametrisierte Speichermodelle (schneller und langsamer reagierende Speicher), lassen sich die im Projektgebiet für die Trinkwasserversorgung genutzten Quellen in drei Gruppen einteilen. Diese werden in Abhängigkeit von ihrer in der Vergangenheit beobachteten Dynamik (Rückgang der Schüttung während Niedrigwassersituationen gegenüber der mittleren Schüttung) unterschiedlich stark von der bis Mitte des Jahrhunderts erwarteten Klimaänderung betroffen sein:

### ***Quellentyp A: Restschüttung 33-75% der mittleren Schüttung***

z.B. Etziboden/Engelschwand (außerhalb des Projektgebietes: Schwangen/Niederwinden im Elztal und Silberquelle/Gengenbach)

- auf Basis der moderaten Szenarien WETTREG2006 und CCLM 4.8: keine Änderung der Restschüttung
- auf Basis des "worst case Szenario" WETTREG2010: Abnahme um 12.5 bis 22.5%

### **Quelltyp B: Restschüttung 12.5-33% der mittleren Schüttung**

z.B. Prägerquelle/Todtnau, Rüttebergquelle/Todtnauberg und Langenwaldquelle/Todtmoos

- auf Basis WETTREG2006: keine Änderung der Restschüttung
- auf Basis CCLM 4.8: Abnahme um ca. 5 bis 20%
- auf Basis WETTREG2010: Abnahme um 15 bis 30%

### **Quelltyp C: Restschüttung < 12.5% der mittleren Schüttung**

z.B. Hohlmatt/Ehrsberg, Kähnermoosquelle/Raitenbuch, Brunnmättlemoos/Wehrhalden

- auf Basis WETTREG2006: Abnahme um 0 bis 25%
- auf Basis CCLM 4.8 bei weiter Streuung: Abnahme um 5 bis 45%
- auf Basis WETTREG2010: Abnahme um 17.5 bis 45%

## **Bewertung der Vulnerabilität**

Es zeigte sich, dass aufgrund der z.T. sehr komplexen Versorgungssysteme zur Bewertung der Vulnerabilität in vielen Fällen Gespräche mit den technisch Verantwortlichen unabdingbar sind. Neben den langjährigen Praxiserfahrungen wurden dabei Daten der Wassergewinnungen, Angaben zu Möglichkeiten der lokalen Wasserumverteilung sowie ortsspezifische Verbrauchsdaten ermittelt (z.B. Großabnehmer, Ursachen für erhöhte Wasserverluste). Als Ergebnis dieser vertiefenden Datenerhebung war für die meisten Bereiche im Projektgebiet von keinem Risiko für einen Wassermangel durch die prognostizierten Klimaveränderungen auszugehen. Lediglich in den vier relativ kleinen Versorgungszonen,

- 1) Bereich östlich der Wiese in der Gemeinde Fröhnd,
- 2) Ortsnetz Waldmatt/Ehrsberg in der Gemeinde Häg-Ehrsberg
- 3) Versorgungszone Herrenschwand, Gemeinde Todtnau
- 4) Ortsbereich Schönenbach der Gemeinde Schluchsee,

wird dies von den Verantwortlichen nicht ausgeschlossen. Es ist vorgesehen, in extremen Trockenperioden Wasserspargebote auszusprechen und/oder Hochbehälter tageweise mittels „Wasserwagen“ zu befüllen.

Für die drei Versorgungsgebiete Bernau, Zweckverband Gruppenwasserversorgung Hochschwarzwald (ca. 50 % des Projektgebiets) und Herrischried erfolgte exemplarisch eine Vulnerabilitätsanalyse mit Hilfe der entwickelten Methodik (Kap. 5.5.), d.h. auf der Basis der ermittelten Versorgungsdaten sowie den prognostizierten Änderungen in der Quellschüttung.

Das Beispiel Bernau verdeutlicht, dass Vulnerabilitätsanalysen mit einer Gegenüberstellung von theoretisch ermittelten Verbrauchszunahmen und Schüttungsminima im Hinblick auf ortsspezifische Besonderheiten durchgeführt werden müssen. Berücksichtigt man, dass Verbrauchsmaxima im Winter (u.a. hohe Zahl von Feriengästen) auftreten, so besteht in Bernau, entgegen einer ersten Einschätzung, künftig kein erhöhtes Risiko hinsichtlich eines Wassermangels in trockenen Sommern.

Beim Zweckverband Gruppenwasserversorgung Hochschwarzwald kommt dem Grundwasserwerk Schlossberg eine zentrale Bedeutung bei der Sicherstellung der Trinkwasserversorgung im Sommer zu. Die Vulnerabilitätsanalyse ergab, dass die derzeitige Kapazität des Werkes künftig häufiger erreicht eventuell sogar überschritten werden kann. Entsprechend sollten Maßnahmen zur Sicherstellung der maximalen Abgabemenge sowie zu deren Erweiterung geprüft werden.

In Herrischried (und analog in Rickenbach) reichen die lokalen Quellwasservorkommen für die Trinkwasserversorgung im Sommer knapp aus. Sofern im Zusammenhang mit dem Bau des Pumpspeicherkraftwerks Atdorf ergiebige Quellen beeinträchtigt werden, sollte auch die Schaffung eines regionalen Verbunds, bspw. mit der Gemeinde Todtmoos und ggf. Bau eines Brunnens im Wehrtal geprüft werden.

### *Fazit und Empfehlungen*

Im Südschwarzwald ist das Wasserdargebot in der Regel selbst in den Sommermonaten noch relativ hoch, die Einwohnerdichte und damit der Wasserbedarf sind dagegen gering. Im Zuge des Klimawandels ist je nach zugrunde gelegtem Klimaszenario eine mehr oder weniger starke Verlagerung der Grundwasserbildung vom Sommer- ins Winterhalbjahr zu erwarten. Bei zumeist schnell auslaufenden Speichern nimmt die am Ende von Trockenperioden verbleibende Schüttung der Quellen weiter ab. Je stärker die Schüttung einer Quelle bereits im Ist-Zustand schwankt, umso stärker wird sie von abnehmender Sickerwasserbildung im Sommer beeinflusst, so dass die Schüttung in Trockenzeiten stark zurückgehen kann.

Da auch in der Vergangenheit schon trockene Sommer aufgetreten sind und die Wasserversorgung an den Rand der Leistungsfähigkeit gebracht haben, wurden im Untersuchungsgebiet bereits Verbünde zwischen einzelnen Gemeinden geschaffen und Tiefbrunnen gebohrt. Mit Ausnahme kleiner Bereiche, ist damit auch in Zukunft überall eine ausreichende Versorgungssicherheit gegeben. Beim Zweckverband Gruppenwasserversorgung Hochschwarzwald muss die maximale Abgabemenge des Grundwasserwerks Schlossberg in trockenen Sommermonaten gewährleistet sein. Eine Kapazitätserweiterung sollte geprüft werden. Sofern in Herrischried und Rickenbach im Zusammenhang mit dem Bau des Pumpspeicherkraftwerks Atdorf ergiebige Quellen beeinträchtigt werden, ist neben dem Bau von Brunnen auch die Schaffung eines regionalen Verbunds zu prüfen.

Die für den kristallinen Südschwarzwald gewonnenen Erkenntnisse bzw. die hierfür entwickelte Methodik sind auf andere Regionen übertragbar. Allerdings sind in anderen Naturräumen bei geringerem Wasserumsatz (trockenere Landesteile) und anderer Geologie (langsamere Speicher) andere Änderungen der Quellschüttung zu erwarten. Zur Absicherung der Resultate und Abschätzung der über die Landesfläche hinweg auftretenden Variabilität sollte die entwickelte Methodik auf ein zweites Pilotgebiet mit anderen klimatischen Verhältnissen und hydrogeologischen Eigenschaften angewandt werden.

Die Erfassung der Versorgungsstrukturen ergab, dass im Untersuchungsgebiet überwiegend Oberflächennahes Quellwasser genutzt wird. Erfahrungsgemäß treten bei derartigen Quellwässern nach Starkregen Eintrübungen und mikrobiologische Belastungen auf. Problematisch sind insbesondere Starkregen nach längeren Trockenperioden, da der Boden dann die geringste Filter- bzw. Schutzwirkung hat. Dies wird in Zukunft häufiger auftreten. Im Hinblick auf die gestiegenen gesetzlichen Anforderungen an die Aufbereitung derartiger Rohwässer (§ 5 Abs. 5, TrinkwV) sollte das tatsächliche Gefährdungspotential ermittelt und ggf. eine adäquate Ergänzung der Aufbereitungstechnik geprüft werden.

# 1 Einleitung

In weiten Teilen Südwestdeutschlands sind die Wasserressourcen auf Kluftsysteme im Festgestein mit geringer Speicherfähigkeit bzw. saisonaler Ergiebigkeit beschränkt. Lokal traten in der Vergangenheit in den Sommermonaten Probleme durch ein zu geringes Quellwasserdargebot auf. Nach den aktuellen Klimaprognosen wird das Ausmaß der Trocken- bzw. Hitzeperioden zunehmen. Bei fehlender Grundwasserneubildung steigt zugleich die Trinkwasserabgabe stark an, so dass mit wachsenden Problemen für die Versorgungssicherheit zu rechnen ist.

Ziel des Projektes „Vulnerabilitätsanalyse von Wasserversorgungsunternehmen im südlichen Schwarzwald hinsichtlich des Klimawandels“ war es, die Verwundbarkeit der Wasserversorgung in ausgewählten Gemeinden bei häufiger und länger auftretenden Trockenperioden zu untersuchen. Dies erfolgte innerhalb des KLIMOPASS-Programms (Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg) unter finanzieller Förderung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM). Eine vorab durchgeführte Bewertung der Landesfläche an Hand von hydrogeologischen Merkmalen durch die LUBW sowie die Betrachtung der Versorgungsstruktur ergab, dass der südliche Schwarzwald die höchste Vulnerabilität aufweist. Neben geringen Reservoirgrößen war hier von einer geringen Vernetzung und fehlendem Fernwasserversorger (zweites Standbein) auszugehen. Dieser Bereich wurde als Untersuchungsgebiet ausgewählt, und in der Zeit Januar bis November 2014 folgende Arbeiten durchgeführt:

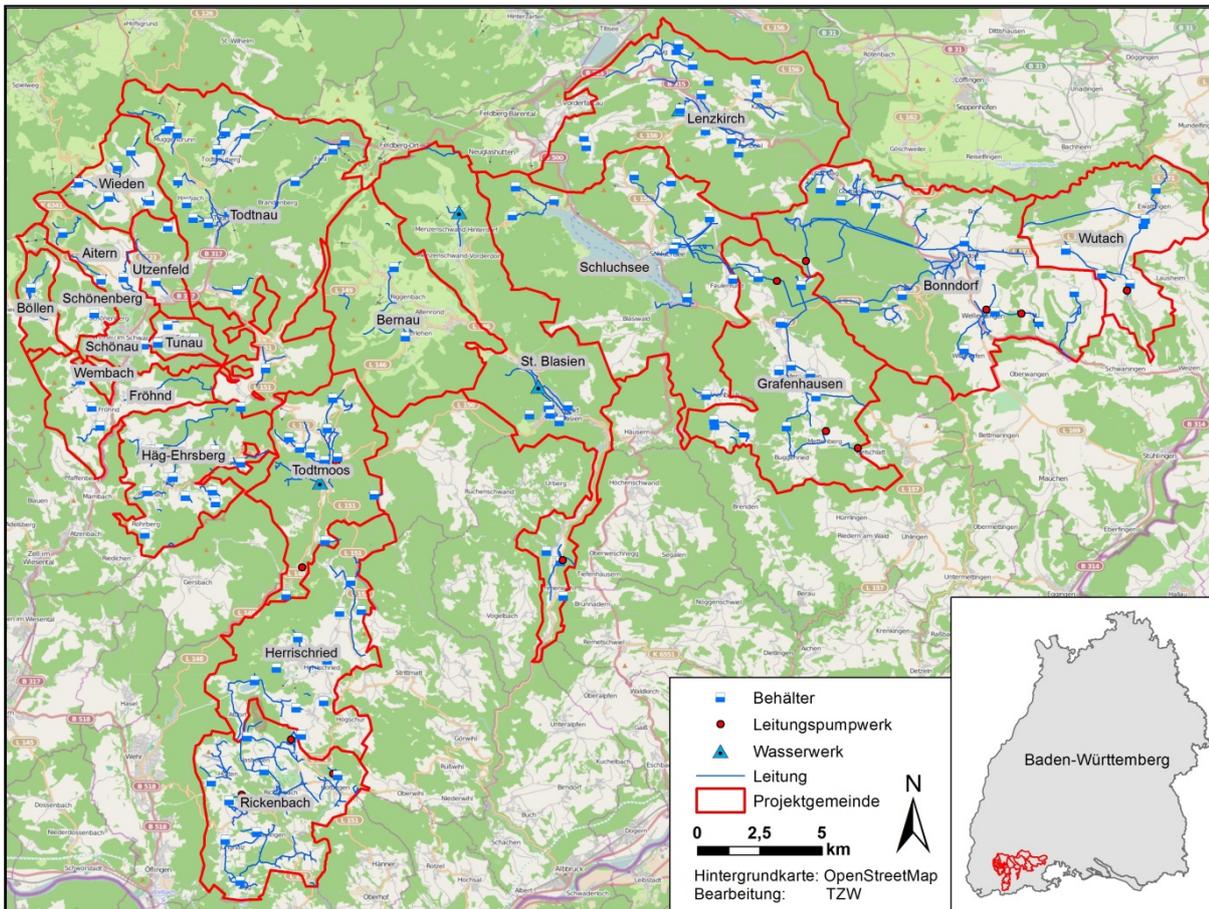
1. Erfassung der Wasserversorgungsstrukturen
2. Prognose des Wasserbedarfs (Tagesmittel und –spitze)
3. Entwicklung von Berechnungsmodellen zur Prognose des Quellwasserdargebots
4. Änderung des Quellwasserdargebots mit den Klimabedingungen
5. Bewertung der Vulnerabilität mittels einer universell anwendbaren Methodik

Die Untersuchungsergebnisse sind im vorliegenden Bericht zusammengefasst:

## 2 Erfassung der Wasserversorgungsstrukturen

Das zu Projektbeginn geplante Pilotgebiet war Ergebnis einer Abfrage beim Regierungspräsidium Freiburg und stand unter dem Vorbehalt der Zustimmung durch die jeweiligen Gemeinden bzw. Wasserversorgungsunternehmen. Einige der ursprünglich vorgesehenen Gemeinden sind deshalb im endgültigen Projektgebiet nicht enthalten, während andere Gemeinden zusätzlich aufgenommen wurden (z. B. Böllen, Wieden). Das endgültige Projektgebiet umfasst 21 Gemeinden.

Als Grundlage für die Erfassung der Versorgungsstruktur dienten vom UM 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. Abbildung 1 zeigt das Projektgebiet mit den Bauwerken und Leitungen zur Wasserversorgung aus den Shapefiles.



**Abbildung 1: Versorgungsstruktur im Pilotgebiet (Stand 1999, z.T. 2005 aktualisiert)**

Um Informationen zur aktuellen Wasserversorgungsstruktur zu erhalten, wurden die Gemeinden bzw. Wasserversorger im Untersuchungsgebiet zunächst telefonisch kontaktiert, bevor ihnen ein Fragebogen (s. Anhang 1) zugesandt wurde. Mit Hilfe des Fragebogens sollte sichergestellt werden, dass bei allen Gemeinden vergleichbare Informationen erhoben werden. Er umfasst Fragen zum Wasserversorgungsunternehmen sowie zu den einzelnen Quellfassungen, Brunnen und Bauwerken wie Hochbehältern, Pump- und Wasserwerken.

Es zeigte sich, dass viele Versorgungssysteme sehr komplex sind, so dass zur Erfassung der Versorgungsstruktur zusätzlich zur Datenerhebung mittels Fragebögen und telefonischer Nachfrage auch vor-Ort-Gespräche mit den technisch Verantwortlichen sowie Ortsbegehungen erfolgten.

Für die meisten Gemeinden sind neben den ausgefüllten Fragebögen Schemazeichnungen der Versorgungsstruktur vorhanden, die zusammen mit dem zuständigen Wassermeister angefertigt wurden. Von 16 der 21 Projektgemeinden liegen zudem kartographische Darstellungen der Wasserversorgungsstrukturen vor, 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:

- ALK-Daten (u. a. Gebäude und Flurstücke),

- Straßen- und Wegegeometrien aus dem Basis-DLM 1 : 25 000,
- Wasserentnahmestellen und
- Wasserschutzgebietszonen.

Die beschriebenen Tätigkeiten wurden mit der Geoinformations- (GIS-) Software ArcGIS 10.2 der Firma ESRI durchgeführt. Nach Abschluss der Arbeiten werden die Ergebnisse der digitalen Erfassung am TZW dem UM als aktualisierte Shapefiles auf einer Daten-DVD zur weiteren Verwendung übermittelt.

Insgesamt umfassen die bearbeiteten Shapefiles rd. 200 Bauwerke (Hochbehälter, Pumpwerke) sowie 75 Trinkwasseraufbereitungsanlagen und 450 km Wasserversorgungsleitungen, von denen ein Teil neu erfasst, ein Teil überprüft und bei Bedarf aktualisiert wurde.

## 2.1 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 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 gesetzt.

Zu Behältern und Wasserwerken - die in der Regel einen Reinwasserbehälter beinhalten - sollten Volumen und Wasserspiegel angegeben werden. Diese Informationen stammen in den meisten Fällen aus den Fragebögen oder den Gesprächen mit den Wasserversorgungsunternehmen bzw. Gemeinden. Darüber hinaus wurden 14 Wasserwerke, 10 Behälter, sowie 8 Leitungspumpwerke neu erfasst. Für viele bereits erfassten Behälter und Wasserwerke konnten Wasserspiegel und/oder Volumen ergänzt werden. Häufig wurden auch Namen der Bauwerke ergänzt. Für Behälter, in denen Anlagen zur Aufbereitung 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. Bei 129 von 166 bereits erfassten Bauwerken wurde mindestens ein weiteres Attribut aktualisiert.

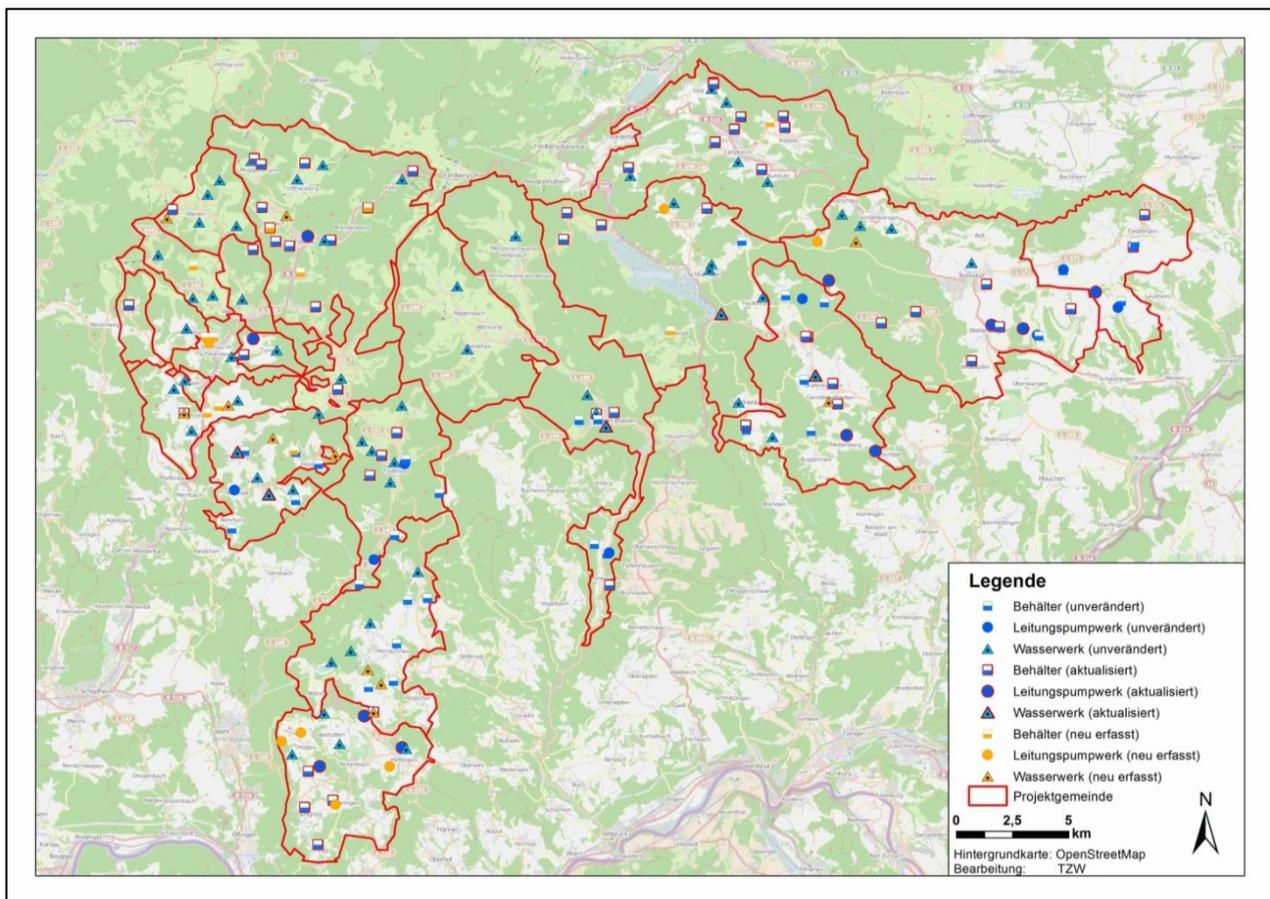
Die Änderungen wurden im vom UM erhaltenen Shapefile festgehalten, wobei geänderten Datensätzen jeweils ein aktuelles Änderungsdatum zugewiesen wurde. Die Struktur der Daten wurde nicht verändert, so dass eine problemlose Übernahme in den Gesamtdatenbestand möglich ist. Zusätzlich wird der LUBW zum Abschluss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

Tabelle 1 zeigt exemplarisch eine Aufstellung der Wasserversorgungs-Bauwerke in der Gemeinde Bonndorf. 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. Anhang 2 enthält die vollständige Liste aller im Projektgebiet erfassten Bauwerke zur Wasserversorgung.

**Tabelle 1: Informationen zu den Bauwerken der Gemeinde Bonndorf**

Objekt_ID	Funktion	Funktion_neu	Status	Langname	Langname_neu	Volumen [m³]	Vol_neu	WSP	WSP_neu	Aenderung_sdatum
1266	Wasserwerk	ja	Bestand	HB/PW Stollenbuck	ja	104	ja	870,8	nein	05.12.2014
1267	Wasserwerk	ja	Bestand	HB Glaserbuck	ja	100	nein	858,6	nein	05.12.2014
1270	Behälter	nein	Bestand	HB Hühnermoos	ja	100	nein	936,6	nein	05.12.2014
1271	Behälter	nein	Bestand	Großer Wald	ja	35	ja	801,9	nein	05.12.2014
1276	Behälter	nein	Bestand	HB Bächle	ja	189	ja	738,1	nein	05.12.2014
2027	Behälter	nein	Bestand	HB Hardt	ja	150	nein	818,3	nein	05.12.2014
3372	Behälter	nein	Bestand	HB Zelgle	ja	140	nein	800,3	nein	05.12.2014
3373	Behälter	nein	Bestand		nein	100	nein	730,3	nein	05.12.2014
4432	Behälter	nein	Bestand	HB Lindenbuck	ja	1013	ja	893,6	nein	05.12.2014
4433	Wasserwerk	ja	Bestand	HB Wacht	ja	1011	ja	893,0	ja	05.12.2014
4434	LeitungsPW	nein	a. B.		nein		nein		nein	05.12.2014
4436	Wasserwerk	ja	Bestand	HB Vogtsberg	ja	103	ja	859,0	nein	05.12.2014
4437	LeitungsPW	nein	a. B.	PW Sommerau	ja		nein		nein	05.12.2014
4441	LeitungsPW	nein	a. B.		nein		nein		nein	05.12.2014
4442	LeitungsPW	nein	Bestand		nein		nein		nein	05.12.2014
10003	Wasserwerk	ja	Bestand	HB Glashütte	ja	1020	ja	1003,0	ja	05.12.2014
10004	LeitungsPW	ja	Bestand	PW Glashütte	ja	3	ja	973,0	ja	05.12.2014

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen sowie die neu erfassten Bauwerke. Dabei ist durch Umrandung gekennzeichnet, bei welchen bereits erfassten Bauwerken mindestens ein Attribut verändert wurde. Im Vergleich mit Abbildung 1 zeigt sich, dass viele vormals als Behälter geführte Bauwerke jetzt als Wasserwerk dargestellt sind. In diesen Gewerken sind Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung wie z.B. Entsäureungsfilter und/oder eine UV-Anlage vorhanden. In den Karten in Anhang 3 sind die Bauwerke detailliert für die einzelnen Gemeinden dargestellt.



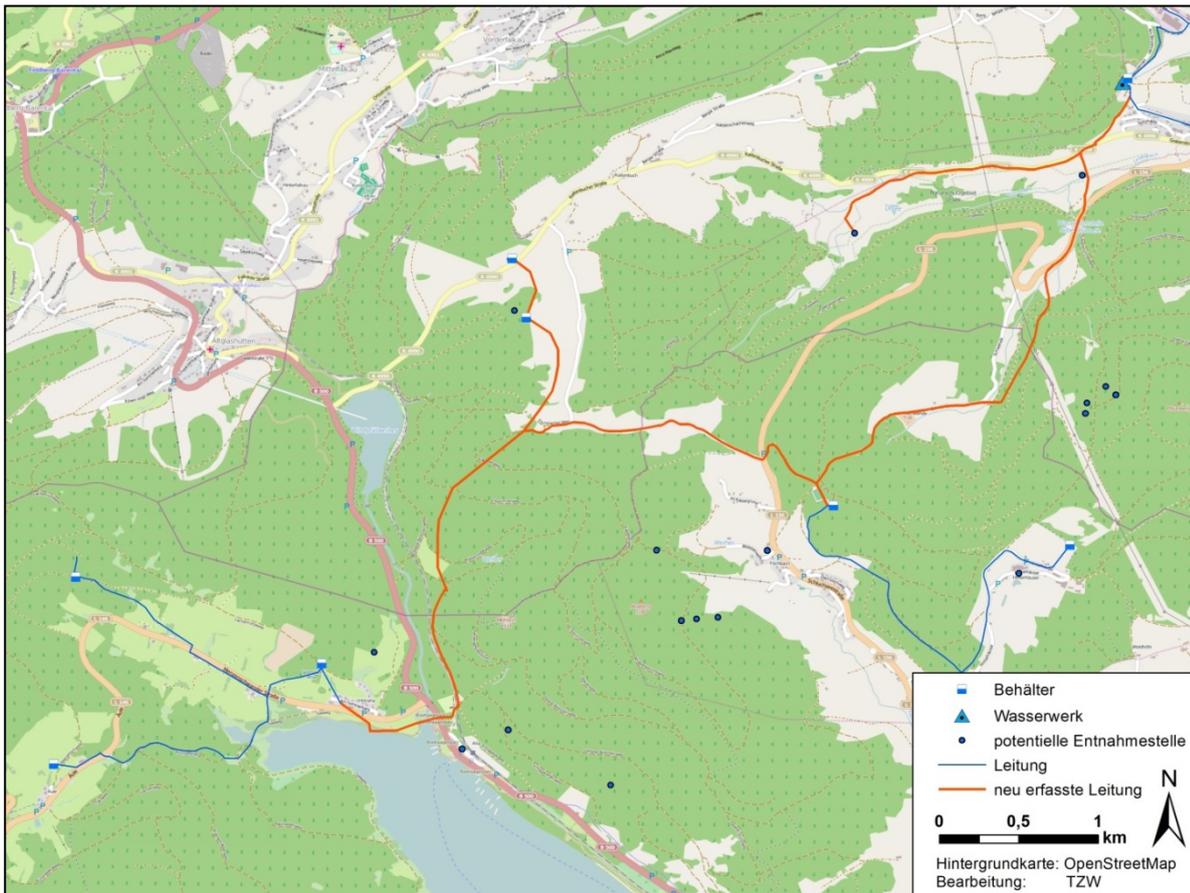
**Abbildung 2: Behälter, Leitungspumpwerke und Wasserwerke im Projektgebiet**

## 2.2 ERFASSUNG DES LEITUNGSNETZES

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

Entsprechend 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 sollte laut Anleitung in Fließrichtung von der Entnahmestelle (Quelle, bzw. Brunnen) weg erfolgen. In vielen Fällen war eine eindeutige Fließrichtung nicht feststellbar. Dies ist vor allem in Verbundnetzen der Fall, wenn, je nach Bedarf, Wasser zwischen den Behältern umverteilt wird. Ein Beispiel ist in Abbildung 3 dargestellt: Eine der neu erfassten Leitungen verbindet eine Entnahmestelle mit dem Leitungsnetz, so dass die Fließrichtung eindeutig von der Entnahmestelle weg gerichtet ist. Die übrigen Leitungen verbinden mehrere Hochbehälter miteinander. Hier ist es nicht möglich, eine Fließrichtung anzugeben.



**Abbildung 3: Leitungen mit nicht bestimmbarer Fließrichtung**

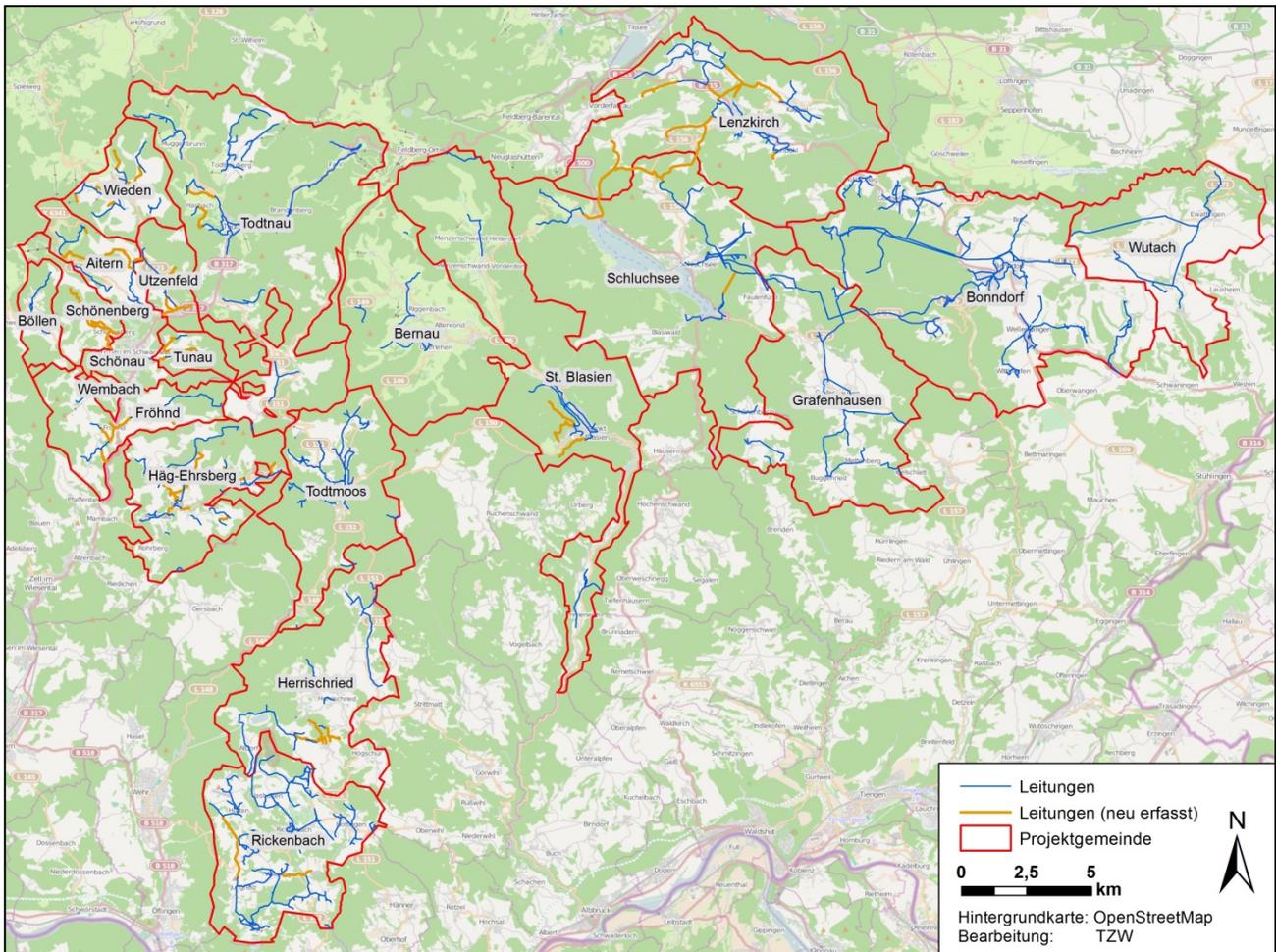
Zusätzlich sollten zu jeder Leitung Funktion sowie Durchmesser und Material angegeben werden. Zur Charakterisierung der Funktion stehen folgende Attribute zur Auswahl:

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

In 17 der 21 Projektgemeinden haben sich gegenüber dem Stand von 1999 die Wasserversorgungsstrukturen zumindest in Teilen geändert. Für die neu hinzugefügten Leitungen wurde grundsätzlich die Funktion „Wasserversorgungsleitung“ angegeben. Zu Durchmesser und Material waren in den meisten Fällen keine Informationen verfügbar. Nur für 13 km der insgesamt 75 km neu erfassten Leitungen waren diese Angaben den vorliegenden Plänen zu entnehmen. Die Durchmesser reichen dabei von 65 bis 250 mm, als Material sind Polypropylen, Polyethylen, Polyvinylchlorid oder duktiles Gusseisen angegeben.

In einigen Fällen ging aus Angaben der Wasserversorgungsunternehmen hervor, dass bestimmte Bauwerke zur Wasserversorgung miteinander verbunden sind. 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 wurde nicht an die LUBW übermittelt.

Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über die neu erfassten Leitungen, die häufig vorhandene Netzstrukturen verbinden, mehrfach auch über Gemeindegrenzen hinweg. Anhang 3 enthält für jede Gemeinde eine Karte, die neben den Bauwerken auch die Leitungen zeigt.



**Abbildung 4: Bestehende (blau) und neu erfasste (orange) Wasserversorgungsleitungen**

### 2.3 EMPFEHLUNGEN

Die Erfassung der Wasserversorgungsstrukturen zur Aktualisierung des vorliegenden Datenbestandes erwies sich bereits für ein relativ kleines Gebiet als sehr aufwändig. Zugleich wurde anhand der Anzahl neu erfasster Bauwerke und Leitungen deutlich, dass eine solche Aktualisierung regelmäßig durchgeführt werden müsste, wenn ein aktueller, verlässlicher Datenbestand der Wasserversorgungsstrukturen angestrebt wird. Bei Bearbeitung der gesamten Landesfläche würde dies einen immensen Aufwand bedeuten.

Eine mögliche Herangehensweise zur Lösung dieses Problems wäre, eine Methode zu entwickeln, mit der das Land bei allen die Wasserversorgungsstrukturen betreffenden Baumaßnahmen auf dem Laufenden gehalten werden kann. Da viele größere Maßnahmen in diesem Bereich mit Landesmitteln gefördert werden, könnte bereits ein großer Anteil der neuen Strukturen erfasst werden, wenn an die Vergabe der Mittel die Forderung geknüpft würde, das Land über veränderte oder neu entstandene Strukturen zu benachrichtigen. Bei Übermittlung in einem definierten Format könnten die Angaben relativ problemlos in den bestehenden Datenbestand übernommen werden. Optimal wäre dafür das Shapefile-Format (.shp). Denkbar wäre auch, eine Vorlage zur Verfügung zu stellen, deren Nutzung die Übernahme der Daten nochmals vereinfachen würde. Um die Akzeptanz bei Ingenieurbüros, die meist für die Durchführung und Dokumentation der

Baumaßnahmen zuständig sind, zu steigern, sollte jedoch auch die Übermittlung von CAD-Dateien zugelassen werden. Selbst wenn für die Einarbeitung der Informationen einiger Aufwand erforderlich ist, so wäre doch die Erleichterung gegenüber der Datenerfassung per Anfrage bei jeder einzelnen Gemeinde enorm.

### 3 Prognose des Wasserbedarfs

Die bei den einzelnen Gemeinden erhobenen Daten u.a. zum aktuellen Wasserverbrauch bzw. -bedarf wurden auf der Grundlage des *DVGW-Arbeitsblatts W 410 „Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen“* ausgewertet. Tabelle 2 zeigt die entsprechende Wasserbedarfsanalyse für das Pilotgebiet.

**Tabelle 2: Wasserbedarfsanalyse im Pilotgebiet**

Gemeinde	Einwohner <sup>1)</sup>	Übern. <sup>2)</sup> 1/d	Verkauf <sup>3)</sup> m³/a	Bereitst. <sup>4)</sup> m³/a	Verluste %	Verbrauch <sup>5)</sup> L/(EW*d)	Tagesmittel <sup>6)</sup> m³/d	Tagesspitze <sup>7)</sup> m³/d	Tagesspitze <sup>8)</sup> m³/d	Spitzen -faktor	
Bernau	1892	363	98.600	135.000	27	127	370	590	600	1,6	
Bonndorf	6749	301	-	539.000	-	-	1477	-	-	-	
Grafenhausen	2189	242	-	135.000	-	-	370	-	-	-	
Herrischried	2688	115	116.500	130.000	10	115	356	685	600	1,9	
Häg-Ehrsberg	887	20	28.000	34.000	18	85	93	179	200	1,9	
Lenzkirch	4867	765	-	330.000	-	-	900	-	-	-	
Rickenbach	3844	371	244.361	293.000	17	140	803	1394	1.300	1,7	
Schluchsee	2376	1382	-	262.000	-	-	718	-	-	-	
Aitern	562	118	21.638	27.238	21	110	75	142	-	1,9	
Böllen	93	2	3.013	8.345	64	87	23	23	-	(1,0)	
Fröhnd	483	63	22.537	31.274	28	118	86	150	-	1,7	
Schönau	2321	133	121.100	145.500	17	138	399	719	700	1,8	
Schönenberg	352	21	15.366	23.582	35	115	65	105	-	1,6	
Tunau	182	5	7.468	16.805	56	110	46	54	-	(1,2)	
Utzenfeld	625	8	30.836	42.427	27	134	116	203	-	1,7	
Wembach	339	6	15.906	20.885	24	127	57	110	-	1,9	
Wieden	585	126	28.274	57.929	51	116	159	184	-	(1,2)	
St. Blasien	3684	710	265.000	317.000	16	136	868	1507	1100	1,7	
Todtnau	5100	1158	269.218	293.000	8	126	803	1491	1500	1,9	
Todtmoos	1876	899	126.000	140.000	10	139	384	742	700	1,9	
Wutach	1201	365	72.503	83.397	13	150	228	446	-	1,9	
<b>Summe</b>	<b>41694</b>	<b>7174</b>	<b>-</b>	<b>3.065.382</b>	<b>27</b>	<b>122</b>	<b>8394</b>	<b>15949</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	
1) Statistisches Bundesamt 2012 (auf Grundlage des Zensus 2011)							5) Jahresmittel EW+Gäste (Großverbr. berücksichtigt)				
2) 1,5x Übernachtungen im Jahresmittel lt. Statistische Berichte BaWü 17.02.2014							6) aus Bereitstellung (m³/a)				
3) Angabe Gemeinde 2012							7) nach W 410 (u.a. aus Verkaufsmenge)				
4) aus Wasserentnahmeentgelt 2012							8) Angabe WVU				

Das Konzept des W 410 zur Berechnung von Spitzenfaktoren bzw. des maximalen Tagesbedarf ist im vorliegenden Fall prinzipiell geeignet. Zu beachten sind jedoch gemeindespezifische Besonderheiten, wie z.B. eine sehr hohe Zahl von Feriengästen (z.B. Schluchsee und Todtnau), erhöhte Wasserverluste (z.B. in Böllen und Tunau) und Sonderverbraucher (Internat in St. Blasien, Vogt-Plastic GmbH in Rickenbach). Für das Betrachtungsgebiet ergibt sich dann ein mittlerer Pro-Kopf-Verbrauch von 122 L/(EW\*d) sowie Spitzenfaktoren zwischen 1,6 und 1,9.

In einem zweiten Schritt erfolgte eine Auswertung langjähriger Daten zum Wasserverbrauch. Diese ergab, dass im Trockenjahr 2003 der Tagesspitzenfaktor gegenüber dem langjährigen Mittel um 0,3 höher lag. Auf dieser Grundlage wurden zwei Szenarien für den Wasserbedarf in künftigen Extremjahren näher untersucht.

Zum einen die Erhöhung des Tagesspitzenfaktors in den einzelnen Gemeinden um 0,4 und zum anderen eine Erhöhung um 0,7 (max. 320 L/(EW\*d). Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3: Prognose des Wasserbedarfs (2. Szenarien)**

Gemeinde	Tagesmittel <sup>1)</sup> , m <sup>3</sup> /d	Tagesspitze, m <sup>3</sup> /d		
		ist <sup>2)</sup>	fd=1,9+0,4	fd=1,9+0,7
Bernau	370	703	851	962
Bonndorf	1477	2806	3396	3839
Grafenhausen	370	703	851	962
Herrisried	356	677	819	926
Häg-Ehrsberg	93	177	214	242
Lenzkirch	900	1710	2070	2340
Rickenbach	803	1525	1846	2087
Schluchsee	718	1364	1651	1866
Aitern	75	142	172	194
Böllen	23	43	53	59
Fröhnd	86	163	197	223
Schönau	399	757	917	1036
Schönenberg	65	123	149	168
Tunau	46	87	106	120
Utzenfeld	116	221	267	302
Wembach	57	109	132	149
Wieden	159	302	365	413
St. Blasien	868	1650	1998	2258
Todtnau	803	1525	1846	2087
Todtmoos	384	729	882	997
Wutach	228	434	526	594
<b>Summe</b>	<b>8394</b>	<b>15949</b>	<b>19307</b>	<b>21825</b>
1) aus Wasserentnahmeentgelt 2012				
2) aus Tagesmittel und Tagesspitzenfaktor von fd=1,9 (n. W 410)				

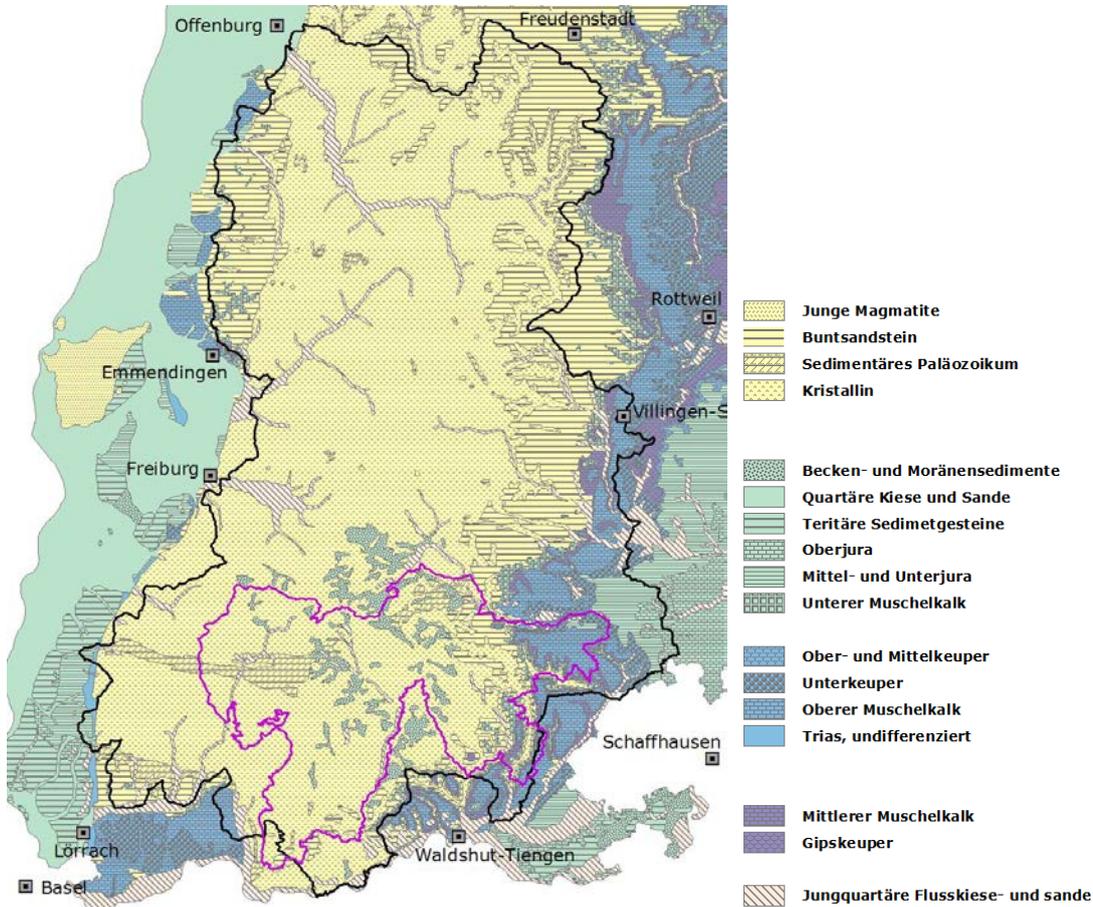
Es ist zu erkennen, dass der Tagesspitzenverbrauch im gesamten Pilotgebiet von derzeit rd. 16.000 m<sup>3</sup>/d beim Szenario 1 (fd =1,9+0,4) um rd. 18 % auf ca. 19.300 m<sup>3</sup>/d und im Szenario 2 um rd. 27 % auf bis zu 21.800 m<sup>3</sup>/d ansteigt.

## 4 Änderung des Grundwasserdargebots unter veränderten Klimabedingungen

### 4.1 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND DATENGRUNDLAGE

Das Projektgebiet für die Analyse der Vulnerabilität von Quellwasserversorgungen im südlichen Schwarzwald wurde nach wasserwirtschaftlichen und administrativen Gesichtspunkten abgegrenzt, wobei die 21 erfassten Gemeindegebiete eine Ausdehnung von zusammen 832 km<sup>2</sup> haben. Die nachfolgend erläuterten Untersuchungen zur Änderung des Grundwasserdargebots unter veränderten Klimabedingungen erfolgten für ein nach Hydrogeologie und Flusseinzugsgebieten abgegrenztes Gebiet. Dieses umfasst mit

einer Gesamtfläche von 4240 km<sup>2</sup> das gesamte Kristallin (geologischer Komplex aus metamorphen Gesteinen) des Südschwarzwalds. Abbildung 5 zeigt die Lage von engerem und erweitertem Untersuchungsgebiet.



**Abbildung 5: Engeres (violett) und für Untersuchungen zu den klimabedingten Änderung des Grundwasserdargebots erweitertes Gebiet (schwarz); Quelle des Kartenmaterials *WaBoA***

Für die Anpassung von Speichermodellen, welche die Transformation der Sickerwasserbildung in die Quellschüttung beschreiben, sind mehrjährige Zeitreihen mit engem Messintervall erforderlich. Es wurden im Wesentlichen die Ergebnisse der von der LUBW durchgeführten Messungen von Quellschüttungen sowie der Abflüsse von Oberflächengewässern (Landesmessnetz) verwendet.

Im engeren Projektgebiet liegen entsprechende Quellschüttungsdaten für die folgenden vier Standorte vor: den Mauswaldstollen Todtnau, die beiden Fassungen Hohlmatt/Ehrsberg, die Quelle am Sportplatz Höchenschwand und die Kähnermoosquelle bei Lenzkirch (jeweils bis in die 60er-Jahre zurückreichenden Aufzeichnungen und etwa zweiwöchiger Messung). Hinzu kommen 8 bis 10 Quellen mit 1-2 wöchiger Beobachtung ab Mitte der 80er-Jahre, deren Aufzeichnungen immerhin für eine Analyse des historischen Schüttungsverhaltens hilfreich sind.

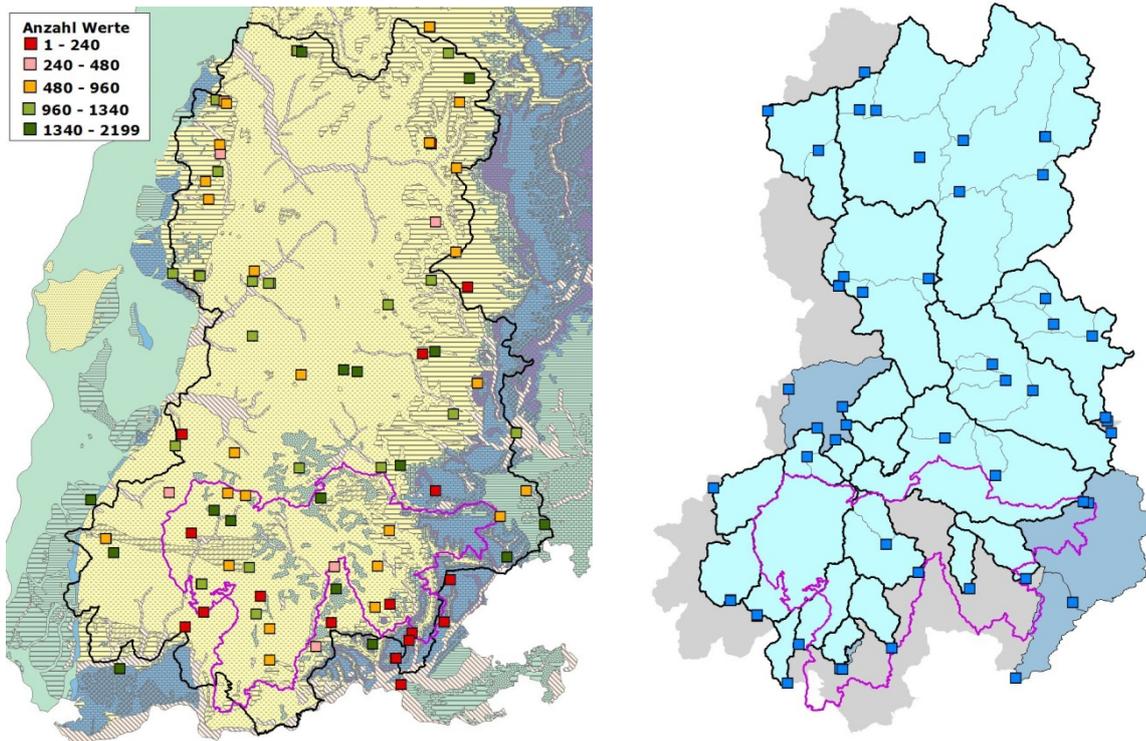
Auch im erweiterten Projektgebiet ist keine bessere Datenlage hinsichtlich der Quellen gegeben. Die meisten regelmäßig beobachteten Quellen liegen dort im Buntsandstein, was dessen Stellung als ergiebigerer Grundwasserleiter unterstreicht – bei im Übrigen auch höherer mittlerer Schüttung von zumeist 5-10 l/s (Kristallin: selten mehr als 2,5 l/s). Im Kristallin selbst finden sich dabei auch in den sich nördlich des engeren Projektgebiets anschließenden, hydrogeologisch vergleichbaren Bereichen nur etwa zehn weitere

Quellen mit zweiwöchigem Messintervall und Aufzeichnung seit den 70er- oder mindestens seit Mitte der 80er-Jahre. Eine kontinuierliche Erfassung von Tageswerten, wie sie für die Eichung eines Speichermodells zweckmäßig und auch für Aussagen über historische und zu erwartende Minima wünschenswert wäre, ist an keiner einzigen Quelle im kristallinen Südschwarzwald gegeben.

Alternativ zur Quellschüttung kann jedoch auch aus den Basisabflüssen der Oberflächengewässer – welche ausschließlich grundwasserbürtig von den Quellen gespeist werden – auf Speichereigenschaften und Leerlaufdynamik des Grundwasserleiters geschlossen werden. Zu berücksichtigen ist, dass dabei über eine Vielzahl einzelner Quellen im jeweiligen Einzugsgebiet integriert wird. Im engeren Projektgebiet existieren mehrere Pegel an Oberflächengewässern, an denen über längere Zeiträume hinweg weitgehend lückenlose Tageswertreihen erfasst wurden (Abbildung 6). Zu beachten ist, dass die Oberflächengewässer im Projektgebiet teils durch Aus- und Überleitungen beeinflusst sind (Schluchsewerke, Wühre), was im Rahmen der Bearbeitung vor der Verwendung ihrer Zeitreihen überprüft wurde und zum Ausschluss der betroffenen Datensätze führt (z.B. Überleitung aus dem Ibach in das Eggbergbecken, Ausleitungen aus der Hauensteiner Murg). Deutlich verbessert wird die Datengrundlage in diesem Fall durch Übergang auf das erweiterte Projektgebiet, welches den gesamten kristallinen Schwarzwald mit gleicher Geologie wie im engeren Projektgebiet umfasst (überwiegend Gneis und Anatexit), i.e. die Einzugsgebiete von Kinzig, Elz, Brigach und Breg, der Wutach vor ihrem Eintritt in den Muschelkalk, die Kopfgebiete der Dreisam, Neumagen, Wiese und Kleine Wiese, Wehra, Hauensteiner Murg und Alb sowie Schwarza und Schlücht.

Insgesamt liegen für 45 Pegeleinzugsgebiete im kristallinen Südschwarzwald (mit allenfalls kleineren Anteilen im Buntsandstein, welcher in den berücksichtigten Flussgebieten i.d.R. nur aufliegt und nicht den Hauptgrundwasserleiter bildet) mehr oder wenige lange Zeitreihen aus unterschiedlichen Messzeiträumen innerhalb der letzten 50 Jahre vor. Insofern mitunter kleinräumige Pegelverlegungen stattgefunden haben, wurden alle Abflusszeitreihen einer Normierung auf die letzte bekannte Gebietsgröße begegnet. Alle Zeitreihen wurden zudem durch visuellen Abgleich der Ganglinien jeweils benachbarter Gewässer geprüft und zeitweise unplausible Sequenzen der Pegel Elz/Rohrhardsberg und Wagensteigbach gelöscht.

Zu allen Abflusszeitreihen der Oberflächengewässer im kristallinen Südschwarzwald wurden einschlägige Abfluss- und Niedrigwasserkennwerte berechnet, so insbesondere der mittlere Abfluss der Einzeljahre (i.e. hydrologisches Jahr von November des Vorjahres bis Oktober), der langjährig mittlere Jahresgang, die geringsten Tageswerte aller Einzeljahre und deren Termine sowie die geringsten Abflüsse 7- und 30-tägiger Dauer. Diese Kennwerte bilden die Grundlage für eine Analyse hinsichtlich der Jahre und saisonalen Zeitpunkte des Auftretens von Niedrigwassersituationen unterschiedlicher Andauer in der Vergangenheit. Die nachfolgende Interpretation stützt dabei in erster Linie auf jene 17 Pegeleinzugsgebiete, für welche im Zeitraum 1961-2010 mindestens 40 Beobachtungsjahre mit meist völlig oder (selten) nahezu lückenlosen Tageswerten vorliegen und die keine nennenswerten Anteile an verkarstungsfähigem Gestein (Muschelkalk), Sandstein oder Porengrundwasserleitern aufweisen. Immerhin fünf dieser Zeitreihen liegen im engeren Projektgebiet (Steina, Mettma, Hauensteiner Alb und Hauensteiner Murg, Wiese).



**Abbildung 6: An den Quellen (links) liegt meist nur eine geringe Zahl von Messwerten ihrer Schüttung vor. Besser ist die Datengrundlage an den Oberflächengewässern (rechts)**

#### 4.2 ENTSTEHUNG VON NIEDRIGWASSERSITUATIONEN IM SÜDSCHWARZWALD

##### 4.2.1 NIEDRIGWASSERJAHRE UND SAISONALES AUFTRETEN

Die geringsten historisch beobachteten Abflüsse an den Oberflächengewässern traten erwartungsgemäß meist in der zweiten Hälfte des Sommerhalbjahres und bis in den Herbst hinein auf. In diesen Zeiträumen werden die Oberflächengewässer ausschließlich von der grundwasserbürtigen Schüttung der Quellen in ihrem Einzugsgebiet gespeist. Bei genauerer Betrachtung ergeben sich weitere Feststellungen, die sich auch anhand der Quellen mit ausreichend langen und zeitlich einigermaßen gut aufgelösten Zeitreihen, bestätigen lassen:

- Es können Pegelinzugsgebiete, in denen die geringsten Abflüsse eher schon in den Monaten Juli bis September auftreten (z.B. Steina und Wiese) von solchen unterschieden werden, in denen diese Situationen häufig erst im Oktober oder November auftreten.
- Bemerkenswert ist außerdem, dass nicht immer aber auffällig oft die spät im Jahr auftretenden Niedrigwasser die besonders schwerwiegenden mit den absolut geringsten historisch beobachteten Abflüssen sind.
- Einen seltenen und weitgehend auf die 60er-Jahre beschränkten Sonderfall stellen extreme Niedrigwasser im Februar oder März dar, welche an extrem kalte Winter gebunden waren. Diese dürften im Zuge einer Klimaerwärmung seltener auftreten.
- Besonders extreme Niedrigwasser traten in von Gewässer zu Gewässer unterschiedlichen Jahren auf, wobei einzelne Jahre nicht an allen aber jeweils an einer ganzen Reihe von Gewässern auffällig waren: 1985 und 2003 lagen an allen Gewässern sehr geringe Abflussminima vor. In den Jahren 1976 sowie 1962/1971/1983 dagegen an vielen aber in dem jeweiligen Einzeljahr nicht allen Pegeln.

1992 und 1998 fallen zwar an den meisten Gewässern im Südschwarzwald als Jahre mit recht geringen Minima auf, gehören aber nirgends zu den historisch extremsten.

- Die genannten Niedrigwasserjahre zeigen in der Region eine bemerkenswert geringe Übereinstimmung mit den allgemein für Baden-Württemberg bekannten Trockenjahren. Mit dem Jahr 2003 findet sich zwar ein Jahr mit meteorologisch "extremem" Sommer (zwar nicht trockener als zahlreiche andere Sommerhalbjahre der Vergangenheit aber extrem warm), welches aufgrund des vorangegangenen feuchten Winters aber üblicher Weise nur mit mäßig geringen Abflüssen und Grundwasserständen verbunden war.
- 1985 erwies sich als das bislang schlimmste Trockenjahr im Südschwarzwald – ein Jahr, das jedoch aus anderen Landesteilen nicht als Trocken- und/oder Niedrigwasserjahr bekannt ist. Das im Südschwarzwald ebenfalls mit ausgeprägtem Niedrigwasser assoziierte Jahr 1983 war landesweit (ebenso wie im Projektgebiet!) sogar ein nach Niederschlag und Sickerwasserbildung feuchtes Gesamtjahr – nach Sickerwasserbildung eines der fünf bis sieben feuchtesten im Zeitraum 1961-2010.

Dem Ausmaß der Niedrigwassersituation nach waren eindeutig 1985 und 2003 die im Projektgebiet auffälligsten Jahre, obwohl es sich weder um die trockensten hydrologischen Gesamt- noch Sommerhalbjahre handelt. 1983 war, wie schon erwähnt, sogar ein feuchtes Gesamtjahr, 1962 leicht überdurchschnittlich und auch die übrigen Jahre mit geringen Abflussminima als Gesamtjahr nach Niederschlag und Sickerwasserbildung eher im Mittelfeld. Zur Abflussbildung der Sommerhalbjahre dagegen besteht bereits größere Übereinstimmung: die für den Südschwarzwald identifizierten Niedrigwasserjahre liegen i.d.R. im unteren Drittel, das besonders stark betroffene Jahr 1985 aber nur auf Rang 12.

Weiterhin ist festzustellen, dass bestimmte Jahre je nach betrachteter Andauer der Niedrigwassersituation besonders kritisch waren: an der Hauensteiner Alb etwa war 2003 nur im Hinblick auf den über 30d hinweg unterschrittenen Wert ein Extremjahr, nicht aber beim geringsten Tageswert und über 7 Tage hinweg unterschrittenen Abfluss. Das Jahr 1976 hingegen war an diesem Gewässer ein solches mit besonders geringen Abflussminima bis zu einwöchiger Dauer bei anschließend relativ schneller Erholung. Für die Wasserversorger im Projektgebiet dürften indes aufgrund der begrenzten Speichervolumina in den Hochbehältern nach erster Einschätzung eher die Minima kürzerer Dauer entscheidend sein.

#### 4.2.2 ENTSTEHUNG DER NIEDRIGWASSERSITUATIONEN

Der Zusammenhang zwischen Witterungsablauf und dem durch Quellschüttungen oder Basisabflüsse repräsentierten Grundwasserdargebot im Südschwarzwald soll durch Betrachtung einiger ausgeprägter Niedrigwasserjahre beleuchtet werden:

- im Jahr **1985** lag die Sickerwasserbildung von Februar bis Juni bei feuchtem Mai auf dem Niveau des langjährigen Mittels dieser Monate; davor wiesen zwar die Monate 11/1984 bis 01/1985 ein deutliches Defizit von 110-130 mm auf, maßgeblich für das extreme Niedrigwasser im September/Oktober 1985 sind aber die bei völlig ausbleibender Sickerwasserbildung fehlenden 120 mm von Juli bis Oktober. Nennenswerte Grundwasserneubildung setzt erst wieder im November mit 40 mm ein – das ist zwar auch nur die Hälfte des langjährigen Mittels für diesen Monat, die aber zumindest wieder einen Anstieg der Abflüsse bewirkt

- **1976** hatte bei enormem kumuliertem Defizit (-370 mm von Februar bis August, -460 mm bis November) einen im Hinblick auf die Sickerwasserbildung leidlichen Juli (14 mm) und fast normalen September (25 mm); von Juli bis Oktober fehlen gegenüber dem langjährigen Mittel nur 65 mm → in einigen Einzugsgebieten reicht das bereits, um die Niedrigwassersituation abzumildern
- dem Jahr **1962** ging ein feuchter Winter (bis einschließlich Mai) voraus, von Juli bis November (und sogar weiter bis Februar 1963) erfolgte aber fast gar keine Sickerwasserbildung mehr
- im Jahr **1992** wurden nach durchschnittlich feuchtem Winter von Mai bis Juli nur knapp 50 statt 150 mm Sickerwasser gebildet, im August/September dann gar keines mehr → die Abflüsse aller Gewässer waren gering aber nicht extrem gering

Maßgeblich für extreme Niedrigwasser im kristallinen Südschwarzwald ist demnach die Grundwasserneubildung im Sommer selbst und zwar ab Juni, d.h. die Frage, ob in den nach Relation zwischen Verdunstung und Niederschlag ohnehin recht trockenen Monaten die Sickerwasserbildung ganz ausbleibt. In den meisten Einzugsgebieten scheint dabei in der Vergangenheit die Situation von Juni bis September relevant gewesen zu sein, in einigen auch nur bis August (d.h. dort hilft ein feuchter September nicht mehr, weil die extreme Niedrigwassersituation bereits zuvor eingetreten ist). Prädiktor ist wohl das 3- bis 4-monatige Minimum der Sickerwasserbildung, dessen Beginn einer der Monate Juni bis Juli/August sein sollte. Und in der Tat erweisen sich 1985 und 2003 im Südschwarzwald als die Jahre mit der geringsten über drei oder vier Sommermonate hinweg erfolgten Sickerwasserbildung, gefolgt von den Jahren 1962, 1963, 1971 und 1983.

#### 4.2.3 AUFTRETEN EXTREM GERINGER SCHÜTTUNG AN DEN QUELLEN

Unter knapp zwei Dutzend teils im Projektgebiet, teils weiter nördlich im hydrogeologisch vergleichbaren Kristallin gelegenen Quellen mit teils bis in die 60er-, zumindest aber Mitte der 80er-Jahre zurückreichender Beobachtung und jeweils einigen hundert Messwerten sind fast nur solche mit mittlerer Schüttung zwischen 0,5 und 2,5 l/s vertreten. Ausnahmen sind der Mauswaldstollen und die Knappenquelle in Todtmoos mit 17,7 und 12,8 l/s (beide entwässern ehemalige Bergwerke), die Präger Quelle auf gleicher Gemarkung (5 l/s) und die Quelle im Kähnermoos bei Lenzkirch (6 l/s).

Im Projektgebiet befinden sich zahlreiche Fassungen im Bereich von Mooren, bei denen nicht das unterliegende geklüftete Kristallin sondern das Moor selbst den Grundwasserspeicher darstellt. Ein Beispiel dafür ist die Quelle Brunnmättlemoos der Gemeinde Herrisried, die aufgrund ihrer Lage wenig unterhalb des Bergkammes lediglich ein sehr kleines Einzugsgebiet hat. Daneben finden sich im Projektgebiet Quellen, die tatsächlich den Klüften des kristallinen Festgesteins entspringen sowie Quellen, die ihr Wasser aus den Hangschuttdecken beziehen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang das völlig unterschiedliche Verhalten der beiden dicht beieinander liegenden Fassungen der Gemeinde Ehrnsberg: während "Hohlmatt 2" in den für die Region bekannten Niedrigwasserjahren und dabei zu den üblichen Zeitpunkten im Spätsommer und Herbst (8-11/2003, 11-12/1962, 11-12/1985) mehrmals nahezu trocken fiel, traten die geringsten Schüttungen an Fassung 1 meist im Winter auf (z.B. 1997 und 2006), was auf eine durch Frost beeinträchtigte Abflussbildung hinweist und im Abgleich gegen andere Quellen im Projektgebiet – zumindest für die jüngere Vergangenheit – eher untypisch ist. Dabei bleibt die minimale Ergiebigkeit der Fassung 1 bei nahezu gleicher mittlerer Ergiebigkeit aber deutlich über jener der (zu anderen Zeitpunkten) fast trockenfallenden Fassung 2.

Neben den unterschiedlichen Quelltypen, mit jedoch weit überwiegend gleicher Saisonalität und Ursache der Minima, fällt die enorme Spannweite der Relation zwischen mittlerer und minimaler Quellschüttung auf: Quellen mit nur geringer Schwankung, an denen das historisch beobachtete Minimum noch bei 15-30 % der mittleren Schüttung lag, stehen gegenüber, die während extremer Niedrigwasserereignisse nahezu trocken fallen. Wie bei den Abflussminima der Oberflächengewässer, so sind auch die Jahre mit extrem geringen Schüttungen von Quelle zu Quelle andere bzw. treten die gleichen Trockenjahre in jeweils anderer Rangfolge auf. In der Gesamtschau handelt es sich aber um die gleichen Jahre wie an den Oberflächengewässern: am schwerwiegendsten die Jahre 1985, 2003 und 1962 bis Februar 1963; dazu nicht an allen Quellen bzw. weniger stark ausgeprägt die Jahre 1983, 1992 und 1976. Dieses analoge Verhalten von Quellschüttungen und Basisabflüssen kann als weiterer Beleg dafür gewertet werden, dass die Speichereigenschaften des Kristallins in Ermangelung einer geeigneten Datengrundlage für einzelne Quellen (langjährige, zeitlich hochaufgelöste Zeitreihen der Schüttung) auch anhand der Basisabflüsse der Oberflächengewässer bestimmt werden können.

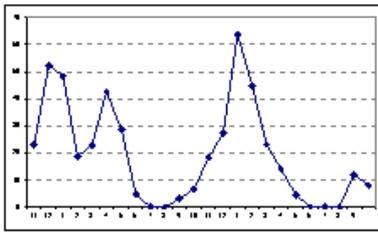
#### 4.3 ERWARTETE ÄNDERUNG DER QUELLSCHÜTTUNGEN IN DER ZUKUNFT

##### 4.3.1 METHODISCHE VORGEHENSWEISE

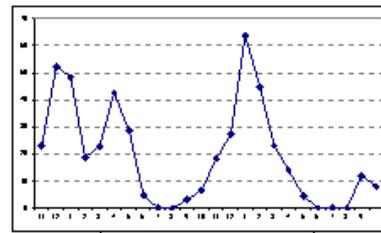
Mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW kann die Sickerwasserbildung unterhalb der durchwurzelten Bodenzone wahlweise auf Grundlage historischer Klimadaten oder synthetischer Klimaszenarien berechnet werden. Entsprechende Anwendungen zur Szenarienbetrachtung wurden in KLIWA (2012) vorgestellt. Im Rahmen des KLIMOPASS Pilotprojektes soll darüber hinaus eine Methodik zur Beschreibung der Transformation durch den Gebietspeicher entwickelt werden. Diese umfasst zunächst die Sicherstellung einer zeitlich konstanten Modellgüte für die Gesamtabflussbildung und die Abtrennung der Grundwasserneubildung von der gesamten Sickerwasserbildung. Im Anschluss kann für unterschiedliche Speichermodelle eine Identifikation der jeweiligen Parameter erfolgen, mit denen die Transformation von Grundwasserneubildung in Basisabfluss (→ der grundwasserbürtige Basisabfluss im Oberflächengewässer ist nichts anderes, als die aus dem Grundwasser gespeiste Schüttung der Quellen in seinem Einzugsgebiet, welche im Niedrigwasserfall zugleich die einzige verbleibende Komponente ist, d.h. der Basisabfluss entspricht in diesem Fall dem Gesamtabfluss respektive der Quellschüttung) am besten beschrieben werden kann, d.h. eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen simuliertem und beobachtetem Basisabfluss erreicht wird. Anhand der über alle Pegelinzugsgebiete hinweg gefundenen Ergebnisse erfolgt die Auswahl des Modells, welches für das Kristallin des Südschwarzwaldes am besten geeignet ist und das Eingrenzen des zu erwartenden Parameterraums für Oberflächengewässer und insbesondere Quellen ohne bzw. ohne ausreichende Beobachtungsdaten (→ nur diese würden eine Parametrisierung des Speichermodells speziell für die einzelne Quelle erlauben, was indes für nahezu keine Quelle der Fall ist). Die Zielsetzung besteht dabei in der Bereitstellung von zwei Parametersätzen "mittel" und "worst case" (d.h. für ein gebietstypisch mittleres oder besonders schnelles Leerlaufen in Zeiten verminderter oder ausbleibender Grundwasserneubildung), mit denen anschließend für beliebige Quelleinzugsgebiete im kristallinen Südschwarzwald Szenarienbetrachtungen zur Reaktion auf veränderte Klimabedingungen durchgeführt werden können. Abbildung 7 veranschaulicht die gewählte Vorgehensweise.

## Hydrogeologische Region (z.B. Kristallin im Südschwarzwald)

(1) mit GWN-BW simulierte Sickerwasserbildung 1961-2010



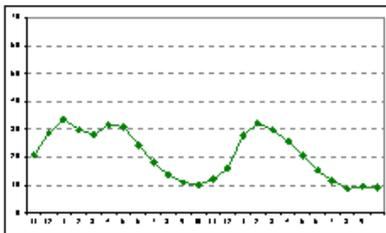
Sickerwasserbildung aus Klimaszenarien



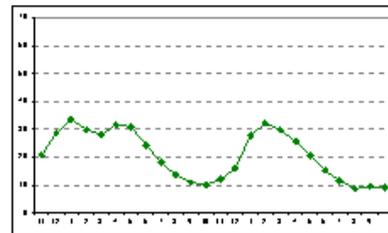
Identifikation eines geeigneten **Speicherkonzepts** und des Wertebereiches der **Parameter** [von...bis]

bei geeigneten Messdaten ggf. für die einzelne Quelle bestimmte Parameter

- (2a) **Quellen** mit Messung in hoher zeitlicher Auflösung  
→ Schüttung repräsentiert *per se* grundwasserbürtigen Abfluss
- (2b) zusätzlich oder ersatzweise kleine **Pegeleinzugsgebiete**  
→ zeitvariante Basisabfluss-Separation (*Verfahren* ?)



für günstige/ungünstige Speichereigenschaften  
↓  
simulierte Quellschüttung



**Abbildung 7: Vorgehensweisen bei der Simulation der Quellschüttung**

Die zu entwickelnde Methodik baut auf der Dissertation von M. Stölzle (2014) auf, in welcher am Beispiel von 25 über ganz Baden-Württemberg verteilten Pegeleinzugsgebieten mit sehr unterschiedlicher Hydrogeologie gezeigt werden konnte, dass bestimmte Speichermodelle (teils in Abhängigkeit von der Art des Grundwasserleiters) besser oder schlechter geeignet sind, um die Transformation zwischen Sickerwasserbildung und Basisabfluss im Gerinne zu beschreiben, vor allem aber, dass sich die Wertebereiche der gefundenen Modellparameter (e.g. Speicherkonstanten) zumindest für einige dieser Modelle trotz erheblicher Schwankungsbreite innerhalb jeder hydrogeologischen Einheit gut gegen die Wertebereiche für die anderen Gesteinsarten abgrenzen lassen. Im Rahmen des KLIMOPASS Pilotprojekts zur Vulnerabilität von Quellwasserversorgungen im Südschwarzwald ist vorgesehen,

- die Modellgüte der Speichermodelle und Zuverlässigkeit der gefundenen Modellparameter zu verbessern, indem

(1) die als Eingangsgröße für die Speichermodelle verwendete Sickerwasserbildung aus GWN-BW dahingehend optimiert wird, dass möglichst kontinuierlich über den gesamten Beobachtungszeitraum (i.e. Kalibrierzeitraum für die Speichermodelle) hinweg die im mehrjährigen Mittel korrekte Gesamt-abflussbildung getroffen wird

(2) versucht wird, die Aufteilung des die durchwurzelte Bodenzone verlassenden Sickerwassers in schnelle laterale Komponenten und Grundwasserneubildung nicht mehr durch einen zeitlich konstanten Faktor (den langjährig mittleren Quotienten zwischen Basisabfluss und Gesamtabfluss) zu beschreiben sondern dem Prozessverständnis entsprechen in Abhängigkeit von der Vorfeuchte im Einzugsgebiet (zunehmender Anteil schneller Komponenten in klimatisch feuchten Perioden)

- die Modellparameter (z.B. Speicherkonstanten) für das Auslaufverhalten der Speichermodelle spezifisch auf das Kristallin des Südschwarzwalds einzugrenzen, dabei möglichst alle Einzugsgebiete im kristallinen Südschwarzwald einzubeziehen und, soweit möglich, im Hinblick auf Plausibilität der Abflusszeitreihen, mögliche Beeinflussung durch Aus- und Überleitungen und Zuverlässigkeit der Messung bei extremem Niedrigwasser zu beurteilen

#### 4.3.2 ÜBERTRAGBARKEIT AUF ANDERE HYDROGEOLOGISCHE REGIONEN

Physiographische Eingangsdatensätze<sup>1</sup> und zeitnah aktualisierte meteorologische Antriebsdaten<sup>2</sup> für das Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW liegen flächendeckend für ganz Baden-Württemberg vor. Gleiches gilt mit meteorologischen Zeitreihen bis 2010 auch für die Nachbarländer Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen. Weiterhin wurden für Baden-Württemberg und für die beiden zuerst genannten Nachbarländer auch schon Simulationen des Bodenwasserhaushalts mit den Klimaprojektionen WETTREG-2006 und WETTREG-2010 durchgeführt (KLIWA 2012), d.h. auch diese Szenariendaten liegen bereits in für das Bodenwasserhaushaltsmodell aufbereiteter Form vor. Damit können die von Speichermodellen für die Transformation der Sickerwasserbildung in Basisabflüsse und Quellschüttungen benötigten Eingangsdaten für beliebige Regionen des Landes bzw. der Nachbarländer mit sehr geringem Aufwand auch in der hochaufgelösten Form von Tageswerten ausgegeben werden, in welcher Sie aufgrund der großen Datenmenge üblicherweise nicht dauerhaft vorgehalten werden.

Hinsichtlich der zeitlich variablen Aufteilung der Sickerwasserbildung in schnelle laterale Komponenten und Grundwasserneubildung sowie deren Verzögerung im Gebietspeicher wird im Rahmen des KLIMOPASS Pilotprojektes eine auch auf andere Regionen übertragbare Methodik entwickelt, welche auch die Auswertung der simulierten Zeitreihen der Quellschüttung auf wasserwirtschaftlich relevante Niedrigwasserkenngrößen bzw. deren erwarteter Änderung umfasst. Die Auswahl der am besten geeigneten Speicheransätze und Bestimmung der Wertebereiche ihrer Modellparameter wird aber zunächst nur für das Kristallin des Südschwarzwalds durchgeführt. Für andere hydrogeologische Einheiten müssten entsprechende Wertebereiche durch Aneicherung an beobachtete Abflussganglinien im Rahmen von Folgeprojekten bestimmt werden.

#### 4.3.3 ZEITVARIANTE KORREKTUR DES GEBIETSNIEDERSCHLAGS

Im Zuge einer Untersuchung im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg (Morhard, 2013) wurde festgestellt, dass sich Änderungen im Niederschlagsmessnetz, d.h. das Hinzukommen, Wegfallen oder die Verlegung von Stationen, mitunter aber auch Veränderungen im Umfeld einer Station (Abschattung) oder an den Messgeräten deutlich auf die Abweichung zwischen simuliertem und beobachtetem Gesamtabfluss auswirken und eine über mehrere Jahre hinweg auf gleichem Niveau liegende Über- oder Unterschätzung der Gesamtabflussbildung bedingen können. In solchen Fällen muss davon ausgegangen werden, dass die Veränderung im Niederschlagsmessnetz zu einem größeren oder geringeren systematischen Fehler des regionalisierten Gebietsniederschlags führt, zumal sich zeigen lässt, dass eine fehlerhaft berechnete Verdunstung in vielen Fällen kaum als Erklärung in Frage kommt: so müsste im Pegeleinzugsgebiet der Kleinen Wiese im Zeitraum 1986-1995 eine Verdunstung von 717 mm/a stattgefunden haben um den

<sup>1</sup> Informationsebenen zu Landnutzung, Bodeneigenschaften, Topographie und Grundwasserflurabstand

<sup>2</sup> Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit, Windstärke und tägliche Sonnenscheindauer aus verschiedenen Messnetzen

regionalisierten Niederschlag auf die beobachteten Abflüsse zu reduzieren, von 2003-2010 trotz wärmerem Klima aber nur noch eine solche von 529 mm/a. In diesem Fall wird nach Aufgabe nahezu aller Niederschlagsstationen im Umfeld des Gebiets ein vermeintlicher Einbruch des Jahresniederschlags von 1684 mm auf nur noch 1437 mm unterstellt, während sich die beobachteten Abflusshöhen beider Zeiträume nur um -60 mm unterscheiden. Insofern ein solcher Wechsel von Zeiträumen mit unterschiedlich starker systematischer Unter- und/oder Überschätzung der Abflüsse die zuverlässige Bestimmung der Speichereigenschaften (Kalibrierung der Modellparameter) erschwert bis nahezu unmöglich machen kann, muss der Gebietsniederschlag dahingehend korrigiert werden, dass idealer Weise über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg der mehrjährig mittlere Gesamtabfluss zuverlässig wiedergegeben wird (und die invers bestimmten Parameter des Speichermodells die zeitliche Dynamik, d.h. die Verzögerung durch den Gebietspeicher steuern können ohne durch Fehler der Wasserbilanz beeinflusst zu werden).

Gleichwohl sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ohne eine solche Korrektur auftretenden "Niveausprünge" zwischen simuliertem und beobachtetem Gesamtabfluss, welche in benachbarten Einzugsgebieten oftmals in den gleichen Jahren auftreten, über den gesamten Südschwarzwald hinweg aber zu einer großen Zahl verschiedener Zeitpunkte (und somit eher nicht auf vom Bodenwasserhaushaltsmodell nicht adäquat nachvollzogene klimatische Einflüsse wie die Verdunstung in trockenen / feuchten Jahren oder Halbjahren zurückzuführen sind), dass dabei indes zwar häufig aber keineswegs immer eine Veränderung im Niederschlagsmessnetz der näheren Umgebung feststellbar ist. So bewirkt die Aufgabe der Station Bernau-Kaiserhaus im Juli 1976 offensichtlich einen Anstieg der in den Einzugsgebieten von Wiese, Wehra und Hauensteiner Alb simulierten Abflussbildung.

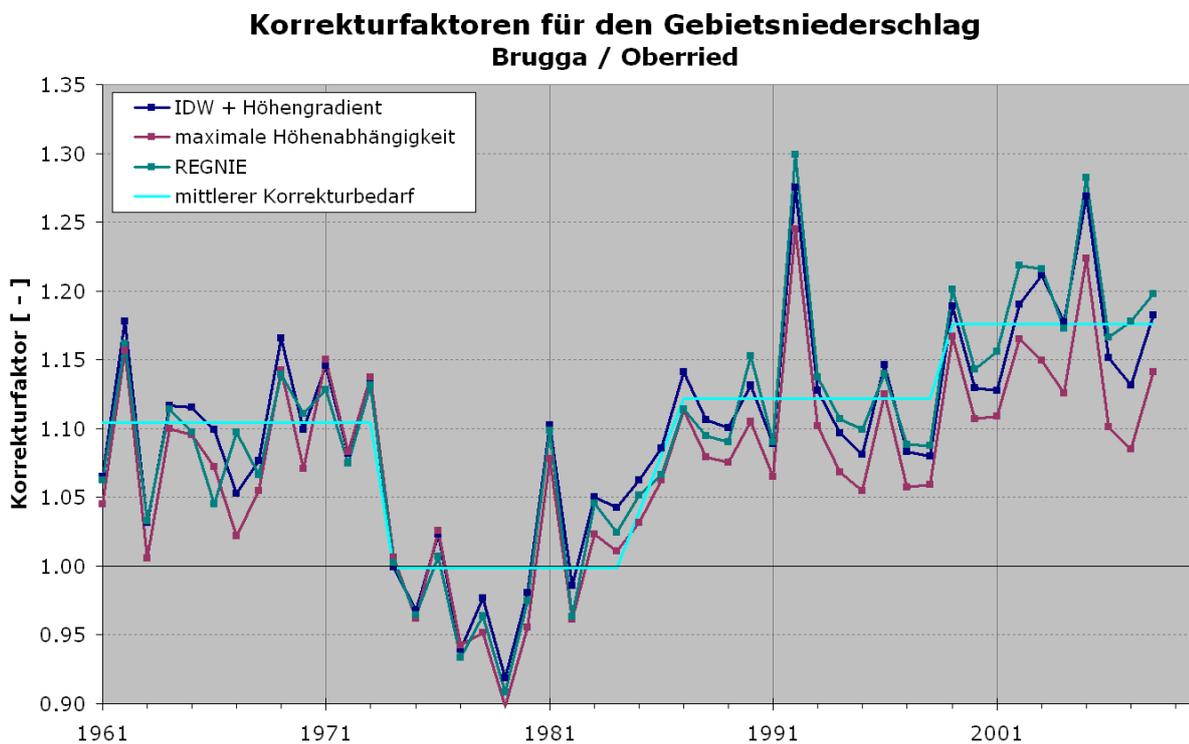
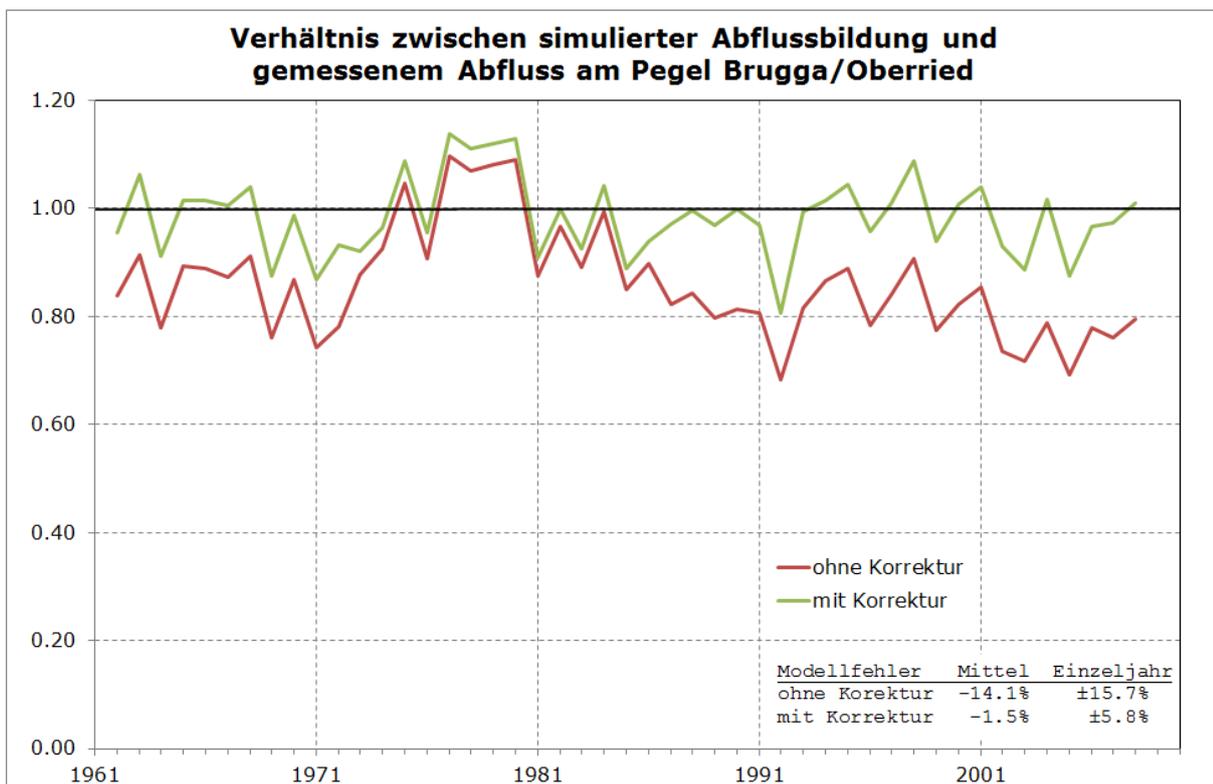


Abbildung 8: Beispiel für den zeitlich wechselnden Korrekturbedarf des Gebietsniederschlags

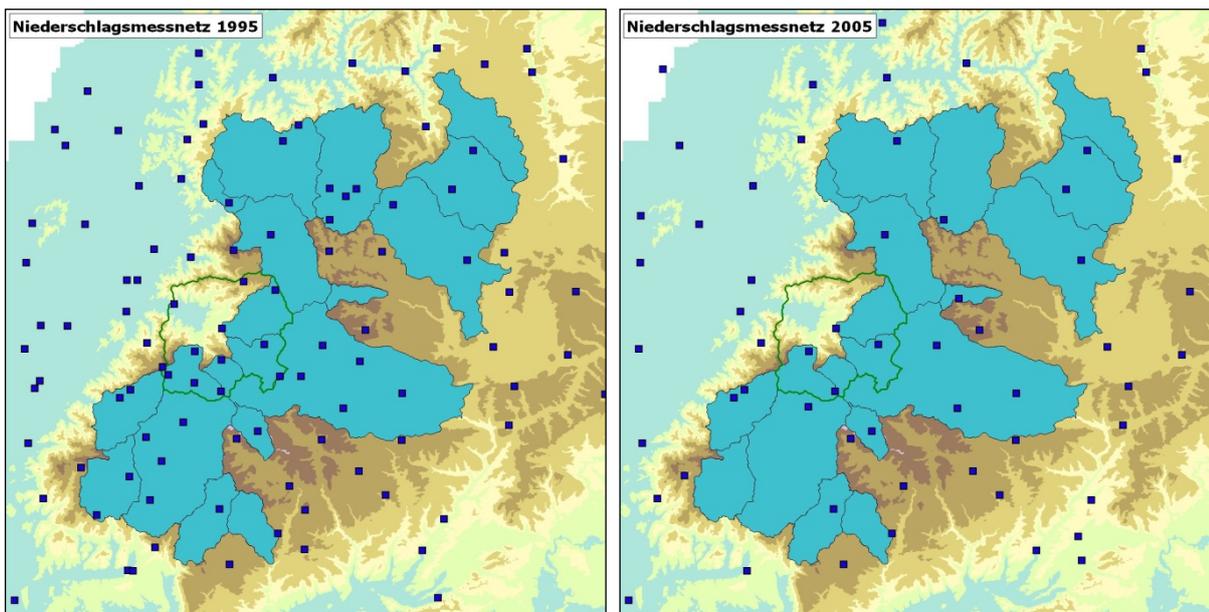
Ein weiteres Beispiel illustriert Abbildung 8 für das Einzugsgebiet der Brugga bei Oberried (1972 wurde die Station Obermünstertal eingerichtet; 1986 kommt die Station in Stegen hinzu; 1998 wurde die Station Oberried-Zastler aufgegeben und 2001/02 die Stationen Schauinsland, Hofgrund und St. Wilhelm. Die Niveausprünge treten unabhängig vom gewählten Regionalisierungsverfahren auf<sup>3</sup>). Wie bereits erwähnt, kommen neben Einrichtung, Aufgabe und kleinräumiger Verlegung von Stationen auch nicht dokumentierte Veränderungen an den Stationen selbst als Ursache in Frage, ebenso jedoch systematische Fehler der Abflussmessung durch Änderung der PQ-Beziehung.

Unabhängig von der Frage nach der jeweiligen Ursache konnte durch Vereinbarung zeitvarianter, dabei aber jeweils über etliche Jahre hinweg konstanter Korrekturfaktoren der Fehler der mit GWN-BW simulierten langjährig mittleren Gesamtabflussbildung im Mittel über die 37 berücksichtigten Pegeleinzugsgebiete im kristallinen Südschwarzwald von 12 auf 2,5% und jener des mittleren absoluten Fehlers im Einzeljahr von 14,6 auf 6,8% reduziert werden (wobei letzterer aufgrund der an dieser Stelle noch nicht erfolgten Berücksichtigung des Gebietspeichers weniger aussagekräftig ist, als die ebenfalls erfolgte graphische Prüfung auf etwa verbleibende bzw. durch die Korrektur weitgehend eliminierte "Niveausprünge"). Abbildung 9 zeigt die Auswirkungen der durchgeführten Bilanzkorrektur am Beispiel der Brugga bei Oberried.



**Abbildung 9: Beispiel für die Verbesserung der Modellgüte der mit GWN-BW simulierten Gesamtabflussbildung durch Korrektur des Gebietsniederschlags**

<sup>3</sup> Regionalisierung in GWN-BW oder REGNIE (Regionalisierungsverfahren des Deutschen Wetterdienstes)



**Abbildung 10: Niederschlagsmessnetz im Südschwarzwald in den Jahren 1995 und 2005**

Abbildung 10 verdeutlicht die im Niederschlagsmessnetz vor allem zwischen 2001 und 2005 vorgenommene Ausdünnung: dabei bleiben im Einzugsgebiet der Dreisam (grün) nur vier von zwölf Stationen übrig, in jenem der Wiese von vormals vier Stationen nur noch eine an dessen oberem Ende; von den sechs Niederschlagsstationen im Einzugsgebiet der Kleinen Wiese und dessen unmittelbarem Umfeld verbleibt nur noch eine etwas außerhalb gelegene.

#### 4.3.4 ÄNDERUNG VON BODENWASSERHAUSHALT UND SICKERWASSERBILDUNG

Bereits in der ersten Projektphase abgeschlossen werden konnte die Simulation von Bodenwasserhaushalt und Sickerwasserbildung mit GWN-BW auf Grundlage der Klimaszenarien WETTREG-2006 und WETTREG-2010. Die Ergebnisse, welche die Verzögerung durch den Gebietspeicher noch nicht berücksichtigen, wurden im Hinblick auf die in der Zukunft zu erwartende Änderung der Sickerwasserbildung ausgewertet, insbesondere in dem als für die Niedrigwasserabflüsse und Minima der Quellschüttungen als maßgeblich identifizierten Sommerhalbjahr. Dabei zeigt sich die bereits aus früheren Bearbeitungen für Süddeutschland bekannte Charakteristik der beiden Klimaprojektionen: unter Verwendung der als moderat eingestuften Version WETTREG-2006 ist bei in der nahen Zukunft (2021-2050) über das Gesamtjahr hinweg gleich bleibender und in der fernen Zukunft (2071-2100) nur minimal abnehmender Sickerwasserbildung eine deutliche Verschiebung vom Sommer- ins Winterhalbjahr zu erwarten, welche gegenüber dem Ist-Zustand 1971-2000 für die Sommermonate in der nahen Zukunft einen Rückgang um 15-20 % und in der fernen Zukunft um bis zu 50 % bedeutet. Im als "worst case" eingeschätzten Szenario WETTREG-2010 (welches auch über das Gesamtjahr hinweg eine Abnahme der Grundwasserneubildung um zunächst 10-15 %, bis Ende des Jahrhunderts um bis zu 60% erwarten lässt) fällt die Abnahme im Sommerhalbjahr mit 34% (2021-2050) und 60 % (2071-2100) noch deutlicher aus.

In der zweiten Projektphase wurden entsprechende Rechenläufe auch auf Basis der Klimaprojektion CCLM Version 4.8 durchgeführt. Diese Szenarien liegen nur für die nahe Zukunft (201-2050) vor und weisen für diese über das Gesamtjahr hinweg sogar leicht steigende Niederschläge aus, die den Simulationsergebnissen nach auch zu einer erhöhten Abflussbildung führen. Dabei fällt die Verschiebung vom Sommer- ins Winterhalbjahr indes noch deutlicher aus als in den WETTREG Szenarien: einer deutlichen Zunahme von

Niederschlag und Sickerwasserbildung im Winterhalbjahr steht daher auch auf Grundlage von CCLM 4.8 eine Abnahme der Sickerwasserbildung im Sommerhalbjahr gegenüber (-11 %).

Insofern sich diese Betrachtung zunächst auf das Sommerhalbjahr und nicht auf die als für die Niedrigwasserabflüsse in der Region als maßgeblich identifizierten "minimalen Summen über drei bis vier bis in den Herbst hineinreichende Monate" bezieht und zudem der Einfluss des Gebietspeichers noch nicht berücksichtigt ist, müssen sich die zuvor genannten Änderungen der in langjährigen Mittel stattfindenden sommerlichen Sickerwasserbildung nicht in gleichem Maße auf die Minima der Quellschüttungen in extremen Einzeljahren auswirken – insbesondere dann nicht, wenn diese bereits historisch eine Folge von drei bis vier Monaten mit nahezu vollständigem Ausbleiben jeglicher Grundwasserneubildung waren. In diesem Fall würde eher eine Verlängerung solcher Perioden zu extremeren oder eine Häufung zu häufigerem Auftreten extremer Minima führen.

**Tabelle 3: Änderung der mittleren jährlichen Bilanzgrößen des Bodenwasserhaushalts auf Grundlage der Klimaprojektionen WETTREG-2006, WETTREG-2010 und CCLM 4.8 (Lufttemperatur = Temp, Niederschlag = Prec, Verdunstung = ETA, Gesamtabfluss = Qges)**

**WETTREG-2006 Re-Simulation**

Region	Temp [°C]	Prec [mm]	ETA [mm]	Qges [mm]
Kristallin	7.4	1363.1	654.4	707.1
Proj.Gebiet	6.5	1504.9	629.3	872.8

**Sommerhalbjahr**

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	12.8	668.6	476.7	200.5
Proj.Gebiet	11.9	701.6	473.5	253.5

**WETTREG-2006 "nahe Zukunft" 2021-2050**

Region	Temp [°C]	Prec [mm]	ETA [mm]	Qges [mm]
Kristallin	8.3	1378.2	675.2	701.5
Proj.Gebiet	7.3	1535.4	655.2	877.9

+0.6%

**Sommerhalbjahr**

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	13.7	633.0	472.4	169.5
Proj.Gebiet	12.7	665.9	475.1	208.5

-17.7%

**WETTREG-2006 "ferne Zukunft" 2071-2100**

Region	Temp [°C]	Prec [mm]	ETA [mm]	Qges [mm]
Kristallin	9.8	1356.3	689.1	666.5
Proj.Gebiet	8.8	1510.9	685.1	824.6

-5.5%

**Sommerhalbjahr**

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	15.0	546.9	445.7	106.7
Proj.Gebiet	14.0	578.6	458.0	125.8

-50.4%

**WETTREG-2010 Re-Simulation**

Region	Temp [°C]	Prec [mm]	ETA [mm]	Qges [mm]
Kristallin	7.5	1344.5	666.4	678.3
Proj.Gebiet	6.5	1491.5	627.9	863.8

**Sommerhalbjahr**

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	12.9	654.8	487.5	168.3
Proj.Gebiet	11.9	683.8	477.7	216.5

**WETTREG-2010 "nahe Zukunft" 2021-2050**

Region	Temp [°C]	Prec [mm]	ETA [mm]	Qges [mm]
Kristallin	9.0	1282.7	707.0	576.5
Proj.Gebiet	7.9	1430.6	676.2	755.8

-12.5%

**Sommerhalbjahr**

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	14.4	601.2	491.1	117.6
Proj.Gebiet	13.3	621.5	486.7	142.2

-34.3%

**WETTREG-2010 "ferne Zukunft" 2071-2100**

Region	Temp [°C]	Prec [mm]	ETA [mm]	Qges [mm]
Kristallin	11.2	1200.8	759.6	441.2
Proj.Gebiet	10.1	1342.7	747.7	595.2

-31.1%

**Sommerhalbjahr**

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	16.6	550.2	485.4	74.7
Proj.Gebiet	15.6	566.9	494.6	85.1

-60.7%

### CCLM 4.8 Re-Simulation

	Temp	Prec	ETA	Qges
Region	[°C]	[mm]	[mm]	[mm]
Kristallin	7.3	1308.4	543.6	763.1
Proj.Gebiet	6.6	1350.5	522.4	825.5

### Sommerhalbjahr

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	12.7	634.6	413.0	235.6
Proj.Gebiet	12.1	632.2	407.5	253.7

### CCLM 4.8 "nahe Zukunft" 2021-2050

	Temp	Prec	ETA	Qges
Region	[°C]	[mm]	[mm]	[mm]
Kristallin	8.4	1375.4	564.7	808.9
Proj.Gebiet	7.8	1410.4	545.9	861.8

4.4%

### Sommerhalbjahr

Region	Temp	Prec	ETA	Qges
Kristallin	13.9	632.1	412.6	227.8
Proj.Gebiet	13.4	625.1	408.0	225.9

-11.0%

#### 4.3.5 AUFTEILUNG IN SCHNELLE LATERALE KOMPONENTEN UND GRUNDWASSERNEUBILDUNG

Die mit GWN-BW berechnete, den Bereich der durchwurzelten Bodenzone verlassende Sickerwassermenge unterliegt einer Aufteilung in schnelle laterale Abflusskomponenten und Grundwasserneubildung. Während die schnellen Komponenten mit geringer zeitlicher Verzögerung von wenigen Stunden bis Tagen zum Abfluss kommen, reagiert der Grundwasserspeicher, welcher die Quellschüttungen und Basisabflüsse der Oberflächengewässer speist, deutlich langsamer. Nach umfangreichen Analysen zum möglichen Zusammenhang zwischen dem aus der Abflussganglinie ermittelten Anteil schneller Komponenten am Gesamtabfluss und der Vorfeuchte in einem Zeitraum von 1-30 Vortagen, wurde für die aktuelle Bearbeitung an einer zeitlich konstanten Aufteilung festgehalten: zur Abschätzung der Zuflüsse in den Grundwasserspeicher wurde die mit GWN-BW berechnete tägliche Sickerwassermenge unabhängig von Jahreszeit und Vorfeuchte mit dem für das jeweilige Pegelinzugsgebiet aus der Abflussganglinie ermittelten langjährig mittleren Verhältnis zwischen Basisabfluss (separiert nach WMO 2009) und Gesamtabfluss multipliziert.

Die Betrachtung des möglichen Zusammenhangs zwischen dem Anteil schneller Abflusskomponenten und der Bodenfeuchte der 1-30 Vortage (mit linearer oder mit der Zeit abnehmender Gewichtung) erbrachte keine Hinweise darauf, dass ein solcher Zusammenhang vorhanden ist, d.h. die Aufteilung in schnelle und langsame Komponenten im Südschwarzwald maßgeblich von der Bodenfeuchte gesteuert würde (Untersuchung für 38 Pegelinzugsgebiet im Südschwarzwald). Es wurde kein Zusammenhang zwischen dem Verhältnis Interflow/Qges(GwnBw) und der Bodenfeuchte von [1..30] Vortagen gefunden. Die Auswertungen bestätigen die Erwartung höherer Anteile an Basisabfluss in den Monaten April bis September (im Mittel über die betrachteten Gebiete ca. 60 %) im Vergleich zum Zeitraum Oktober bis März (50 %). Diese sind auf die im Sommer deutlich geringere Abflussbildung und den dann höheren relativen Beitrag des im Winterhalbjahr aufgefüllten und erst allmählich auslaufenden Grundwasserspeichers zurückzuführen. Unerwartet ist der auch im Sommer relativ hohe Anteil an schnellen Abflusskomponenten, welcher seine Ursache in der im klimatisch ganzjährig feuchten Hochschwarzwald auch im Sommer erheblichen Sickerwasserbildung hat. Die im Rahmen des KLIMOPASS Projekts gewonnen Erkenntnisse legen nahe, dass die Aufteilung der Sickerwasserbildung in schnelle laterale Komponenten und Grundwasserneubildung im Südschwarzwald im Normalfall nicht maßgeblich von der Vorfeuchte abhängt<sup>4</sup>. Dabei bezieht sich die getroffene Feststellung auf die nach dem gewählten Verfahren (WMO 2009) vorgenommene Separation der Abflusskomponenten. In künftigen Studien könnte jedoch eine mögliche Abhängigkeit von anderen

<sup>4</sup> was allerdings nicht bedeutet, dass eine weitgehende Sättigung nicht als einer unter mehreren Faktoren für die Entstehung extremer Hochwässer relevant ist

Faktoren, insbesondere von der Höhe der täglichen Sickerwasserrate, oder für nach anderen Methoden abgetrennte Anteile schneller Komponenten untersucht werden.

#### 4.3.6 SPEICHERKONZEPTE UND PARAMETER FÜR DEN KRISTALLINEN SÜDSCHWARZWALD

Die mit GWN-BW berechnete, durch Multiplikation mit dem langjährig mittleren Verhältnis aus Basisabfluss und Gesamtabfluss auf Werte für die Grundwasserneubildung reduzierte tägliche Sickerwassermenge wurde als Input-Funktion für acht verschiedene Speichermodelle (Stölzle et al. 2014) verwendet und für 38 Pegelinzugsgebiete im überwiegend kristallinen Südschwarzwald für alle acht Speicheransätze mittels inverser Modellierung die Modellparameter bestimmt, mit denen die jeweils beste Übereinstimmung zwischen beobachtetem und simuliertem grundwasserbürtigem Basisabfluss erreicht wird. Als Kriterien für die Modellgüte wurde eine Kombination aus dem Nash-Sutcliffe Koeffizienten (NSE) und der mittleren relativen Abweichung (MARE) verwendet, wobei das zuerst genannte Kriterium stärker auf die Beschreibung der zeitlichen Dynamik, das zweite stärker auf jene der absoluten Werte der beobachteten Basisabflüsse abhebt.

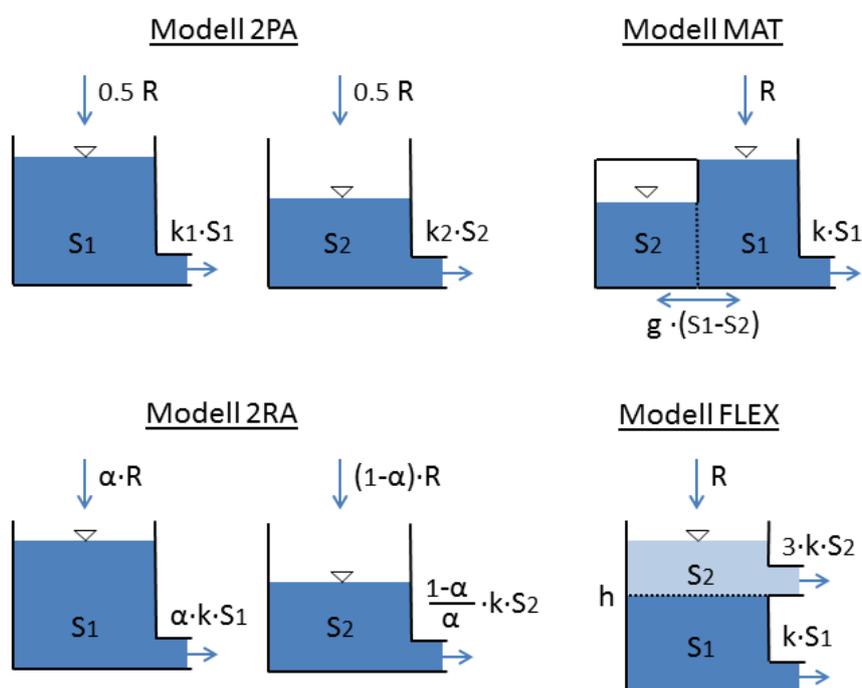
Über alle 38 Pegelinzugsgebiete hinweg erweisen sich unter den acht getesteten Speichermodellen vier als in etwa gleichermaßen geeignet, um die beobachteten Basisabflüsse nach Volumen und zeitlicher Dynamik zu reproduzieren:

- 2PA = zwei parallele Linearspeicher mit gleichmäßig aufgeteiltem Zufluss aber unterschiedlichen Speicherkonstanten
- 2RA = zwei parallele Linearspeicher, bei denen die Aufteilung der Zuflüsse in umgekehrtem Verhältnis zur Relation der Speicherkonstanten steht
- FLEX = Linearspeicher, bei dem ab einer bestimmten Speicherfüllung das zusätzlich gespeicherte Wasser dreimal so schnell abgegeben wird
- MAT = Linearspeicher mit Gradient-gesteuerter Zwischenspeicherung in der feiner geklüfteten Matrix

Für diese vier Modelle, deren Funktionsweise in Abbildung 11 graphisch verdeutlicht wird, wurde jeweils der über die 38 Pegelinzugsgebiete hinweg auftretende Wertebereich ihrer beiden Parameter ausgewertet, wobei eines der Gebiete mit allen Speicherkonzepten schlecht (Menzenschwander Alb) und ein weiteres (Elz/Rohrhardsberg) nur von einem Modell (2PA) gut simuliert wird. Für zwei weitere Einzugsgebiete (Rötenbach und Neumagen) ist die Modelleffizienz aller vier Modelle mäßig und für zwei Zeitreihen (Gutach/Gutach, Schutter/Lahr) liefert bei akzeptabler Anpassung der drei anderen in die engere Wahl gezogenen Speicheransätze nur FLEX vergleichsweise schlechte Ergebnisse. Für diese beiden Einzugsgebiete wird für das Modell FLEX ein ungewöhnlich hoher Schwellenwert  $h$  gefunden, ab welchem der schnelle Speicher anspringt (950-975 mm statt in 34 der 38 Gebiete 30-160 und einmal 230 mm<sup>5</sup>). Bei der Modellauswahl sollte also zusätzlich berücksichtigt werden, dass FLEX die Basisabflüsse einiger weniger Gebiete deutlich schlechter beschreibt als dies in seiner im Mittel erreichten Modellgüte zum Ausdruck kommt, dass dieser Ansatz also offenbar nicht für alle Pegelinzugsgebiete im Kristallin des Südschwarzwalds gleichermaßen geeignet ist.

---

<sup>5</sup> zwei weitere Pegelinzugsgebiete mit großen Schwellenwerten  $h$  von 875 und 975 mm werden mit dem Modell FLEX zwar ordentlich simuliert aber schlechter als mit den drei anderen in die engere Wahl gezogenen Speicheransätzen



**Abbildung 11: Schematische Darstellung der für den Südschwarzwald am besten geeigneten Speicherkonzepte**

Insofern es sich bei allen in Betracht gezogenen Speicheransätzen um solche mit zwei Modellparametern handelt, muss für die Eingrenzung des Parameterraumes, welcher die gesamte Bandbreite zwischen den am schnellsten und den besonders langsam auslaufenden Grundwasserspeichern abdeckt, zunächst geprüft werden, ob zwischen den Werten der beiden Parameter eine Korrelation besteht und/oder bestimmte Kombinationen der von beiden Parametern angenommenen Extremwerte auszuschließen sind. Eine entsprechende Prüfung erfolgte graphisch durch Auftrag der in den Pegelinzugsgebieten mit zufriedenstellender Modellgüte für die beiden Modellparameter gefundenen Werte auf der x- (erster Parameter) und y-Achse (zweiter Parameter). Im vorliegenden Fall treten für die Speicheransätze 2PA, 2RA und MAT jeweils alle Kombinationen aus geringen/hohen Werten beider Modellparameter auf. Lediglich für das Modell FLEX ist dies nicht der Fall: für dieses Modell werden mit steigender Speicherkonstante  $k$  (hohe Dynamik) nur noch die kleinen Werte für den Schwellenwert  $h$  gefunden, d.h. Kombinationen aus großen Werten für  $k$  und zugleich großem Schwellenwert  $h$  treten nicht auf.

Im Rahmen der Dissertation von Stölzle (2014) wurden die Modellparameter der in Betracht gezogenen Speicherkonzepte für neun Pegelinzugsgebiete aus dem gesamten Schwarzwald bestimmt. Insofern die Grundwasserspeicher dieser Einzugsgebiete teils im Kristallin und teils im deutlich ergiebigeren Buntsandstein liegen und in der zitierten Arbeit eine deutliche Differenzierung der gefundenen Parameterwerte (Speicherverhalten) gegenüber anderen in Baden-Württemberg vertretenen hydrogeologischen Einheiten festgestellt wurde, wurde zu Beginn der KLIMOPASS Bearbeitung davon ausgegangen, dass eine solche Differenzierung auch innerhalb des Schwarzwaldes zwischen dem Buntsandstein einerseits und dem Kristallin andererseits besteht, d.h. für die Einzugsgebiete im kristallinen Südschwarzwald bzw. im KLIMOPASS Projektgebiet ein im Vergleich zu den von Stölzle für Kluftaquifere in beiderlei Gestein vorgelegten Ergebnissen engerer Wertebereich der Modellparameter beobachtet werden würde. Diese Annahme bestätigt sich indes nicht:

- der für das Modell FLEX für den Südschwarzwald gefundene Wertebereich ist sogar größer als der von M. Stölzle für eine geringere Anzahl von Kluftgrundwasserleitern aus dem gesamten Schwarzwald beobachtete:

Südschwarzwald:  $k = 0.0085 \rightarrow 0.0375$  [1/d] |  $h = 30 \rightarrow 230$  [mm]

Stölzle (2014):  $k = 0.0080 \rightarrow 0.0160$  [1/d] |  $h = 30 \rightarrow 150$  [mm]

- für das Speicherkonzept 2PA wird bei minimal größerer Spannweite für  $k_2$  im Kristallin ein enger Wertebereich der Speicherkonstanten  $k_1$  gefunden als über den gesamten Schwarzwald hinweg; insofern  $k_1$  den bei Niedrigwasser relevanten langsamer auslaufenden Speicher beschreibt, bedeutet dies tatsächlich eine engere Eingrenzung bezüglich der für Trockenphasen maßgeblichen Speichervermögens

Südschwarzwald:  $k_1 = 0.002 \rightarrow 0.022$  [1/d] |  $k_2 = 0.050 \rightarrow 0.175$  [1/d]

Stölzle (2014):  $k_1 = 0.004 \rightarrow 0.011$  [1/d] |  $k_2 = 0.050 \rightarrow 0.230$  [1/d]

- für das Modell 2RA ergibt sich im überwiegend kristallinen Südschwarzwald indes wieder ein etwas größerer Wertebereich der Modellparameter als von Stölzle für eine geringere Anzahl von Einzugsgebieten über den gesamten Schwarzwald hinweg gefunden:

Südschwarzwald:  $a = 0.140 \rightarrow 0.310$  [1/d] |  $k_1 - k_2 = 0.026 \rightarrow 0.080$  [1/d]

Stölzle (2014):  $a = 0.225 \rightarrow 0.300$  [1/d] |  $k_1 - k_2 = 0.020 \rightarrow 0.070$  [1/d]

Die größere Anzahl untersuchter Einzugsgebiete führt also trotz des einheitlichen Gesteins zu einer weiteren Spreizung der beobachteten Speichereigenschaften. Dies kann nicht zuletzt auch dadurch als belegt gelten, dass sich für die Mehrzahl der Modellparameter die Wertebereiche in den komplett im Kristallin gelegenen Pegelinzugsgebieten nicht von denen der Gebiete mit Anteilen anderer Gesteine (Buntsandstein und Muschelkalk) unterscheiden.

Auch im Bereich des KLIMOASS Projektgebietes, welches seinerseits nur einen begrenzten Teilraum des kristallinen Südschwarzwaldes darstellt, scheint unter Berücksichtigung der dort geringeren Anzahl vorliegender Abflusszeitreihen mit wenigen Einschränkungen in etwa die gleiche Bandbreite zwischen schneller und langsamer auslaufenden Grundwasserspeichern aufzutreten, wie sie über den gesamten kristallinen Südschwarzwald hinweg angetroffen wird, d.h. die für die Einzugsgebiete im KLIMOPASS Projektgebiet gefundenen Modellparameter streuen über die gesamte für den Südschwarzwald gefundene Spannweite. Dabei liegen die Einzugsgebiete der Pegel mit fragwürdig hohem Schwellenwert  $h$  für das Modell FLEX<sup>6</sup> und teilweise schlechter Anpassung dieses Modells allesamt außerhalb des Projektgebiets – der Wertebereich dieses Parameters kann damit für weitere Betrachtungen für das KLIMOPASS Projektgebiet in jedem Fall auf das vertrauenswürdige Maximum von etwa 250 mm eingeschränkt werden. Für das Speicherkonzept MAT liegen die im engeren Projektgebiet gefundenen Werte des Parameters  $g$ , welcher den Austausch zwischen hydraulisch wirksamem Kluftsystem und feiner geklüfteter Matrix steuert, sehr konstant bei 0.009 bis 0.011 (über den gesamten Südschwarzwald hinweg zwischen 0.005 und 0.020). Mit Blick auf die innerhalb des engeren Projektgebietes auftretende Differenzierung zwischen schneller und

<sup>6</sup> Gutach/Gutach, Schutter/Lahr, Schutter/Wittelbach und Schiltach/Hinterlehengericht

langsamer auslaufenden Speichern fallen die Einzugsgebiete von Mettma und Hauensteiner Murg (für einige Speicherkonzepte auch jenes der Steina) durch kleine Speicherkonstanten auf, wobei die Mettma eine für die Region relativ geringe Abflussspende von 21.7 [l/s/km<sup>2</sup>] aufweist, die Hauensteiner Murg dagegen eine selbst für den Südschwarzwald hohe von 45 [l/s/km<sup>2</sup>]. Umgekehrt werden für die Einzugsgebiete von Wiese und Hauensteiner Alb, beides Gebiete mit ebenfalls hoher Abflussbildung, durchweg große Werte der Speicherkonstanten  $k$  (schnelles Auslaufen) gefunden. Hauensteiner Murg und Mettma haben aber eher kleine Einzugsgebiete (20-25 km<sup>2</sup>), jene von Hauensteiner Alb und Wiese sind mit 100-200 km<sup>2</sup> deutlich größer, weshalb eine mögliche Abhängigkeit der Modellparameter von der Größe der Einzugsgebiete geprüft wurde.

Die Prüfung einer möglichen Abhängigkeit der gefundenen Modellparameter von der mittleren jährlichen Abflusshöhe oder der Größe der Einzugsgebiete wurde zur Gewährleistung eines ausreichend großen Stichprobenumfangs auf Grundlage der mehr als 30 mit befriedigender Modellgüte simulierten Pegel-einzugsgebiete aus dem gesamten kristallinen Südschwarzwald durchgeführt. Dabei scheinen nur die Parameter  $k_2$  des Modells 2PA (Auslaufen des schnelleren Speichers), die Aufteilung  $a$  für das Modell 2RA (zunehmender Anteil der Grundwasserneubildung gelangt in den langsameren Speicher, welcher dann aber auch schneller ausläuft) und der Schwellenwert  $h$  für das Modell FLEX (Schwellenwert, ab dem zusätzlich gespeichertes Wasser schneller wieder abgegeben wird) bei jeweils nur geringem Bestimmtheitsmaß in Einzugsgebieten mit höherem Wasserumsatz tendenziell zu steigen. Weit auffälliger ist, dass mit zunehmender Größe der Einzugsgebiete die Bandbreite der Speicherkonstanten aller vier favorisierten Modelle abnimmt bzw. in kleinen Teilgebieten mit einer größeren Spannweite zu rechnen ist. Gleiches gilt auch für den Schwellenwert  $h$  des FLEX Modells und den Parameter  $a$  für das Speicherkonzept MAT. Ausgewählte Beispiele hierfür sind in Anhang 4 beispielhaft dargestellt.

#### 4.3.6.1 MODELLGÜTE FÜR DEN BASISABFLUSS DER PEGELEINZUGSGEBIETE

Die Bestimmung der Modellparameter (Speicherkonstanten), mit denen für die gewählten Speicherkonzepte in den einzelnen Pegel-einzugsgebieten die jeweils beste Übereinstimmung zwischen beobachtetem und simuliertem grundwasserbürtigem Basisabfluss erreicht wird, erfolgte anhand objektiver Kriterien (Nash-Sutcliffe Koeffizient und mittlere relative Abweichung), welche die erreichte Güte der Modellanpassung durch einen einzigen Zahlenwert zum Ausdruck bringen. Dabei würde eine Modelleffizienz von 1.0 die exakte Übereinstimmung zwischen simulierten und beobachteten Basisabflüssen anzeigen, ein Wert von 0.0 darauf hinweisen, dass das Modell die beobachtete Ganglinie nicht besser beschreibt, als der Mittelwert der Zeitreihe. Hohe Werte der Modelleffizienz bedeuten damit eine gute Anpassung, mäßige Werte der objektiven Gütekriterien hingegen sind weit schwieriger zu interpretieren. Dies liegt einerseits darin begründet, dass bei stark dynamischen Systemen schon ein geringer zeitlicher Versatz zwischen simulierten und gemessenen Werten zu relativ schlechten Gütemaßen führen kann, aus Sicht des Anwenders ein geringfügiger zeitlicher Versatz aber vielleicht durchaus vertretbar ist, so lange die Dynamik der Ganglinie grundsätzlich gut reproduziert wird. Zugleich lässt sich die zu optimierende Zielfunktion für das Modell in vielen Fällen gar nicht eindeutig festlegen, was auch auf die vorliegende Fragestellung zutrifft. Dabei besteht eine Problematik in der Separation von Basisabfluss und schnellen Komponenten, eine zweite (teilweise damit verknüpfte) in der Frage, welche Teile der Ganglinie das Modell möglichst zuverlässig abbilden soll.

In Anhang 5 sind für zwei Pegel-einzugsgebiete im KLIMOPASS Projektgebiet und drei Trockenjahre mit prekärer Niedrigwassersituation (1976, 1985 und 2003) die Abtrennung der Basisabflüsse aus der Abflussganglinie und die Ganglinien der mit den vier favorisierten Speichermodellen simulierten Basisabflüsse dargestellt. Dabei handelt es sich bei der Mettma um ein Gebiet, das mit einer kombinierten

Modelleffizienz von (je nach Speicherkonzept) 0.75 bis 0.785 zu den besser simulierten gehört, während die Hauensteiner Alb mit Gütemaßen von 0.61 bis 0.66 eines der am schlechtesten simulierten Einzugsgebiete ist. Die Darstellung der aus den Abflussganglinien separierten Basisabflüsse wurde um das Jahr 2001 ergänzt, bei dem es sich um ein Jahr handelt, in dem die an den Oberflächengewässern beobachteten Minima besonders hoch ausfielen. Dabei fällt unter den drei Jahren, welche zu einer ausgeprägten Niedrigwassersituation führten, zunächst deren jeweils unterschiedliche Entwicklung auf: im Jahr 1976 war schon der vorangehende Winter von geringen Abflüssen geprägt; ab Februar gehen diese kontinuierlich weiter zurück bis im September das Minimum erreicht wird. Im Jahr 2003 stellt sich ausgehend von einem feuchten Winter mit bis Mitte Januar sehr hohen Abflüssen nach einem kleineren Hochwasserereignis im März ein ähnlicher, sich über den ganzen Sommer hinziehender Rückgang ein. Und im Jahr 1985 waren die Abflüsse zwar bis Mai/Juni ungewöhnlich hoch, gingen aber bis Ende September und in den Oktober hinein trotzdem auf einen vergleichbar geringen Restabfluss zurück. Die drei auffälligsten Niedrigwasserjahre der letzten vier Jahrzehnte weisen damit eine jeweils völlig unterschiedliche Charakteristik hinsichtlich der innerjährlichen Dynamik des Abflussgeschehens auf und die drei Niedrigwassersituationen entwickelten sich ausgehend von einem völlig unterschiedlichen Abflussgeschehen im vorhergehenden im Winter und Frühsommer: auf einen trockenen Winter, einen feuchten Winter und sogar auf einen Mai mit hohen Abflüssen und gut gefüllten Speichern folgen jeweils besonders geringe Abflüsse im Herbst. Diese Beobachtung deckt sich mit der schon in Abschnitt 4.2.2 getroffenen Feststellung, dass für extreme Niedrigwasser im Südschwarzwald nahezu ausschließlich die über drei bis vier Monate hinweg ausbleibende Grundwasserneubildung extrem trockener Sommermonate oder das Ausbleiben von Niederschlag und Sickerwasserbildung im Herbst maßgeblich sind, die Speicher dabei aufgrund ihres schnellen Leerlaufens nicht nennenswert von einer hohen Grundwasserneubildung weiter zurückliegender Zeiträume, insbesondere des vorangegangenen Winterhalbjahres profitieren.

Weiterhin fällt beim Blick auf die Abflussganglinien deren enorme Dynamik auf und in diesem Zusammenhang auch die großen Unterschiede zwischen den dicht benachbarten Einzugsgebieten von Mettma und Hauensteiner Alb im Jahr 2001: während der Gebietsspeicher im Einzugsgebiet der Mettma nach dem Maximum im April einigermaßen kontinuierlich leerläuft und nur noch kleinere Spitzen auf die Abflussganglinie aufgesetzt sind, verursachen die Niederschlagsereignisse des Sommerhalbjahres an der Hauensteiner Alb immer wieder starke Hochwasserereignisse. An beiden Gewässern ist unschwer zu erkennen, dass während der mehrwöchig andauernden Phase extrem hoher Abflüsse im April/Mai 2001 mit gewählten Verfahren (WMO, 2009) auch ein sehr hoher Basisabfluss ausgewiesen wird, dessen die sonst üblichen Basisabflüsse um ein mehrfaches übertreffende Spitze den Verdacht nahelegt, dass es sich dabei zu großen Teilen doch eher um schnelle laterale Komponenten handeln könnte. Der gleiche Effekt ist an der Wehra auch im Februar 1985 zu beobachten, in dem an Hauensteiner Alb und Mettma eine überzeugende Abtrennung erfolgt. Es ist also nicht auszuschließen, dass mit dem Verfahren nach WMO (2009) in mehrwöchigen feuchten Perioden fälschlicher Weise auch Anteile schneller Komponenten als Basisabfluss separiert werden.

Gerade dieser zuletzt genannte Umstand erschwert die Festlegung einer objektiven Zielfunktion für die Speichermodelle. Einerseits sollen diese das Verhalten des Grundwasserspeichers idealer Weise nicht nur in extremen Niedrigwassersituationen sondern seine gesamte Dynamik zwischen Zuständen hoher Füllung und seinem Auslaufen beschreiben. Zugleich ist aber zweifelhaft, zu welchen Zeitpunkten die mit dem Separationsverfahren abgeleiteten Beobachtungsdaten nicht vielleicht doch größere Anteile schneller Komponenten enthalten, die in Wahrheit einen anderen Speicher durchlaufen. Vor diesem Hintergrund hätte die Modellanpassung durchaus auch an logarithmierte Zeitreihen erfolgen können, um eine bessere

Anpassung an die auslaufenden Äste der Abflussganglinie zu erreichen. Die für die vorgenannten Trockenjahre erstellten Diagramme zeigen allerdings, dass die gefundenen Speichermodelle die historischen Niedrigwassersituationen in den meisten Fällen sehr zuverlässig beschreiben. Das nicht mehr durch Neubildungsimpulse unterbrochene Auslaufen der Speicher wird sehr gut nachvollzogen, schlecht getroffen werden demgegenüber häufig die Spitzen, bei denen gemäß der vorstehenden Ausführungen aber auch nicht unbedingt davon ausgegangen werden kann, dass es sich dabei einzig um den Abfluss aus dem Grundwasserspeicher handelt. Ähnliches gilt in Fällen, in denen das Verfahren zur Ganglinienseparation während langer feuchter Perioden in Ermangelung weiterer Stützpunkte gerade Verbindungslinien zieht, welche vom Speichermodell naturgemäß kaum nachvollzogen werden können. Entscheidend für die Fragestellung im KLIMOPASS Projekt ist demgegenüber das Erreichen der korrekten Minima in den Jahren mit besonders ausgeprägter Niedrigwassersituation. Dieses erfolgt (mit leichten Unterschieden zwischen den vier Speicheransätzen) in der Mehrzahl der Fälle und dabei insbesondere für Niedrigwassersituationen, welche sich ausgehend von höchst unterschiedlichen Vorbedingungen entwickelt haben.

Die durch die Abbildungen in Anhang 5 nur beispielhaft illustrierte Prüfung der Modellgüte wurde in gleicher Weise auch für weitere Pegelzugsgebiete durchgeführt (Wehra, Steina, Wiese, vgl. Abb. 13). Dabei werden das Auslaufverhalten und insbesondere die während der Niedrigwassersituationen erreichten Minima von den Modellen MAT und 2RA in fast allen Fällen entweder hervorragend oder immerhin gut getroffen. Einzige Ausnahme ist das an der Mettma erst im September 1976 erreichte Minimum, das die Modelle nach offensichtlich überschätzter oder in der Realität gar nicht aufgetretener Grundwasserneubildung Ende Juli nicht nachvollziehen können. Interessanter Weise steigt der Basisabfluss an der Hauensteiner Alb tatsächlich schon ab August wieder an und wird von den Modellen zuverlässig abgebildet. Mit dem Speicheransatz 2PA werden häufig aber nicht immer fast ebenso gute Ergebnisse erzielt, mit dem Modell FLEX ist dies seltener der Fall, insbesondere auch im Hinblick auf das Auslaufverhalten zu Beginn der Trockenperioden. Die Modell MAT und 2RA scheinen damit die mittlere Charakteristik der Speicher im Kristallin des Südschwarzwaldes besser zu beschreiben als 2PA und FLEX. Dies muss jedoch nicht zwangsläufig auf den Speicher in jedem Quelleinzugsgebiet zutreffen, schon gar nicht vor dem Hintergrund der höchst unterschiedlichen für die Wasserversorgung genutzten Quelltypen (Kluftaquifer und Bergbaustollen, Hangschuttdecken, Feuchtgebiete).

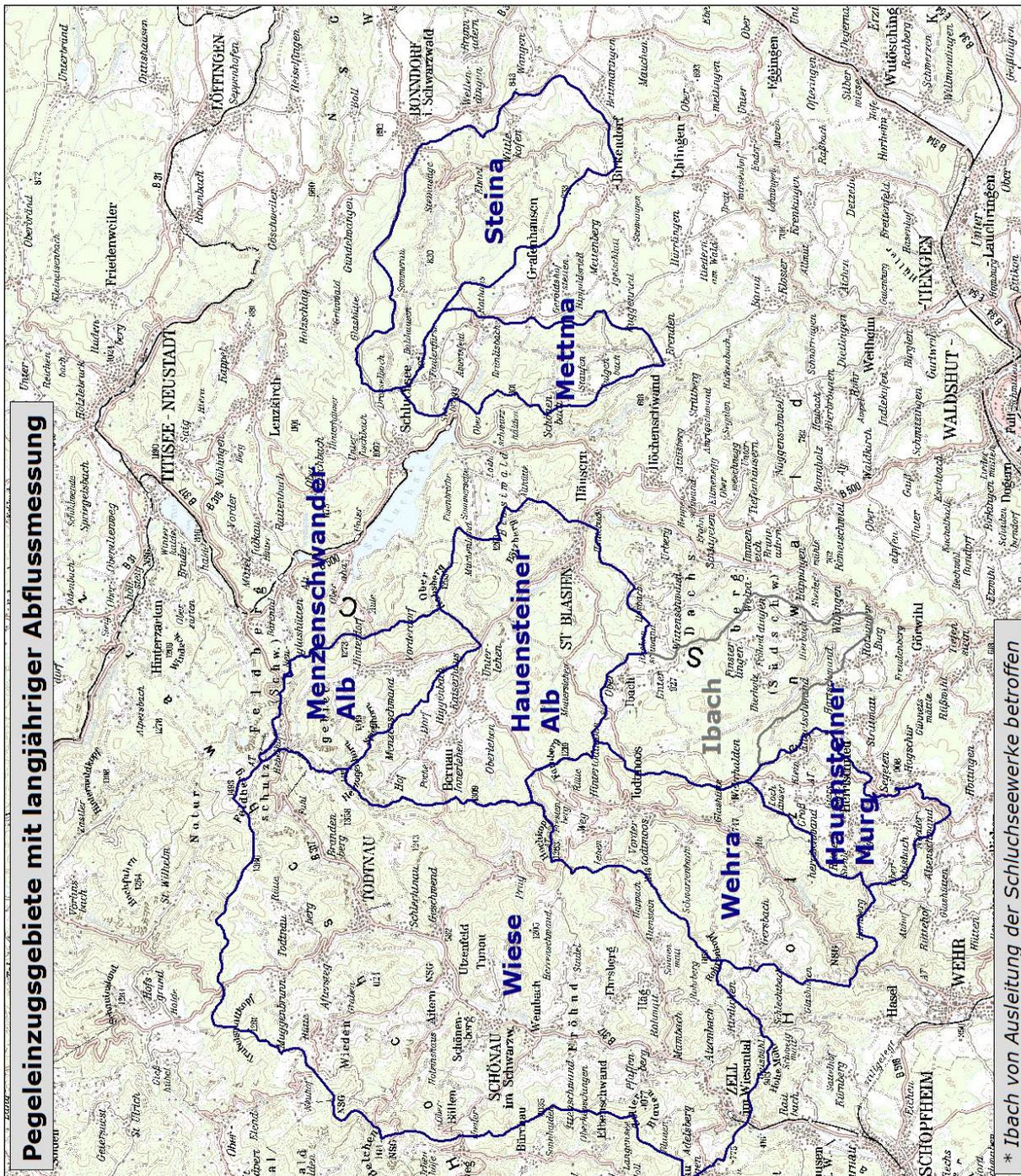


Abbildung 12: Pegeleinzugsgebiete mit langjähriger Abflussmessung im KLIMOPASS Projektgebiet

#### 4.3.7 ÜBERTRAGUNG VON PEGELEINZUGSGEBIETEN AUF EINZELNE QUELLEN

Wie im vorstehenden Abschnitt festgestellt wurde, nimmt die Bandbreite der Speicherkonstanten (schnelleres oder langsames Leerlaufen) sowie anderer Modellparameter zur Beschreibung der Speichereigenschaften im Kristallin des Südschwarzwalds mit abnehmender Größe der Pegeleinzugsgebiete zu. Damit ist für die noch deutlich kleineren Einzugsgebiete einzelner Quellen, für die solche Auswertung in Ermangelung langjähriger Zeitreihen täglicher Abflusswerte nicht möglich sind, mit einer mindestens ebenso großen, wenn nicht größeren, Bandbreite an Speichereigenschaften zu rechnen. Hinzu kommt die zuvor diskutierte Vielfalt an für die Trinkwasserversorgung genutzten Quelltypen, die ihr Wasser nur teilweise aus dem kristallinen Kluftgestein direkt beziehen und oftmals auch Hangschuttdecken oder Feuchtgebiete entwässern. Wenngleich auch die Basisabflüsse der Oberflächengewässer (in von Gebiet zu Gebiet unterschiedlicher Aufteilung) Anteile aus allen drei hydrogeologischen Herkunftsräumen beinhalten werden,

so steigt auch in dieser Hinsicht die Variabilität mit abnehmender Größe der hinter einzelnen Quelle stehenden Einzugsgebiete an, was nicht zwangsläufig eine noch größere Bandbreite des Auslaufverhaltens bedingen muss, denn dieses könnte auch für unterschiedliche Quelltypen ein ähnliches sein, aber durchaus eine weitere Zunahme eben dieser Bandbreite bedingen kann. Für die Untersuchung der möglichen Änderung der Quellschüttungen im KLIMOPASS Projektgebiet unter veränderten Klimabedingungen wurde daher die gesamte Bandbreite der für Pegelinzugsgebiete im überwiegend kristallinen Südschwarzwald gefundenen Speichereigenschaften angesetzt. Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich im Projektgebiet einzelne Quellen mit einem noch schnelleren oder noch langsameren Auslaufverhalten finden, es sollte aber die "übliche Bandbreite" des Auslaufverhaltens der Mehrzahl der im Untersuchungsgebiet befindlichen Quellen weitgehend abgedeckt sein. Gleiches gilt für die innerhalb des Projektgebiets auftretende Variabilität der meteorologischen Randbedingungen, des Klimasignals und anderer für die Sickerwasserbildung maßgeblicher Faktoren wie Bodeneigenschaften und Vegetation: indem eine Abschätzung der in Folge des Klimawandels erwarteten Änderungen für alle Pegelinzugsgebiete im engeren Projektgebiet durchgeführt wird, werden nicht unbedingt die extremsten in irgendeinem Quellinzugsgebiet denkbaren Kombinationen abgedeckt sein, durchaus jedoch die klimatische und physiographische Gebietsausstattung der Mehrzahl aller Quellen im Projektgebiet.

#### 4.3.8 ÄNDERUNG DER QUELLSCHÜTTUNG UNTER VERÄNDERTEN KLIMABEDINGUNGEN

Grundlage für die Abschätzung der Änderung der Quellschüttungen unter veränderten Klimabedingungen ist die Analyse des Auslaufverhaltens des Grundwasserspeichers ganzer Pegelinzugsgebiete, wobei die grundwasserbürtigen Basisabflüsse der Oberflächengewässer jeweils von einer größeren Zahl von Quellen mit unterschiedlichem Auslaufverhalten gespeist werden. Dazu wird die durch den Gebietspeicher erfolgende Transformation der um die Anteile schneller Komponenten auf Werte der Grundwasserneubildung reduzierten täglichen Sickerwassermenge in die aus den Quellschüttungen gespeisten Basisabflüsse im Sinne einer Ensemble-Betrachtung für acht Pegelinzugsgebiete im Projektgebiet mit vier verschiedenen, gleichermaßen geeigneten Speichermodellen und jeweils der gesamten Bandbreite der für diese Speichermodelle im gesamten kristallinen Südschwarzwald gefundenen Modellparameter simuliert. Für acht Einzugsgebiete mit Abdeckung der im Projektgebiet üblicher Weise anzutreffenden klimatischen und physiographischen Gebietsausstattung und 15 Modellvarianten<sup>7</sup> ergeben sich für jede zu betrachtende Klimaprojektion 120 Simulationsläufe. Als Projektionen der künftigen Klimaentwicklung wurde neben den in mehreren KLIWA Projekten eingesetzten Szenarien WETTREG2006 ("moderat") und WETTREG2010 ("*worst case*") mit jeweils zehn statistisch auszuwertenden Realisationen erstmals auch eine COSMO-CLM Projektion (Version 4.8) ausgewählt, für die drei Realisationen vorliegen, unter denen Lauf 3 mit dem schwächsten Klimasignal allerdings eine eindeutig zu geringe Globalstrahlung aufweist. Daher wurden alle Auswertungen sowohl über alle drei COSMO CLM Läufe hinweg als auch nur für die Läufe 1 und 2 durchgeführt.

- Simulation für acht Pegelinzugsgebiete im Projektgebiet
- mit vier Speicherkonzepten (2PA, 2RA, MAT, FLEX)
- jeweils gesamte Bandbreite des für Pegelinzugsgebiete im kristallinen Südschwarzwald gefundenen Auslaufverhaltens

---

<sup>7</sup> drei Speichermodelle mit vier und ein Modell mit drei Parameterkombinationen, welche die im kristallinen Südschwarzwald beobachtete Bandbreite schnell/langsam auslaufender Grundwasserspeicher aufspannen

- drei Klimaprojektionen (WETTREG2006, WETTREG2010, CCLM 4.8)

Gleichwohl wird die Simulation im Hinblick auf die weit kleineren Einzugsgebiete einzelner Quellen zwar einen großen Teil aber nicht unbedingt die gesamte Bandbreite der im Projektgebiet anzutreffenden Variabilität von Niederschlagsmenge und Speichereigenschaften abdecken. Ähnliches gilt für die Auswahl der drei Klimaprojektionen, wenngleich diese innerhalb der Bandbreite zu erwartender Änderungssignale, wie sie von der Vielzahl inzwischen verfügbarer Projektionen aufgespannt wird (vgl. LUBW 2013) jeweils eine Variante repräsentieren, welche ein für die Wasserversorgung eher mittleres oder besonders drastisches Szenario darstellen:

- WETTREG2006 und CCLM 4.8 unterstellen mit einem Anstieg der mittleren Jahrestemperatur um 1 °C<sup>8</sup> die von den meisten Klimamodellen erwartete Erwärmung. In WETTREG2010 fällt diese mit 1.5 °C relativ stark aus (es handelt sich um eine sehr warme aber nicht die extremste Projektion)
- die von CCLM 4.8 in der nahen Zukunft erwartete Änderung des mittleren Jahresniederschlags (+5 %) markiert diesbezüglich den Median der vorliegenden Klimaprojektionen; die Verschiebung vom Sommerhalbjahr in den Winter gehört dabei im Vergleich mit den anderen Szenarien zu den stärksten
- WETTREG2006 ist eine der trockeneren jedoch keineswegs die trockenste Klimaprojektion mit relativ deutlicher aber nicht extremer Verschiebung vom Sommer- ins Winterhalbjahr
- WETTREG2010 ist für die nahe Zukunft 2021-2050 die trockenste der vorliegenden Projektionen, sowohl was die Abnahme der Jahressummen als auch die Niederschlagsmengen der beiden Halbjahre betrifft

Damit stellen WETTREG2006 und CLM 4.8 in Baden-Württemberg zwei Varianten eines moderat verlaufenden Klimawandels dar, wobei WETTREG2006 eine etwas stärkere Abnahme des Jahresniederschlags unterstellt, CCLM 4.8 eine deutlichere Verschiebung von Sommer- ins Winterhalbjahr. WETTREG2010 markiert innerhalb der Bandbreite vorliegender Klimaprojektionen im Hinblick auf die Gefahr zunehmender Trockenheit den "*worst case*".

Alle drei verwendeten Klimaprojektionen treffen den landesweiten Mittelwert der gemessenen Lufttemperatur bei der Re-Simulation des Ist-Zustands 1971-2000 nahezu exakt und reproduzieren das landesweite Mittel des Jahresniederschlags mit hoher Genauigkeit, auch was die Aufteilung zwischen Sommer- und Winterhalbjahr betrifft. Gleiches gilt für die Anzahl der Tage ohne Niederschlag und das Auftreten von Trockenperioden.<sup>9</sup> Im Unterschied zu den WETTREG Daten wurden die CCLM Szenarien allerdings schon vor ihrer Bereitstellung einer Bias-Korrektur unterzogen.

Inwiefern die im KLIMOPASS Projektgebiet befindlichen Quellen mit halbwegs geeigneten Aufzeichnungen ihrer Schüttung (Länge und zeitliche Auflösung der Zeitreihen) eine vergleichbare oder teils geringere oder noch größere Dynamik aufweisen als die auf Maßstabsebene von Pegelinzugsgebieten betrachteten Modellvarianten, wird im Rahmen der Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

---

<sup>8</sup> in Baden-Württemberg für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber 1971-2000

<sup>9</sup> interessanter Weise stellt die für die LUBW (2013) vorgenommene Auswertung die im Rahmen dieser Bearbeitung bemängelte zu geringe Globalstrahlung in CCLM 4.8 "Lauf 3" nicht fest, sondern weist für diesen, wie für die beiden anderen Läufe, eine eher zu hohe kurzweilige Einstrahlung aus

(Abschnitt 4.3.8.4) diskutiert. Grundsätzlich ist in den Einzugsgebieten einzelner Quellen mit einer eher noch größeren Bandbreite an klimatischen Randbedingungen, Gebietsausstattung und Speichereigenschaften zu rechnen, wobei sich insbesondere die geologischen Verhältnisse zwischen den einzelnen Quellen stark unterscheiden können: im Projektgebiet werden Quellen genutzt, welche den Kluftaquifer, Hangschuttdecken oder Feuchtgebiete entwässern. Die Versorger nutzen aber in der Regel mehr als nur eine Quelle und/oder können einschätzen, ob die von ihnen genutzte(n) Quelle(n) zu eher schnellem oder langsamem Auslaufen tendieren. Vor allem nutzen sie nicht einseitig nur solche Quellen, die schon in der Vergangenheit häufig nahezu trocken gefallen sind. Die Tendenz der mit veränderten Klimabedingungen einhergehenden Änderung der Niedrigwasserschüttung lässt sich damit auch aus der Analyse der von jeweils einer Vielzahl von Quellen gespeisten grundwasserbürtigen Basisabflüsse ganzer Pegelinzugsgebiete abschätzen – und mehr als eine solche Abschätzung wird (ganz abgesehen von der Unsicherheit bezüglich des tatsächlichen Verlaufs der Klimaentwicklung) für Quellen ohne zeitlich hochaufgelöste Beobachtungsdaten ohnehin nicht erfolgen können.

#### 4.3.8.1 KLIMAPROJEKTION WETTREG2006 ("MODERAT")

Auf Basis der im Gesamtkontext vorliegender Klimaprojektionen im Hinblick auf die in Baden-Württemberg zu erwartende Änderung von Lufttemperatur und Niederschlag als "moderat" eingestuften WETTREG2006 Szenarien erfahren die Jahresmittel der grundwasserbürtigen Basisabflüsse und Quellschüttungen im KLIMOPASS Projektgebiet in der nahen Zukunft 2021-2050 gegenüber dem Ist-Zustand 1971-2000 mit -0.7 bis +1.7% praktisch keine Änderung. Es ist jedoch eine leichte Verschiebung vom Sommer (-11 %) in das Winterhalbjahr (+8.5 %) zu erwarten, wobei die angegebenen Beträge zunächst die Mittelwerte aus allen betrachteten Speichermodellen und Parameterkombinationen beschreiben und das Ausmaß der Verschiebung zwischen den untersuchten Pegelinzugsgebieten (durch die klimatische Differenzierung innerhalb des Projektgebietes bedingt) geringfügig variiert: so reichen die für den Sommer berechneten Abnahmen von -9 bis -15 % und die Zunahmen im Winterhalbjahr von +5 bis +11 %.

Werden für jedes Pegelinzugsgebiet nur jeweils die Modellparameter verwendet, mit denen im durch Abflussmessungen abgedeckten Zeitraum die bestmögliche Übereinstimmung zwischen simuliertem und beobachtetem Basisabfluss erreicht wurde, variieren die Abnahmen der mittleren grundwasserbürtigen Basisabflüsse im Sommer zwischen -7 und -16 %, die Zunahmen im Winterhalbjahr zwischen +5 und +12 %, mit der größten Verschiebung in den hochgelegenen und niederschlagsreichen Einzugsgebieten von Menzenschwander Alb und Hauensteiner Alb. Die im vorstehenden Satz angegebene Spannweite ist für die im KLIMOPASS Projekt vorliegende Fragestellung jedoch insofern nicht weiter von Bedeutung, als für die Wasserversorgung nicht die Änderung der Basisabflüsse ganzer Pegelinzugsgebiete von 20-100 km<sup>2</sup> von Interesse ist, sondern jene in den deutlich kleineren Einzugsgebieten einzelner Quellen. Wie stark diese ausfällt, hängt von den von Quelle zu Quelle variierenden Speichereigenschaften ab, d.h. ob der im Winter zusätzlich anfallende Abfluss noch im Winterhalbjahr selbst zum Abfluss gelangt oder auch noch dem Sommerhalbjahr zu Gute kommt: hier reicht die Spannweite von träge parametrisierten Modellen mit Abnahme um etwa 5 % im Sommer- und Zunahme um 5 % im Winterhalbjahr bis hin zu schnellen Speichern mit Rückgang um 20 % im Sommer und Zunahme um 10-15 % im Winter (in den am stärksten betroffenen Teilen innerhalb des Projektgebiets).

Aus den vorstehenden Betrachtungen, welche sich zunächst nur auf die im langjährigen Mittel zu erwartende saisonale Verschiebung der Quellschüttungen vom Sommer- ins Winterhalbjahr beziehen (und noch nicht auf für die Wasserversorgung kritische Trockenperioden), werden bereits zwei bedeutende Charakteristika

des Zusammenhanges zwischen Klimasignal und Schüttungsverhalten einzelner Quellen deutlich: das absolute Ausmaß der Änderung des Schüttungsverhaltens der einzelnen Quelle hängt ab von

- der Differenzierung von Klima (z.B. höherer/geringerer Niederschlag) und Klimasignal (etwas stärkere oder weniger starke Änderung) innerhalb des Projektgebietes
- den innerhalb des Projektgebietes und von Quelle zu Quelle variierenden Speichereigenschaften (Gestein und Auslaufkonstanten)

Die bei der Szenariensimulation berechneten absolut geringsten Werte aus 600 Modelljahren erweisen sich als kaum vernünftigerweise interpretierbar, zumal die beiden anderen verwendeten Klimaprojektionen einen mit 300 (WETTREG2010) und 90 Modelljahren (CCLM) deutlich geringeren Stichprobenumfang aufweisen, die jeweiligen Minima also mit höchst unterschiedliche Wiederkehrintervallen auftreten würden und nicht miteinander vergleichbar wären.

Statistisch sinnvoller auszuwerten und als Kenngröße für die Wasserwirtschaft brauchbarer ist die Änderung der Niedrigwassersituationen bzw. verbleibenden Quellschüttungen, welche einmal in zehn Jahren auftreten. Ausgewertet wurden der niedrigste Tageswert und die niedrigsten 7-Tages-Werte (Mittelwert über sieben Tage und über sieben aufeinander folgende Tage hinweg unterschrittener Wert). Dabei ergeben sich auf Basis des moderaten Szenarios WETTREG2006 im Mittel über alle Speichermodelle, welche die Bandbreite zwischen schneller und langsamer auslaufenden Quellen repräsentieren, in fast allen Einzugsgebieten im KLIMOPASS Projektgebiet für Quellen mit mittlerem Auslaufverhalten Abnahmen zwischen 5 und 10 %<sup>10</sup>. Zwischen den Trockenperioden eintägiger oder 7-tägiger Dauer sind hinsichtlich der zu erwartenden Änderung keine Unterschiede erkennbar, sehr wohl indes zwischen schneller oder langsamer auslaufenden Speichern. Dabei liegen die erwarteten Abnahmen in der nahen Zukunft 2021-2050 für den größten Teil der verwendeten Modelle und Parameter zwischen  $\pm 0$  und -11.5 %. Nur der langsam auslaufende Speicher vom Typ 2PA und eines der Modelle vom Typ 2RA fallen in allen Einzugsgebieten als solche auf, deren Restschüttung sich auf Grundlage von WETTREG2006 nicht verringert (Zunahme um 0.5 bis 5.0 %). Umgekehrt erfahren die schon im Ist-Zustand sehr schnell auslaufenden Speicher vom Typ FLEX und 2PA stärkere Rückgänge um etwa 15 bis 20 %, im Falle des Modells FLEX sogar um 20 bis 25 %. Modelle vom Typ MAT zeigen eine geringe Streuung der unterstellten Änderung der Niedrigwasserkenngrößen, d.h. die auf Basis von WETTREG2006 erwartete Änderung der Niedrigwasserkenngrößen mit Jährlichkeit 10 variiert je nach Parametrisierung (für schnellere oder langsamere Speicher) nur innerhalb einer Spannweite von 11.5 %, bei den Modellen vom Typ 2RA beträgt diese Spannweite etwa 15 % und für die Modelle 2PA und FLEX liegt sie sogar bei 25 % – wobei für die schnell leerlaufenden Speicher vom Typ 2PA und FLEX bei gegenüber anderen Modellvarianten keineswegs größerer absoluter Änderung ausgehend von schon im Ist-Zustand nahezu trocken fallenden Quellen eine stärkere prozentuale Abnahme der Restschüttung erwartet wird<sup>11</sup>. Beim Vergleich der unterschiedlichen Modellansätze fällt auf, dass mit dem Modell 2RA im Mittel über alle Gebiete und Parametrisierungen fast keine Abnahme der 10a-Niedrigwasserkenngrößen erwartet wird (-2%), mit MAT und 2PA eine solche um etwa 5 %, bei Verwendung des FLEX Modells jedoch ein Rückgang um rund 10 %.

---

<sup>10</sup> Ausnahme ist das Einzugsgebiet der Steina mit allenfalls minimaler Abnahme der hier betrachteten Niedrigwasserkenngrößen

<sup>11</sup> ein vergleichbar starker Rückgang gegenüber der mittleren Schüttung tritt aber auch bei schnell auslaufenden Speichern vom Typ MAT auf

**Tabelle 4: Spannweite der Änderung der Quellschüttung auf Basis der Klimaprojektion WETTREG2006 (Jahresmittel, Sommer-/Winterhalbjahr, Minimum mit Jährlichkeit Ta=10)**

Änderung der mittleren Quellschüttung  
auf Basis WETTREG2006 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	0.7	-0.7	1.7	2.4
2RA(a k)	0.7	-0.7	1.7	2.4
2PA(k1 k2)	0.8	-0.7	1.7	2.4
FLEX(k h)	0.7	-0.7	1.7	2.4

Änderung der mittleren Quellschüttung im Sommerhalbjahr  
auf Basis WETTREG2006 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-11.9	-20.6	-5.3	15.3
2RA(a k)	-11.1	-19.5	-3.6	15.9
2PA(k1 k2)	-10.5	-19.2	-4.7	14.5
FLEX(k h)	-11.5	-21.4	-2.4	18.9

Änderung der mittleren Quellschüttung im Winterhalbjahr  
auf Basis WETTREG2006 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	8.8	4.4	14.1	9.8
2RA(a k)	8.3	3.8	13.5	9.7
2PA(k1 k2)	8.1	3.7	14.5	10.8
FLEX(k h)	8.5	3.2	14.2	11.0

Verhältnis der Restschüttung der Jährlichkeit Ta=10  
zur mittleren Schüttung (WETTREG2006)

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	16.2	6.1	29.7	23.6
2RA(a k)	20.6	9.3	41.5	32.3
2PA(k1 k2)	23.7	4.9	43.2	38.3
FLEX(k h)	18.2	3.3	39.1	35.8

Abnahme der Restschüttung mit Jährlichkeit Ta=10  
auf Basis WETTREG2006 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-5.0	-11.6	0.1	11.7
2RA(a k)	-2.0	-7.5	7.1	14.6
2PA(k1 k2)	-5.9	-19.6	5.5	25.2
FLEX(k h)	-10.7	-25.3	2.0	27.4

Ergebnis: der auf Basis der Klimaprojektion WETTREG2006 erwartete Rückgang der einmal in zehn Jahren erwarteten geringsten Tages- und Wochenwerte der Quellschüttungen im KLIMOPASS Projektgebiet liegt für Quellen mit mittlerem Schüttungsverhalten bei etwa 5-10 %. Für Quellen mit ungünstigem Speicher sind

auch Abnahmen um 20-25 % möglich, wobei es sich allerdings um solche Quellen handelt, die auch in der Vergangenheit schon nahezu trockengefallen sind.

#### 4.3.8.1.1 RÄUMLICHE DIFFERENZIERUNG INNERHALB DES PROJEKTGEBIETES

(und Abhängigkeit vom gewählten Speichermodell)

Werden für jedes Pegeleinzugsgebiet nur jeweils die Modellparameter verwendet, mit denen im durch Abflussmessungen abgedeckten Zeitraum die bestmögliche Übereinstimmung zwischen simuliertem und beobachtetem Basisabfluss erreicht wurde (d.h. jene Speichermodelle, welche das durch Messwerte belegte mittlere Schüttungsverhalten aller Quellen im jeweiligen Einzugsgebiet wiedergeben), fällt das im Osten des Projektgebietes gelegene Einzugsgebiet der Steina als solches auf, in dem für die betrachteten Niedrigwasserkenngrößen der Jährlichkeit  $T_a=10$  nahezu keine Änderung zu erwarten ist. In den Einzugsgebieten von Mettma, Menzenschwander Alb und Hauensteiner Alb beträgt die Abnahme etwa 3 %, in den Einzugsgebieten von Hauensteiner Murg und Wehra 5-6 % (bei günstigem Speicherverhalten  $\pm 0$  % und im ungünstigsten Fall -12.5 %) und ganz im Westen des Projektgebiets werden im Wiesental Rückgänge um fast 10 % berechnet (bei günstigem Speicher -6 % und bei ungünstigem -20 %). Dabei ist der ungünstig schnell leerlaufende Speicher jeweils der durch Modell FLEX repräsentierte, die drei anderen Speichermodelle reagieren weniger sensitiv auf das Klimasignal aus WETTREG2006.

#### 4.3.8.1.2 DIFFERENZIERUNG ZWISCHEN EINZELNEN QUELLEN

Die gefundenen Modelle und Parameter decken eine sehr große Spannweite von schneller oder langsamer leerlaufenden Speichern ab. So finden sich Modelle, in denen die alle zehn Jahre über einen bis sieben Tage hinweg auftretenden Niedrigwasserabflüsse im Ist-Zustand noch rund 40 % der langjährig mittleren grundwasserbürtigen Basisabflüsse bzw. Quellschüttungen betragen, neben solchen an denen die Schüttung auf etwa 5 % des Mittelwertes zurückgeht. In Abschnitt 4.3.8.4 wird gezeigt werden, dass diese Spannweite in der Tat etwa der entspricht, welche sich aus den nicht allzu ergiebigen Beobachtungsdaten abschätzen lässt. Im Fall der der Südschwarzwald entwässernden Oberflächengewässer ergeben sich aus den beobachteten Zeitreihen bezogen auf den Gesamtabfluss (inklusive schneller lateraler, nicht den Grundwasserspeicher durchlaufender Komponenten) Restabflüsse zwischen 5 % und 20 % des MQ.

#### 4.3.8.1.3 BELASTBARKEIT DER SPEICHERMODELLE

Bei Beschränkung auf die für ganze Pegeleinzugsgebiete gefundenen Modellparameter, d.h. auf das mittlere Schüttungsverhalten der Quellen im jeweiligen Einzugsgebiet, belaufen sich die Niedrigwasserabflüsse mit Jährlichkeit  $T_a=10$  je nach Gebiet und Speicherkonzept auf 10 bis 35 % der mittleren Basisabflüsse, meist jedoch 15 bis 25 % mit für das gleiche Einzugsgebiet teils größerer, teils geringer Spannweite zwischen den vier Speicherkonzepten, wobei die höchsten Restwasserführungen mit dem Modell 2PA berechnet werden. Indem die zuvor genannten Werte auf den Basisabfluss der Oberflächengewässer bezogen sind, können sie gleichermaßen als Verhältnis zwischen verbleibender Quellschüttung im Niedrigwasserfall (einmal in zehn Jahren auftretende Niedrigwassersituation bei integrierender Betrachtung über alle Quellen im Einzugsgebiet) und mittlerer Quellschüttung interpretiert werden. Sie entsprechen im Hinblick auf den gesamten Abfluss aus den Einzugsgebieten (inklusive schneller lateraler Komponenten) in der Mehrzahl der Fälle 6-15 % der langjährig mittleren Abflüsse, bei einigen Modellen, die besonders schnell oder langsam

auslaufende Speicher beschreiben, auch nur 3.5 % oder knapp 20 %. Aus den Beobachtungswerten ergeben sich für die Relation zwischen dem 10 %-Perzentil<sup>12</sup> des jährlichen NQ und dem langjährig mittleren Abfluss vergleichbare Werte zwischen 5 % für Menzenschwander Alb und Hauensteiner Alb, sonst 10-15 % und maximal 19 % an der Hauensteiner Murg. Die im KLIMOPASS Projektgebiet gefundene Bandbreite entspricht damit zugleich jener für den gesamten überwiegend kristallinen Südschwarzwald mit Ausnahme der Breg/Donaueschingen mit einem Rückgang auf nur 2 % des MQ bei anzunehmenden Verlusten in den Muschelkalk. Die vorstehend angeführten Relationen zwischen dem 10-jährlichen Niedrigwasserabfluss und dem MQ der Oberflächengewässer dienen vorrangig der Validierung der gefundenen Speicherkonzepte und zugehörigen Modellparameter (die Bandbreite der Relation in den Simulationsergebnissen entspricht der Bandbreite aus den Beobachtungsdaten); sie sind aber nicht mit der Dynamik der Quellschüttungen vergleichbar, welche nur zu geringen Anteilen schnelle Komponenten enthalten.

#### 4.3.8.2 KLIMAPROJEKTION WETTREG2010 ("WORST CASE")

Auf Grundlage des "worst case" Szenarios WETTREG2010 werden für die nahe Zukunft 2012-2050 mittlere Quellschüttungen erwartet, welche je nach Bereich des Projektgebietes um 10-14% unter jenen des Bezugszeitraums 1971-2000 liegen. Die mittlere Schüttung im Sommerhalbjahr hängt darüber hinaus von den jeweiligen Speichereigenschaften ab, wobei die Abnahmen für die im kristallinen Südschwarzwald gefundene Bandbreite der Parameter der vier Speichermodelle zwischen 15 und 35% variieren. Für den einmal in zehn Jahren auftretenden niedrigsten Tages- und Wochenwert der Quellschüttung ergeben sich Abnahmen zwischen 12.5 und etwa 40~45%, wobei die Variabilität teils aus der möglichen Bandbreite an Speichereigenschaften, zu Teilen aber auch aus einer klimatischen Differenzierung innerhalb des Projektgebietes resultiert. So ist im Einzugsgebiet der Steina im Mittel über alle Speichermodelle eine Abnahme der Niedrigwasserkenngrößen um knapp 20% und für schnell auslaufende Speicher eine solche um wenig mehr als 25% zu erwarten. Im Einzugsgebiet der Wiese nimmt die Restschüttung dagegen vermutlich um im Mittel 30% und 40-50% bei ungünstigen Speichereigenschaften ab. Dabei sind jeweils die schnell auslaufenden Speicher am stärksten betroffen (d.h. Quellen, welche bereits heute besonders schnell leerlaufen). Im Unterschied zu den Ergebnissen auf Grundlage von WETTREG2006 ergeben sich für das trockenere Szenario WETTREG2010 aber unabhängig vom gewählten Speicherkonzept jeweils nahezu gleiche relative Abnahmen.

---

<sup>12</sup> das 10%-Perzentil entspricht zwar nicht exakt aber in guter Näherung dem einmal in 10 Jahren eintretenden Ereignis

**Tabelle 5: Spannweite der Änderung der Quellschüttung auf Basis der Klimaprojektion WETTREG2010 (Jahresmittel, Sommer-/Winterhalbjahr, Minimum mit Jährlichkeit Ta=10)**

Änderung der mittleren Quellschüttung  
auf Basis WETTREG2010 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-11.8	-14.3	-10.3	4.0
2RA(a k)	-11.8	-14.2	-10.2	4.0
2PA(k1 k2)	-11.7	-14.3	-10.2	4.2
FLEX(k h)	-11.8	-14.3	-10.3	4.0

Änderung der mittleren Quellschüttung im Sommerhalbjahr  
auf Basis WETTREG2010 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-24.8	-36.3	-16.4	19.9
2RA(a k)	-23.9	-35.0	-15.3	19.7
2PA(k1 k2)	-23.2	-33.7	-16.2	17.5
FLEX(k h)	-23.6	-37.8	-13.6	24.2

Änderung der mittleren Quellschüttung im Winterhalbjahr  
auf Basis WETTREG2010 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-4.6	-12.8	6.2	19.0
2RA(a k)	-5.0	-13.1	4.9	18.0
2PA(k1 k2)	-5.1	-12.7	5.7	18.4
FLEX(k h)	-5.4	-13.4	6.2	19.7

Verhältnis der Restschüttung der Jährlichkeit Ta=10  
zur mittleren Schüttung (WETTREG2010)

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	17.2	6.5	32.2	25.7
2RA(a k)	21.6	9.8	43.4	33.7
2PA(k1 k2)	25.0	4.9	45.0	40.1
FLEX(k h)	18.6	3.5	41.7	38.2

Abnahme der Restschüttung mit Jährlichkeit Ta=10  
auf Basis WETTREG2010 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-24.3	-35.3	-17.0	18.3
2RA(a k)	-20.2	-29.9	-12.7	17.2
2PA(k1 k2)	-24.8	-44.4	-12.6	31.8
FLEX(k h)	-25.4	-48.7	-12.6	36.1

4.3.8.3 KLIMAPROJEKTION CCLM 4.8

CCLM Klimaprojektionen wurden bereits in verschiedenen KLIWA Projekten als Antriebsdaten für Wasserhaushaltsmodelle verwendet, kamen bislang aber noch nicht für Fragestellungen zu Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Süddeutschland zum Einsatz. Die vom KIT Karlsruhe

generierten Szenarien der Version 4.8 basieren wie die beiden im Rahmen des KLIMOPASS Projekts verwendeten WETTREG Szenarien auf dem ECHAM5 Globalmodell des MPI<sup>13</sup> mit den Randbedingungen aus dem Emissionsszenario A1B. Es handelt sich also um ein weiteres Regionalmodell, welches die Randbedingungen derselben globalen Klimaprojektion in eine Projektion für die Entwicklung des Klimas in Südwestdeutschland übersetzt. Im Unterschied zum statistischen Ansatz<sup>14</sup> von WETTREG handelt es sich bei COSMO-CLM jedoch um ein "dynamisches" Modell, das die in der Atmosphäre ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse simuliert.

#### 4.3.8.3.1 DATENPRÜFUNG

Die an der LUBW vorliegenden CCLM Szenarien wurden zunächst einer formalen Prüfung auf Lückenlosigkeit der Zeitreihen sowie einer Prüfung der mehrjährigen Mittelwerte und räumlichen Verteilungsmuster auf deren Plausibilität unterzogen. Das dabei festgestellte Fehlen einiger Tageswerte der Globalstrahlung in den Dateien für "Lauf 1" (387 von knapp 19.8 Mio. Tageswerten) konnte auf ein Versehen beim Umformatieren der Dateien zurückgeführt und von dem seinerzeit beauftragten Büro dankenswerter Weise kurzfristig korrigiert werden. Die weitere Prüfung der Plausibilität der Szenariendaten erbrachte zwei Einwände:

- alle drei CCLM Läufe haben in der Re-Simulation für den durch Messwerte an Klimastationen belegten Ist-Zustand (1971-2000) eine zu hohe relative Luftfeuchtigkeit, die sich zwischen Ist-Zustand und naher Zukunft jedoch nicht ändert (in allen drei Realisationen -0.3 ~ -0.4 %); aus der zu hohen Luftfeuchtigkeit resultierende systematische Fehler (zu geringe Verdunstung und in der Folge zu hohe Abflüsse) betreffen damit sowohl den Ist-Zustand wie auch die Zukunft in gleicher Weise, weshalb eine Auswertung auf die relative Änderung von Bilanzgrößen des Bodenwasserhaushalts trotzdem zulässig kann, zumal die Überschätzung der Luftfeuchtigkeit im Schwarzwald nicht allzu stark ausfällt. Im Schwarzwald liegen die mittleren Jahreswerte der relativen Luftfeuchtigkeit an den DWD Stationen überwiegend zwischen 80 und 82.5 % und die Werte an den CCLM Gitterpunkten bei 85-88 % (Mittel ca. 86 %). Im Oberrheingraben liegen statt gemessener Werte von meist 75~78 % die Werte der CCLM Re-Simulation bei 82-84 %
- in Lauf 3 fällt die Globalstrahlung mit nur knapp 100 statt 125-130 W/m<sup>2</sup> deutlich geringer aus als in den beiden anderen Realisationen, wobei das Niveau der Läufe 1 und 2 den vorliegenden Messwerten von 125 W/m<sup>2</sup> in Basel (1980-2002) und 122 W/m<sup>2</sup> in Freiburg (1996-2007) entspricht. In Lauf 3 werden in der Re-Simulation für den ist-Zustand wie auch in der Projektion für die nahe Zukunft nur 75% der erwarteten Globalstrahlung erreicht. Dabei schwanken die mittleren Jahreswerte in den Läufen 1 und 2 in einem engen Bereich zwischen 116-141 W/m<sup>2</sup> mit in den Hochlagen und nach Norden hin etwas geringeren und in den tieferen Lagen und nach Süden hin etwas höheren Werten. In Lauf 3 fällt neben dem zu geringen Wertebereich von nur 89-120 W/m<sup>2</sup> auch die abweichende räumliche Verteilung mit den höchsten Werten über den Südvogesen und östlich des Feldbergs (St.Blasien bis Bonndorf) auf

Der Höhengradient der Lufttemperatur ist in allen Realisationen etwas schwach ausgeprägt: er beträgt 0.46 °C/100m statt der feuchtadiabatisch erwarteten und zwischen Breisgau und Feldberg beobachteten 0.60 °C/100m (im Nordschwarzwald 0.54 °C/100m). Die Niederschläge sind sowohl ihrem Wertebereich von 460-2450 mm/a als auch ihrer räumlichen Verteilung nach plausibel – was für Bias-korrigierte Werte

---

<sup>13</sup> Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

<sup>14</sup> Grundlage sind die statistischen Zusammenhänge zwischen den beobachteten großräumigen Zirkulationsmustern und dem regionalen Wettergeschehen

indes kaum anders zu erwarten ist. Auch im Detail ergibt sich eine auf den ersten Blick gute Übereinstimmung mit den Messwerten der in der für Referat 42 (LUBW) gepflegten Datenbank enthaltenen Klimastationen. Auffällig ist lediglich das Maximum von 1992 mm/a auf deutscher Seite, welches im Luv des Schwarzwalds vor der Hornisgrinde bei Achern liegt. Die am Feldberg erreichten 1800-1900 mm/a hingegen sind ebenso überzeugend und konsistent mit den Aufzeichnungen der Klimastationen wie Werte von 2200-2300 mm/a am Grand Balon.

#### 4.3.8.3.2 SIMULATIONSERGEBNISSE FÜR DEN IST-ZUSTAND 1971-2000

Überraschender Weise liegen die mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell auf Basis der CCLM 4.8 Re-Simulation für den Ist-Zustand 1971-2000 berechneten Basisabflüsse (Grundwasserneubildungsraten hier als Gesamtabfluss multipliziert mit dem BFI nach WMO 2009<sup>15</sup>) trotz systematisch zu hoher relativer Luftfeuchtigkeit und in der Folge zu geringer Verdunstung mit 501 mm/a<sup>16</sup> unter den auf Grundlage von WETTREG2006 (526 mm) und WETTREG2010 (540 mm) simulierten Werten. Dies kann eigentlich nur darauf zurückzuführen sein, dass in der Bias-korrigierten CCLM 4.8 Version weniger Niederschlag fällt als bei Regionalisierung der WETTREG Daten, wobei die WETTREG2006 Re-Simulation im Projektgebiet für den mittleren Jahresniederschlag keinen Bias aufweist<sup>17</sup>, den Sommerniederschlag indes um moderate 2.5 % überschätzt und damit den mittleren jährlichen Gesamtabfluss um 2.1 % unterschätzt. Auch die WETTREG2010 Re-Simulation trifft den Jahresniederschlag im KLIMOPASS Projektgebiet mit einem Fehler von nur -0.8 % extrem gut. Die Gesamtabflüsse werden von den beiden WETTREG Varianten um 2-3 % unterschätzt. Demgegenüber sind die CCLM 4.8 Szenarien für den Zeitraum 1971-2000 im Projektgebiet mit mittleren Jahresniederschlägen von 1350 statt 1500 mm/a etwa 10 % zu trocken – falls die ausgehend von den Zeitreihen der Stationen regionalisierten Gebietsniederschläge als "wahre" Werte anerkannt werden, was allerdings nicht vorausgesetzt werden kann. Bei einer in Folge der nachweislich zu hohen Luftfeuchtigkeit um knapp 15 % zu geringen Verdunstung (525 statt 612 mm/a) resultiert eine in Relation zur Simulation auf Grundlage gemessener Stationsdaten rund 7.5 % zu geringe Abflussbildung.

Die angesprochene Problematik der zu hohen Luftfeuchtigkeit in CCLM 4.8 wurde zuvor auch schon am LfU Bayern festgestellt. Die zu geringe Globalstrahlung in Lauf 3 und der im Vergleich zur in GWN-BW ausgehend von Stationsdaten durchgeführten Regionalisierung geringe Niederschlag erst im Rahmen des KLIMOPASS Projekts.

#### 4.3.8.3.3 ERWARTETE ÄNDERUNG DER QUELLSCHÜTTUNGEN

Auf Grundlage der CCLM 4.8 Szenarien wird in den im KLIMOPASS Projektgebiet gelegenen Pegelzugsgebieten eine Erhöhung der mittleren Jahreswerte von Basisabfluss und Quellschüttungen um je nach Einzugsgebiet 2.5 bis 6.0% (im Mittel 4.5%) erwartet. Wie schon auf Grundlage der WETTREG Szenarien so ist auch gemäß CCLM 4.8 eine Verschiebung vom Sommer ins Winterhalbjahr zu erwarten, welche in CCLM 4.8 aber deutlich stärker ausfällt: bei genereller Zunahme im Winterhalbjahr (6.5 bis 20%) variiert die Änderung der mittleren Quellschüttungen im Sommerhalbjahr je nach Gebiet und

---

<sup>15</sup> d.h. nicht dem geringeren BFI nach Wundt-Kille

<sup>16</sup> der Einbezug von Lauf 3 mit zu geringer Globalstrahlung bewirkt dabei nur eine minimale Änderung (499.6 mm/a wenn nur die Läufe 1 und 2 ausgewertet werden, statt 295.9 mm/a aus allen drei Realisationen)

<sup>17</sup> im Abgleich gegen Simulationsergebnisse auf Grundlage der an den Klimastationen aufgezeichneten Zeitreihen

Speichereigenschaften zwischen  $\pm 2.5\%$  und  $-20\%$ . Noch größer ist die Bandbreite der Änderung der einmal in zehn Jahren auftretenden Niedrigwassersituationen (geringste Tages- bis Wochenwerte), welche je nach schneller oder langsamer Speicherreaktion von bei  $\pm 3.5\%$  nahezu unveränderten Restschüttungen bis Abnahmen um 40-50% reicht (im Mittel über alle Speichermodelle und Pegelzugsgebiete etwa  $-15\%$ ). Werden nur die beiden ersten Realisationen ausgewertet<sup>18</sup>, ergibt sich für die Änderung der in Trockenperioden verbleibenden Restschüttung sogar eine Bandbreite von  $\pm 2.5$  bis  $-70\%$  (im Mittel jedoch ebenfalls  $-15\%$ ). Die extremen Abnahmen ergeben sich dabei jeweils nur für besonders schnell auslaufende Speicher vom Typ FLEX und 2PA. Bei Verwendung der Speicherkonzepte 2RA und MAT betragen die simulierten Abnahmen maximal 15-29%.

**Tabelle 6: Spannweite der Änderung der Quellschüttung auf Basis der Klimaprojektion CCLM 4.8 (Jahresmittel, Sommer-/Winterhalbjahr, Minimum mit Jährlichkeit  $T_a=10$ )**

Änderung der mittleren Quellschüttung  
auf Basis CCLM 4.8 run 1-3 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	4.5	2.4	6.0	3.6
2RA(a k)	4.5	2.4	6.0	3.6
2PA(k1 k2)	4.6	2.5	6.1	3.5
FLEX(k h)	4.5	2.4	6.0	3.6

Änderung der mittleren Quellschüttung im Sommerhalbjahr  
auf Basis CCLM 4.8 run 1-3 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-8.0	-20.4	0.4	20.7
2RA(a k)	-7.0	-18.2	1.4	19.6
2PA(k1 k2)	-6.4	-18.8	2.2	21.0
FLEX(k h)	-8.1	-21.4	0.8	22.2

Änderung der mittleren Quellschüttung im Winterhalbjahr  
auf Basis CCLM 4.8 run 1-3 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	13.1	7.3	18.6	11.3
2RA(a k)	12.5	6.9	18.7	11.8
2PA(k1 k2)	12.1	6.5	20.6	14.1
FLEX(k h)	13.5	7.3	20.8	13.4

<sup>18</sup> CCLM 4.8 Lauf 3 mit der für Ist-Zustand wie nahe Zukunft gleichermaßen zu geringen Globalstrahlung ist unter den drei Realisationen jene mit dem schwächsten Klimasignal

Verhältnis der Restschüttung der Jährlichkeit Ta=10  
zur mittleren Schüttung (CCLM 4.8 | run 1-3)

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	15.7	5.8	31.2	25.3
2RA(a k)	20.2	9.3	43.4	34.1
2PA(k1 k2)	23.3	4.9	42.7	37.8
FLEX(k h)	17.6	2.7	40.1	37.5

Abnahme der Restschüttung mit Jährlichkeit Ta=10  
auf Basis CCLM 4.8 run 1-3 | 2021-2050

Modell	Mittel [%]	Min [%]	Max [%]	Spannweite
MAT(k g)	-13.0	-27.8	-2.3	25.5
2RA(a k)	-6.0	-15.7	0.9	16.5
2PA(k1 k2)	-18.5	-45.6	3.5	49.0
FLEX(k h)	-21.7	-51.3	-0.2	51.0

#### 4.3.8.4 FAZIT DER UNTERSUCHUNGEN ZUR ÄNDERUNG DES GRUNDWASSERDARGEBOTS

Aus der Vielzahl vorliegender Klimaprojektionen wurden drei Szenarien ausgewählt, welche innerhalb des Gesamtkollektivs der für Baden-Württemberg vorliegenden Szenarien im Hinblick auf Temperaturanstieg und Abnahme der Sommerniederschläge die Bandbreite zwischen dem im Mittel erwarteten Klimasignal und einem durch WETTREG2010 repräsentierten "worst case" abdecken. Eine solche Auswahl erweist sich auch im Hinblick auf die Darstellung der Ergebnisse gegenüber den Akteuren der Wasserwirtschaft als zweckmäßiger und einfacher vermittelbar, als eine Verwendung möglichst vieler Projektionen. Alle drei betrachteten Klimaprojektionen, lassen eine mit einer Abnahme der Sommerniederschläge einhergehende Verschiebung der Grundwasserneubildung vom Sommer- in das Winterhalbjahr erwarten. Der in der Folge zu erwartende Rückgang der am Ende extremer Trockenperioden verbleibenden Restschüttung hängt stark von (a) der jeweiligen Klimaprojektion und (b) den Speichereigenschaften im Einzugsgebiet der einzelnen Quelle ab. Auf Grundlage der WETTREG Szenarien, nicht aber bei Verwendung von CCLM 4.8, ist zudem eine klimatisch bedingte Differenzierung zwischen den östlichen und stärker betroffenen westlichen Teilen des KLIMOPASS Projektgebietes erkennbar.

Die Untersuchungen ergaben, dass die einzelnen Quellen im Projektgebiet aufgrund der spezifischen Speichereigenschaften in ihrem Einzugsgebiet unterschiedlich auf die gleiche Klimaänderung reagieren, insbesondere auch im Hinblick auf ihre Restschüttung im Niedrigwasserfall. Die große Bandbreite an schneller oder langsamer auslaufenden Grundwasserspeichern im kristallinen Südschwarzwald kommt schon in den für die Transformation der Grundwasserneubildung in die Basisabflüsse der Oberflächengewässer gefundenen Modellparametern zum Ausdruck. Dies obwohl die Basisabflüsse jeweils von einer Vielzahl von Quellen gespeist werden, d.h. deren mittleres Schüttungsverhalten repräsentieren. Wie in Abschnitt 4.3.3 festgestellt, werden im KLIMOPASS Projektgebiet unterschiedliche Quelltypen für die Wasserversorgung genutzt, die ihr Wasser zwar teilweise aus dem Kluftgestein, nicht selten aber aus Hangschuttdecken und häufig auch aus Feuchtgebieten beziehen.

Ob und wie stark die am Ende sommerlicher Trockenperioden verbleibende Restschüttung einer Quelle von einer im Winter höheren Grundwasserneubildung profitieren kann oder ob in Niedrigwassersituationen allein die zunehmende Trockenheit im Sommer relevant ist, hängt von den Eigenschaften des jeweiligen Grundwasserspeichers ab. Quellen die am Ende trockener Sommermonate schon bislang einen starken Rückgang

gegenüber ihrer mittleren Schüttung zeigen, werden deutlich stärker betroffen sein. Quellen die sich bislang robust verhalten haben, sollten fast keine oder nur geringfügige Abnahmen der Restschüttung erfahren.

Die für den kristallinen Südschwarzwald gefundenen Modelle für die Transformation der Grundwasserneubildung in Quellschüttungen und Basisabflüsse decken eine sehr große Spannweite von schnell bis langsamer leerlaufenden Speichern ab. Dabei finden sich Fälle, in denen die alle zehn Jahre über einen bis sieben Tage hinweg auftretenden Niedrigwasserabflüsse im Ist-Zustand noch rund 40 % der langjährig mittleren grundwasserbürtigen Basisabflüsse (Quellschüttungen) betragen, neben solchen an denen die Schüttung auf 3-5 % des Mittelwertes zurückgeht. Diese auf den ersten Blick überraschende Bandbreite stimmt mit den aus den Messdaten für Quellen im Projektgebiet abgeschätzten Verhältnissen zwischen geringster (NNQ) und mittlerer Schüttung (MQ) überein. So finden sich im Projektgebiet neben einigen bereits im Ist-Zustand nahezu trockenfallenden Quellen überwiegend solche mit Restschüttungen zwischen 5 und 20 % des MQ, mitunter aber auch Fassungen, in denen am Ende außergewöhnlicher Trockenperioden noch gut ein Drittel der langjährig mittleren Schüttung verbleibt (Mauswaldstollen/Todtmoos, Sommerauquelle/Bonndorf, Sportplatz Höchenschwand).

Über den gesamten kristallinen Südschwarzwald hinweg ergibt sich für immerhin 36 Quellen mit mindestens monatlicher Messung und 20-jähriger Beobachtung eine ebenso breite Streuung zwischen trockenfallenden Quellen und solchen, bei denen das Minimum noch 33% der mittleren Schüttung beträgt; hinzu kommen einige wenige Quellen mit noch höherer Restschüttung von bis zu 75% des MQ (z.B. Etziboden in Engelschwand). Abbildung 14 zeigt die Lage der Quellen im Bereich des engeren Projektgebiets, an denen eine entsprechend gute Datengrundlage vorhanden ist, in Abbildung 15 ist das jeweilige Verhältnis zwischen geringster und mittlerer Schüttung eingetragen.

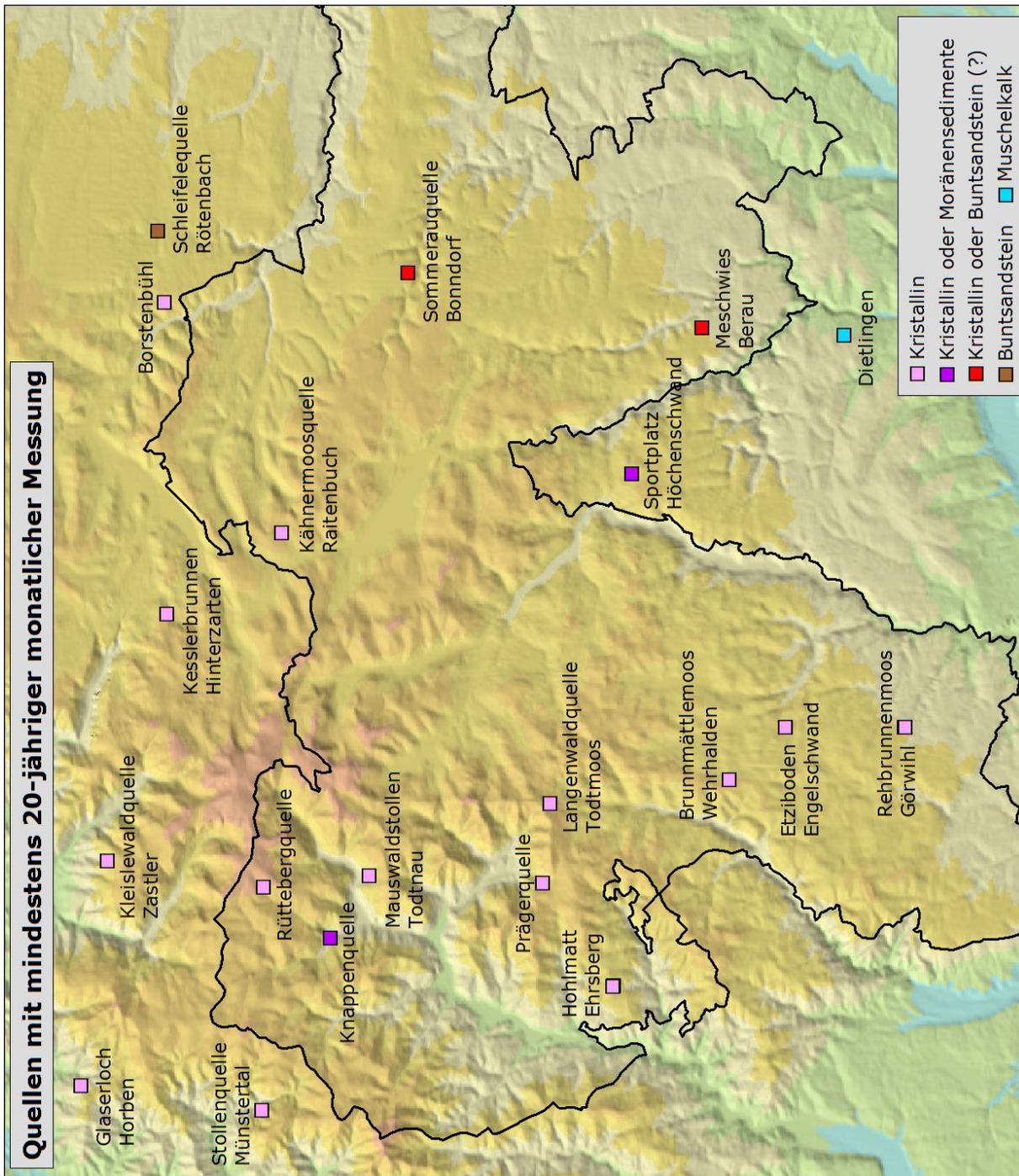


Abbildung 13: Quellen mit mindestens 20-jähriger monatlicher Messung im Projektgebiet

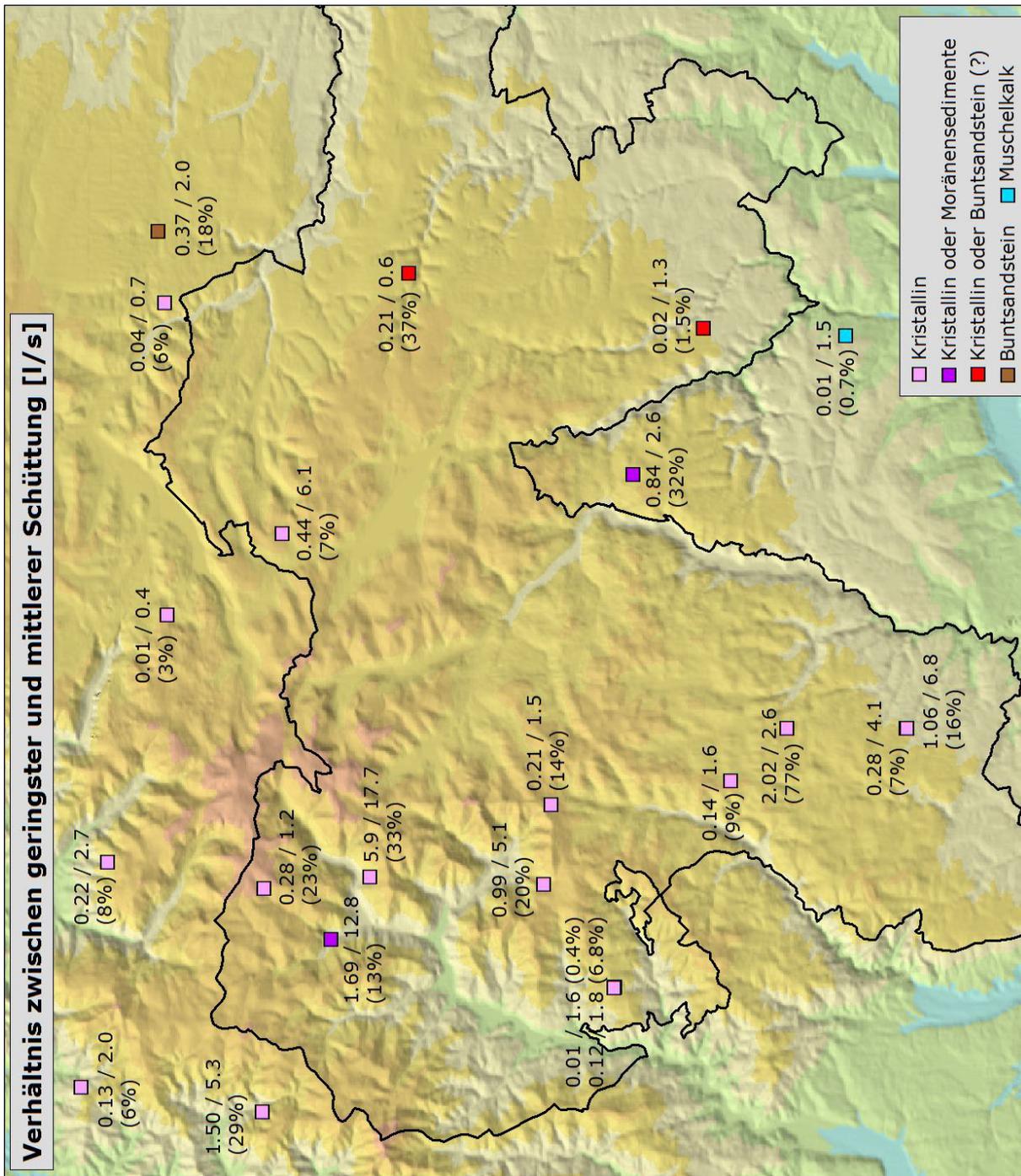


Abbildung 14: Verhältnis zwischen geringster und mittlerer Quellschüttung

Die einzelnen Quellen verhalten sich im Hinblick auf die zeitliche Transformation zwischen Grundwasserneubildung und Abgabe aus dem Grundwasserspeicher also in der Tat sehr unterschiedlich und werden von der erwarteten Änderung der Klimabedingungen in ebenso unterschiedlicher Weise betroffen sein. Mit den Modellrechnungen kann abgeschätzt werden, wie stark sich die verbleibende Restschüttung einer Quelle mit aus Messungen bekannter bisheriger Dynamik unter Annahme einer bestimmter Klimaprojektion ändern wird und wie groß die durch verschiedene Klimaprojektionen aufgespannte Bandbreite dieser Änderung ausfällt. Auch lässt sich abschätzen, wie stark die Änderung der Restschüttung im Mittel über alle Quellen eines größeren Einzugsgebietes ausfällt. Unabdingbare Voraussetzung für konkrete Aussagen zu einzelnen Fassungen ist aber die Kenntnis ihrer bisherigen Dynamik.

Die meisten Versorger im KLIMOPASS Projektgebiet sind auf die in naher Zukunft zu erwartenden Folgen des Klimawandels bereits insofern gut vorbereitet, als sie ihr Rohwasser aus mehr als einer Quelle beziehen, nur einen Teil der gefassten Quellen nutzen und ihre Leitungsnetze teilweise zu Verbänden zusammengeschlossen haben. Wer jedoch überwiegend Quellen nutzt, deren Schüttung am Ende von Trockenperioden schon in der Vergangenheit auf einen in Relation zu ihrer mittleren Ergiebigkeit geringen Restwert zurückgegangen ist, und dem in solchen Situationen nur begrenzte Reserven verbleiben, der wird nicht um Messungen umhin kommen, um die Dynamik seiner Quellen zu Erfassen und die dahinter stehenden Speichereigenschaften genauer bestimmen zu können. Dazu ist eine zeitlich hochaufgelöste, am besten kontinuierliche Aufzeichnung der Schüttung (nicht nur der genutzten oder ins Netz abgegebenen Menge) nötig. Wie stark die Quellen im kristallinen Südschwarzwald in Abhängigkeit von ihrer als bekannt vorausgesetzten Dynamik im Ist-Zustand unter veränderten Klimabedingungen von einer Abnahme der Restschüttung betroffen sein werden, geht aus den Diagrammen in Anhang 6 hervor. Darin ist für die gefundene Bandbreite an Kombinationen aus Lage innerhalb des KLIMOPASS Projektgebietes und Speichereigenschaften die erwartete Änderung der Quellschüttung gegen das Verhältnis aus historisch beobachtetem Wert und mittlerer Schüttung aufgetragen. Entsprechende Diagramme wurden erstellt für

- alle drei betrachteten Klimaprojektionen (moderat bis "worst case")
- die einmal in zehn Jahren auftretenden Tages- und Wochenwerte
- die Änderung der mittleren Schüttung im Sommer- und Winterhalbjahr

#### 4.3.8.5 EMPFEHLUNGEN

Grundlage für eine Abschätzung der zu erwartenden, klimatisch bedingten Veränderungen an einzelnen Quellen ist die Kenntnis ihres Schüttungsverhaltens in der Vergangenheit. Das im Projektgebiet innerhalb einer enormen Bandbreite variiert. Allerdings liegen im Vergleich zur Gesamtzahl genutzter Fassungen nur an wenigen Quellen langjährige Messreihen in ausreichend hoher zeitlicher Auflösung vor, welche eine zuverlässige Charakterisierung ihrer Dynamik oder gar die Anpassung eines Speichermodells für den jeweiligen Grundwasserspeicher erlauben. Es wird vorgeschlagen, an Standorten, an denen es sich mit vertretbarem Aufwand baulich realisieren lässt, eine kontinuierliche Messung zu installieren. Dabei ist zu beachten, dass die gesamte Quellschüttung (im Unterschied bzw. in Ergänzung zur ohnehin aufgezeichneten genutzten Menge) erfasst wird; idealer Weise erfolgt die Messung kontinuierlich mittels Datenlogger unter Speicherung von Stunden- oder Tagesmittelwerten. Entsprechende Aufzeichnungen würden im Abgleich gegen langjährige Zeitreihen aus dem Landesmessnetz schon nach wenigen Jahren eine Einordnung der jeweiligen Quelle hinsichtlich ihrer Dynamik sowie die Anpassung eines Speichermodells für den die Quelle speisenden Grundwasserleiter erlauben.

Aus der Untersuchung lassen sich auch Vorschläge für die künftige Fortentwicklung der Methodik ableiten. So wird mit der Methode nach WMO (2009) zumindest unter den klimatischen Bedingungen des Schwarzwalds bei länger andauernden hohen Abflüssen teils nicht nur der grundwasserbürtige Basisabfluss des langsamen Speichers separiert sondern auch Anteile schnellerer Komponenten. In der Folge erreichen die Modelle, sofern sie nicht direkt an etwa vorliegenden Tageswertreihen der Quellschüttung geeicht werden können, die während solcher Perioden unterstellten Basisabflüsse nicht unbedingt und laufen den Spitzen mitunter zeitlich hinterher. Die Modelle sollten demnach im Rahmen künftiger Bearbeitungen mit stärkerer Betonung auf die Rezessionsäste geeicht werden. Auch eine für die Verbesserung der Modelle und deren Prognosefähigkeit unter deutlich veränderten Klimabedingungen wünschenswerte zeitvariante Aufteilung der Sickerwasserbildung in schnelle Komponenten und Grundwasserneubildung wird durch die Unsicherheit bei der Ganglinienseparation erschwert. Die Identifikation und Beschreibung der Steuerfaktoren für diese Aufteilung stellt sicher ein spannendes Themenfeld für die weitere universitäre

Forschung dar, wenngleich sich die verbleibenden Defizite für die vorliegende Fragestellung als wenig kritisch erwiesen haben: einerseits lassen die vorliegenden Szenarien zwar mehr oder weniger deutliche aber in der näheren Zukunft keine grundlegenden Veränderungen der klimatischen Verhältnisse im Schwarzwald erwarten (er bleibt eine kühle und feuchte Mittelgebirgsregion, allerdings weniger kühl und nach einem Teil der Projektionen auch etwas weniger feucht), zugleich reproduzieren die gefundenen Modelle die besonders ausgeprägten Niedrigwassersituationen der Vergangenheit sehr zuverlässig (Optimierungspotential verbleibt eher bei der Beschreibung höherer Quellschüttungen).

## 5 Vulnerabilitätsanalysen

Mit Hilfe der erläuterten Untersuchungsergebnisse erfolgten Vulnerabilitätsbetrachtungen für einzelne Versorgungsgebiete. Dabei sollen Mengendefizite frühzeitig erkannt werden, die unter Berücksichtigung der lokalen Infrastruktur aus sinkendem Wasserdargebot und steigendem Bedarf resultieren können.

### 5.1 ERGÄNZENDE DATEN ZUR VERSORGUNGSSTRUKTUR

Wie in Kapitel 2 ausgeführt, wurden die Informationen zu den Wasserversorgungsstrukturen bei den 21 Gemeinden im Projektgebiet nach Vorgaben der LUBW aktualisiert. Dies beinhaltete insbesondere eine digitale Erfassung der Leitungen und Bauwerke. Aufgrund der z.T. sehr komplexen Versorgungssysteme reichen diese Informationen nicht in jedem Fall für Vulnerabilitätsanalysen aus. Erforderlich sind zusätzlich die genaue Kenntnis der jeweils genutzten Rohwassergewinnungen, Angaben zu Möglichkeiten der lokalen Wasserumverteilung und ortsspezifische Verbrauchsdaten (z.B. Großabnehmer, Wasserverluste, Sommer- bzw. Wintertourismus). Diese Informationen wurden im Rahmen von vor-Ort-Gespräche mit den technisch Verantwortlichen, Ortsbegehungen sowie z.T. durch telefonische Nachfragen ermittelt und sind für die 21 Gemeinden im Anhang 7 aufgelistet.

Dabei enthält der obere Teil des jeweiligen Anhangs allgemeine Daten zu dem entsprechenden Wasserversorger und die Tabelle darunter Informationen zu seinen einzelnen Versorgungszonen. Diese Tabellen beruhen auf der „Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung“ (vgl. Anhang 2) und wurden um die den Bauwerken zugeordneten Versorgungszonen, Rohwasserfassungen sowie um Informationen zu internen Querverbindungen und um Daten zur Wasseraufbereitungstechnik ergänzt.

Ein Vergleich der Datenblätter zeigt, dass lediglich in acht der 21 Projektgemeinden mit maximal zwei Versorgungszonen bzw. 1-3 Rohwasserfassungen relativ „einfache“ Versorgungsstrukturen vorliegen. Hierbei handelt es sich um die Gemeinden Bernau, Böllen, Schönau, Schönenberg, Tunau, Utzenfeld, Wembach und Wutach.

### 5.2 FALLBEISPIEL BERNAU

Beispielhaft für die Gemeinden mit relativ einfachen Versorgungsstrukturen wurde für Bernau eine Vulnerabilitätsanalyse anhand der ermittelten Versorgungsdaten sowie den hydrogeologisch/metereologischen Betrachtungen (vgl. Kapitel 4.3) durchgeführt. Aufgrund der hohen Zahl an Feriengästen sowie der bereits in der Vergangenheit in trockenen Sommern stark rückläufigen Quellschüttungen war in Bernau von zunehmenden Mengendefiziten auszugehen. Aus den vom Wasserversorger mitgeteilten Daten für die bisherige minimale Quellschüttung von in der Summe 3,6 L/s errechnet sich eine tägliche Mindest-

Dargebotsmenge von etwa 310 m<sup>3</sup>/d (vgl. Anhang 7-2). Da Spitzenabgaben üblicherweise im Spätsommer, d.h. parallel zu geringen Quellschüttungen auftreten wurde diesem Dargebot zunächst ein maximaler Tagesbedarf von 600 m<sup>3</sup>/d (Angabe Wasserversorger) gegenübergestellt. Daraus ergibt sich ein Quellwasserdefizit von 290 m<sup>3</sup>/d. Zur Abdeckung dieses Defizits steht in Bernau der Brunnen Gatterplätz zur Verfügung, der bei einer maximalen Förderleistung von 4 L/s zur Bedarfsdeckung 20 Stunden am Tag betrieben werden müsste.

Geht man von der ungünstigsten Klimaprojektion aus (WETTREG2010) so ergibt sich künftig eine um rd. 30% geringere Quellschüttung entsprechend einer Tagesschüttung von noch rd. 220 m<sup>3</sup>/d. Selbst unter Annahme eines moderaten Anstiegs des Tagesspitzenfaktors in künftigen sommerlichen Trockenperioden um 0,4 (vgl. Kapitel 3) entsprechend einer Bedarfsmenge von rd. 740 m<sup>3</sup>/d, würde die maximale Fördermenge des Brunnens (rd. 340 m<sup>3</sup>/d) künftig nicht mehr zur Sicherstellung des Trinkwasserbedarfs ausreichen. Anhand dieser theoretischen Betrachtung resultiert ein Defizit von rd 180 m<sup>3</sup>/d und somit Handlungsbedarf.

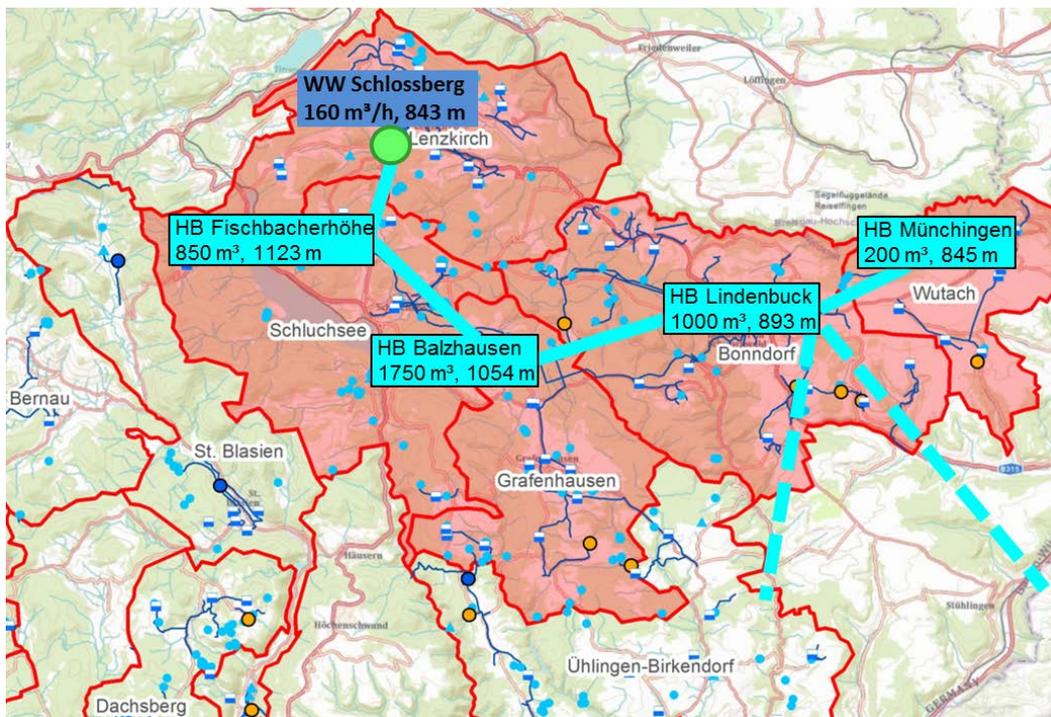
Eine telefonische Nachfrage beim Wassermeister ergab jedoch, dass in der Vergangenheit die Quellschüttung im Sommer immer ausgereicht hat. Ein Betrieb des Brunnens war lediglich in seltenen Fällen im Winter erforderlich. Dies ist auf die ortsspezifischen Besonderheiten in Bernau zurückzuführen, dass einerseits eine hohe Zahl an Feriengästen nicht im Sommer sondern im Winter (Skisaison) auftritt. Andererseits kann es im Winter zu sehr hohen Wasserverlusten kommen, da Rohrbrüche unter einer geschlossenen Schneedecke über längere Zeiträume nicht aufgefunden/behoben werden können.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass Vulnerabilitätsanalysen mit einer Gegenüberstellung von theoretisch ermittelten Verbrauchszunahmen sowie Schüttungsminima im Einzelfall im Hinblick auf ortsspezifische Besonderheiten durchgeführt werden müssen.

### 5.3 FALLBEISPIEL ZWECKVERBAND GRUPPENWASSERVERSORGUNG HOCHSCHWARZWALD

Der Zweckverband Gruppenwasserversorgung Hochschwarzwald (GWV) versorgt die fünf Kommunen im Projektgebiet Bonndorf, Grafenhausen, Lenzkirch, Schluchsee und Wutach mit Trinkwasser. Darüber hinaus liefert er Wasser an Ühlingen-Birkendorf und Stühlingen. Mit etwa 50 Hochbehältern bzw. rd. 70 Druckzonen ist das Versorgungsgebiet sehr komplex. Es gelangt hauptsächlich Quellwasser aus über 60 verschiedenen Gewinnungsgebieten zur Verteilung das von rd. 30 Aufbereitungsanlagen (Entsäuerungsfiltration und Desinfektion) bereitgestellt wird. Zur Absicherung der Wasserversorgung wurde das Gebiet vernetzt und mit vier ergiebigen Brunnen im Ursee- und Haslachtal bei Lenzkirch ein zweites Standbein geschaffen. Abbildung 16 zeigt das Verbandsgebiet mit den zentralen Anlagen zur Wasserverteilung.

Lediglich rd. 10 % der jährlichen Abgabemenge von etwa 1,4 Mio. m<sup>3</sup> wird im Wasserwerk Schlossberg, d.h. aus Grundwasser bereitgestellt, die Hauptmenge stammt aus den zahlreichen Quellen. Allerdings ist die Grundwassergewinnung in den Sommermonaten bei geringen Quellschüttungen unverzichtbar. In den vergangenen Jahren wurden dann in der Regel 1000 bis 2000 m<sup>3</sup>/d aus dem Werk Schlossberg benötigt (maximal 2800 m<sup>3</sup>/d im September 2003).



**Abbildung 15: Schema der Wasserversorgung ZV GruppenWW Hochschwarzwald**

Eine genauere Analyse der künftigen Quellschüttungsmengen ist nicht möglich, da lediglich von einem geringen Teil der zahlreichen Quellen ausreichend Daten zur Verfügung stehen. Für eine grobe Schätzung wurde pauschal einen Rückgang der Mindest-Quellschüttung von 20 % sowie einen Anstieg des Tagesspitzenbedarfs von ebenfalls 20 % angenommen. Diese Werte ergeben sich aus den Überlegungen in den Kapiteln 3 und 4. Für das Verbandsgebiet des GWV bedeutet dies, dass etwa 1000 m<sup>3</sup>/d weniger Wasser zur Verfügung steht und gleichzeitig die Bedarfsmenge um etwa 1500 m<sup>3</sup>/d ansteigt. Hieraus ergibt sich ein Mehrbedarf aus dem Werk Schlossberg von rd. 2500 m<sup>3</sup>/d gegenüber den Spitzenabgaben in den vergangenen Jahren (1000-2000 m<sup>3</sup>/d). Dies bedeutet, dass die Kapazität des Werkes von etwa 3800 m<sup>3</sup>/d zumindest häufiger erreicht evt. sogar überschritten wird.

#### 5.4 FALLBEISPIEL HERRISCHRIED

Die Gemeinde Herrischried nutzt Rohwasser aus neun Quellgewinnungsgebieten, das in sechs Aufbereitungsanlagen bzw. Hochbehältern bereitgestellt und in zehn Versorgungsgebiete abgegeben wird (vgl. Anhang 7-8). In den vergangenen Jahren wurden neue Quellen gefasst und die beiden Hochbehälter Tannen und Tannacker mit zugehörigen Aufbereitungsanlagen errichtet, so dass zwischenzeitlich die Versorgung sicher gewährleistet ist.

Allerdings würden bei Bau des Pumpspeicherkraftwerks Atdorf die Rohrquellen 1-4 und damit ca. 35 % der gesamten Quellwassermenge entfallen. Eine Möglichkeit der Ersatzwasserversorgung besteht darin, bislang ungenutzte Quellen in die Versorgung einzubeziehen und durch Bau einer Transportleitung zum Hochbehälter Hummeloch-Rütte in diesem Bereich nicht benötigtes Quellwasser für die Versorgung des Ortsnetzes Herrischried zu nutzen. Die vorliegenden Daten zeigen jedoch, dass sämtliche Quellschüttungen in trockenen Sommern stark zurückgehen. Beispielsweise ging die Schüttung der Fassung Brunnmättlemoos (Wehrhalden) im September 2003 auf 0,14 L/s zurück (9 % des langjährigen Mittels von 1,6 L/s). Als Ergebnis der in Kapitel 4.3 vorgestellten Untersuchungen ist bei derartigen Quellen künftig von geringeren Schüttungen auszugehen (5-8% des langjährigen Mittels, abhängig vom „Klimaszenario“). Darüber hinaus

steigt voraussichtlich in Zeiten geringer Quellschüttungen in Zukunft der Trinkwasserbedarf deutlich an (+ 20 bis 40 % des Tagesspitzenverbrauchs, vgl. Kapitel 3).

Unter diesen Gesichtspunkten sollte die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Herrischried durch einen regionalen Verbund, bspw. mit Gemeinde Todtmoos und ggf. Bau eines Brunnens im Wehratal geprüft werden.

#### 5.5 EMPFEHLUNG FÜR EINE ALLGEMEINE METHODIK ZUR VULNERABILITÄTS ANALYSE

Aufgrund der Erfahrungen aus dem vorliegenden Projekt wird als allgemeine Methodik zur Durchführung vergleichbarer Vulnerabilitätsanalysen folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

##### Schritt 1 - Datenerfassung

- WV-Struktur (Gewinnung, Aufbereitung, Speicherung, Verteilung)
- Verbrauch (zur Analyse nach DVGW Arbeitsblatt W 410)
- Dargebot (Wasserrechte, Quellschüttungs- und Fördermengen )

##### Schritt 2 - Auswertung und ggf. Datenergänzung

- Verbrauchsanomalien, (z.B. Großabnehmer), Prognosen Bedarf (z.B. + 20%)
- Ggf. zusätzliche Schüttungsmessungen, Prognosen Dargebot (z.B. – 20 %)

##### Schritt 3 – Analyse und Empfehlungen

- Z.B. Mengendefizit → Verbund/2tes Standbein
- Z.B. Hydraulische Schwachstellen, Speicherdefizite → Leitungs/Behälterbau

## 6 Literatur

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

KLIWA AG Grundwasser: Blumenhofer S., Gudera T., Neumann J., Schwebler W., Sprenger W., Wingerling M., Morhard A. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Untersuchungen auf Grundlage von WETTREG2003- und WETTREG2006-Klimaszenarien. KLIWA-Projekt B 3.3.1 Simulation der Grundwasserneubildung mit regionalen Klimaszenarien. KLIWA-Berichte Heft 17.

LUBW (2013): Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg. Perspektiven aus regionalen Klimamodellen. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Morhard A. (2013): Stadttunnel Freiburg - Abschätzung des Grundwasserzustroms von Osten (unterirdischer Abstrom aus dem Zartener Becken). Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg. GIT HydroS Consult GmbH, Freiburg.

Stölzle M., Weiler M., Stahl K., Morhard A., Schütz T. (2014): Is there a superior conceptual groundwater model structure for baseflow simulation? Hydrological Processes 1-22. DOI: 10.1002/hyp.10251.

Stölzle M. (2014): Klimasensitivität und Vulnerabilität von Fließgewässern in Zusammenhang mit Niedrigwasserabflüssen. Dissertation. Universität Freiburg.

WaBoA (2007): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. Herausgegeben vom Umweltministerium Baden-Württemberg und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

WMO (2009): Manual on low-flow estimation and prediction. Operational hydrology report no 50. World Meteorological Organization, 1029, 136.

### **Anhang 1: Fragebogen**

### **Anhang 2: Liste aller Bauwerke**

### **Anhang 3: Karten der einzelnen Gemeinden**

### **Anhang 4: Zusammenhang zwischen Gebietsgröße und Spannweite der Modellparameter**

### **Anhang 5: Gesamtabfluss und Basisabfluss nach WMO 2009**

### **Anhang 6: Änderungen der Minimalen Quellschüttung (Tages- und Wochenwert) mit Jährlichkeit 10 für verschiedene Klimaprognosen**

### **Anhang 7 Ergänzende Daten zur Versorgungsstruktur in den einzelnen Gemeinden**



# Fragebogen

zur Datenerhebung im Rahmen des Forschungsprojektes

"Vulnerabilitätsanalyse von Wasserversorgungsunternehmen im südlichen Schwarzwald hinsichtlich des Klimawandels"

(**KLIMOPASS** Teil 2 „Angewandte Forschung und Modellprojekte“ des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden-Württemberg)

## A. Wasserversorgungsunternehmen (WVU):

Name des WVU: .....

Anschrift: .....

Technisch Verantwortlicher: .....

*Telefon/email:* .....

Ansprechpartner in Detailfragen: .....

*Telefon/email:* .....

## B. Allgemeine Angaben

Anzahl der versorgten Einwohner: .....

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

Länge der Hauptversorgungsleitungen, km: .....

Anzahl der Hausanschlüsse: .....

Großkunden (> 10.000 m<sup>3</sup>/a) mit Name und ca. Jahresbedarf

a). .....

b). .....

c). .....

d). .....

*Bitte weitere ggf. auf separatem Blatt aufführen*

Angaben (z.B. Name, Bezugsmenge) bei Verbund zu anderen WVU's

.....

.....

### **C. Quellgewinnungen und Brunnen**

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

Gewinnung 1: .....

Gewinnung 2: .....

Gewinnung 3: .....

Gewinnung 4: .....

Gewinnung 5: .....

*Bitte weitere Gewinnungen ggf. auf separatem Blatt analog aufführen*

### **D. Pump- bzw. Wasserwerke**

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

WW 1: .....

WW 2: .....

WW 3: .....

WW 4: .....

*Bitte weitere Pump/Wasserwerke ggf. auf separatem Blatt aufführen*

### **E. Hochbehälter**

Kurzangaben: Name, Bau- bzw. Sanierungsjahr, Volumen/Löschreserve, geod. Höhe

HB 1: .....

HB 2: .....

HB 3: .....

HB 4: .....

HB 5: .....

HB 6: .....

HB 7: .....

*Bitte weitere Hochbehälter ggf. auf separatem Blatt aufführen*

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Aitern	945	HB Multen	GVV Schönau	Wasserwerk		130	1119,0
Aitern	947	HB Holzinshaus	GVV Schönau	Wasserwerk		100	830,8
Aitern	948	HB Aitern	GVV Schönau	Wasserwerk		140	730,0
<b>Aitern</b>	<b>10001</b>	HB Rollsbach	GVV Schönau	Behälter		<b>120</b>	<b>942,0</b>
Bernau	970	HB Dorf	Gem. Bernau	Wasserwerk		300	980,0
Bernau	1511	HB Oberlehen	Gem. Bernau	Behälter		300	980,0
Böllen	946	HB Böllen a. B	GVV Schönau	Behälter	a. B.	90	792,2
<b>Böllen</b>	<b>10002</b>	HB Oberböllen	GVV Schönau	Wasserwerk		<b>140</b>	<b>804,0</b>
Bonndorf	1266	HB/PW Stollenbuck	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		<b>104</b>	870,8
Bonndorf	1267	HB Glaserbuck	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		100	858,6
Bonndorf	1270	HB Hühnermoos	GWV Hochschwarzwald	Behälter		100	936,6
Bonndorf	1271	Großer Wald	GWV Hochschwarzwald	Behälter		<b>35</b>	801,9
Bonndorf	1276	HB Bächle	GWV Hochschwarzwald	Behälter		<b>189</b>	738,1
Bonndorf	2027	HB Hardt	GWV Hochschwarzwald	Behälter		150	818,3
Bonndorf	3372	HB Zelgle	GWV Hochschwarzwald	Behälter		140	800,3
Bonndorf	3373		GWV Hochschwarzwald	Behälter		100	730,3
Bonndorf	4432	HB Lindenbuck	GWV Hochschwarzwald	Behälter		<b>1013</b>	893,6
Bonndorf	4433	HB Wacht	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		<b>1011</b>	<b>893,0</b>
Bonndorf	4434		GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk	a. B.		
Bonndorf	4436	HB Vogtsberg	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		<b>103</b>	859,0

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Bonndorf	4437	<b>PW Sommerau</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Pumpwerk	a. B.		
Bonndorf	4441		<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Pumpwerk	a. B.		
Bonndorf	4442		<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Pumpwerk			
<b>Bonndorf</b>	<b>10003</b>	<b>HB Glashütte</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	<b>Wasserwerk</b>		<b>1020</b>	<b>1003,0</b>
<b>Bonndorf</b>	<b>10004</b>	<b>PW Glashütte</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	<b>Pumpwerk</b>		<b>3</b>	<b>973,0</b>
Fröhnd	1472	<b>HB Hof</b>	<b>GVV Schönau</b>	<b>Wasserwerk</b>		120	712,5
Fröhnd	1473	<b>HB Holz</b>	<b>GVV Schönau</b>	<b>Wasserwerk</b>		200	824,3
Fröhnd	1474		<b>GVV Schönau</b>	Behälter	a.B.	25	651,9
Fröhnd	1475	<b>HB Ober-hepschingen-neu</b>	<b>GVV Schönau</b>	<b>Wasserwerk</b>		150	690,0
<b>Fröhnd</b>	<b>10005</b>	<b>HB Stutz-neu</b>	<b>GVV Schönau</b>	<b>Wasserwerk</b>		<b>30</b>	<b>736,0</b>
<b>Fröhnd</b>	<b>10006</b>	<b>HB Künaberg</b>	<b>GVV Schönau</b>	<b>Behälter</b>		<b>5</b>	<b>668,0</b>
<b>Fröhnd</b>	<b>10007</b>	<b>HB Schubsacker</b>	<b>GVV Schönau</b>	<b>Behälter</b>		<b>50</b>	<b>564,0</b>
<b>Fröhnd</b>	<b>10008</b>	<b>HB Ittenschwand</b>	<b>GVV Schönau</b>	<b>Wasserwerk</b>		<b>150</b>	<b>653,0</b>
Grafenhausen	1018	<b>HB Bergbrunnen</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter			
Grafenhausen	1268	HB Balzhausen	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter		1750	1054,1
Grafenhausen	1269		<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter		100	
Grafenhausen	3349	HB Staufen-Im Brühl	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter		<b>110</b>	950,7
Grafenhausen	3350	<b>SB/PW In den Weiden</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	<b>Wasserwerk</b>		100	
Grafenhausen	3357	HB Grafenhausen-Brünlisbach	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter	nur LW		
Grafenhausen	3358		<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter	a. B.	75	

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Grafenhausen	3359	HB Grafenhausen-Bohlisch	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		95	946,4
Grafenhausen	3360	HB Grafenhausen-Signau	GWV Hochschwarzwald	Behälter	a. B.		
Grafenhausen	3361	HB Grafenhausen II Bei der Linde	GWV Hochschwarzwald	Behälter		105	
Grafenhausen	3362	SB/PW Hölzlequelle	GWV Hochschwarzwald	Behälter		24	890,0
Grafenhausen	3363	HB Mettenberg-Kehrhalde	GWV Hochschwarzwald	Behälter			
Grafenhausen	4435		GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk			
Grafenhausen	4440	PW Ühlingen-Birkendorf	GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk			
Grafenhausen	4473	PW Sommerau	GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk			
Grafenhausen	10009	TWA Brandiseck	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk			870,0
Grafenhausen	10011	SB/PW Groß Moos	GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk			
Grafenhausen	10012	HB/PW Geroldshofstetten	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		60	
Häg-Ehrsberg	1480	HB Rohmatt	Gem. Häg-Ehrsberg	Behälter	nur LW	50	629,5
Häg-Ehrsberg	1488		Gem. Häg-Ehrsberg	Behälter		100	862,1
Häg-Ehrsberg	1494	HB Schürberg	Gem. Häg-Ehrsberg	Behälter	wird stillg.	80	911,0
Häg-Ehrsberg	1495	HB Köpfle	Gem. Häg-Ehrsberg	Behälter		300	928,0
Häg-Ehrsberg	1496	HB Kriegenbrächle	Gem. Häg-Ehrsberg	Wasserwerk		35	875,0
Häg-Ehrsberg	1497	Happach	Gem. Häg-Ehrsberg	Behälter	a. B.	80	815,4
Häg-Ehrsberg	1498	HB Häg	Gem. Häg-Ehrsberg	Wasserwerk		70	780,0
Häg-Ehrsberg	1499	HB Sonnenmatt	Gem. Häg-Ehrsberg	Wasserwerk		50	779,5
Häg-Ehrsberg	1500	HB Altenstein	Gem. Häg-Ehrsberg	Wasserwerk		120	933,0

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Häg-Ehrsberg	1501	Simmelsbühl	Gem. Häg-Ehrsberg	Behälter	a. B.	20	982,0
<b>Häg-Ehrsberg</b>	<b>10013</b>	<b>HB Waldmatt</b>	Gem. Häg-Ehrsberg	<b>Wasserwerk</b>		<b>170</b>	<b>980,0</b>
<b>Häg-Ehrsberg</b>	<b>10014</b>	<b>HB Forsthof</b>	Gem. Häg-Ehrsberg	<b>Wasserwerk</b>		<b>120</b>	<b>988,0</b>
<b>Häg-Ehrsberg</b>	<b>10015</b>	<b>HB Schürberg-neu</b>	Gem. Häg-Ehrsberg	<b>Behälter</b>		<b>4</b>	<b>938,0</b>
Herrischried	231	HB Hogschür-Steinbühl	Gem. Herrischried	Behälter	a. B.		
Herrischried	253	HB Herrischried-Riesenbühl	Gem. Herrischried	Behälter	a. B.		
Herrischried	254	HB Engelschwand-Steine	Gem. Herrischried	Behälter			
Herrischried	3867	<b>HB Stehle</b>	Gem. Herrischried	<b>Wasserwerk</b>		<b>220</b>	<b>932,0</b>
Herrischried	3868	<b>HB Hornberg</b>	Gem. Herrischried	<b>Wasserwerk</b>		<b>150</b>	<b>1017,0</b>
Herrischried	4186	<b>HB Steinbühl</b>	Gem. Herrischried	Behälter	a. B.	150	900,9
Herrischried	4187	HB Niedergebisbach-Obere Rittmatt	Gem. Herrischried	Behälter	a. B.		
Herrischried	4188	<b>HB Hummeloch-Rütte</b>	Gem. Herrischried	<b>Wasserwerk</b>		105	<b>952,0</b>
Herrischried	4189	Wehrhalden-Hohe Straße	Gem. Herrischried	<b>Wasserwerk</b>		<b>300</b>	<b>995,0</b>
Herrischried	4191	HB Großherrischried-Schellenberg	Gem. Herrischried	Behälter	a. B.		
<b>Herrischried</b>	<b>10016</b>	<b>HB Tannen</b>	Gem. Herrischried	<b>Wasserwerk</b>		<b>600</b>	<b>904,0</b>
<b>Herrischried</b>	<b>10017</b>	<b>HB Tannacker</b>	Gem. Herrischried	<b>Wasserwerk</b>		<b>600</b>	<b>932,0</b>
Lenzkirch	978	<b>HB Raitenbuch</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter		125	1046,0
Lenzkirch	979	<b>SB/PW Raitenbuch</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	<b>Wasserwerk</b>		40	<b>1002,0</b>
Lenzkirch	984	<b>HB Sonnhalde HZ</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter		213	1076,4
Lenzkirch	985	<b>HB Sonnhalde NZ</b>	<b>GWV Hochschwarzwald</b>	Behälter		<b>180</b>	1061,3

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Lenzkirch	986	HB Kirchwald	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		110	882,0
Lenzkirch	987	HB Platzberg	GWV Hochschwarzwald	Behälter		364	877,0
Lenzkirch	988	HB Kappel HZ	GWV Hochschwarzwald	Behälter		40	1010,0
Lenzkirch	989	HB/PW Kappel NZ	GWV Hochschwarzwald	Behälter		180	928,0
Lenzkirch	990	Hiera	GWV Hochschwarzwald	Behälter		92	923,1
Lenzkirch	991	HB/PW WW Schlossberg	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk			877,0
Lenzkirch	992	HB/PW WW Schlossberg	GWV Hochschwarzwald	Behälter		1500	873,0
Lenzkirch	993	HB/PW Schliecht	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		265	669,0
Lenzkirch	994		GWV Hochschwarzwald	Behälter	a. B.	100	865,0
Lenzkirch	995	HB Ruhbühl	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		400	879,0
Lenzkirch	5319	PW Sonnhalde	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		40	1009,0
Lenzkirch	10036	SB/PW Bad Kappel	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		23	908,0
Rickenbach	424	HB Egg	Gem. Rickenbach	Behälter	a. B.		
Rickenbach	3869	HB Strick	Gem. Rickenbach	Wasserwerk		125	872,0
Rickenbach	4098	PW Steinbühl	Gem. Rickenbach	Pumpwerk			858,0
Rickenbach	4107	PW Bartolomä	Gem. Rickenbach	Pumpwerk			714,0
Rickenbach	4108	PW Hüttnermatten	Gem. Rickenbach	Pumpwerk			
Rickenbach	4178	HB Hütten	Gem. Rickenbach	Wasserwerk		800	899,0
Rickenbach	4183	HB Bergalingen	Gem. Rickenbach	Behälter	a. B.	150	857,5
Rickenbach	4184	HB Willaringen	Gem. Rickenbach	Behälter	a. B.	150	754,2

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Rickenbach	4185	HB Jungholz	Gem. Rickenbach	Behälter		105	803,2
Rickenbach	4198	HB Hottingen	Gem. Rickenbach	Wasserwerk		500	749,5
Rickenbach	6346	HB/TWA Rickenbach	Gem. Rickenbach	Wasserwerk		500	815,0
Rickenbach	10018	PW Rüttehof	Gem. Rickenbach	Pumpwerk			
Rickenbach	10019	HB/TWA Steinbühl	Gem. Herrisried	Wasserwerk		150	901,0
Rickenbach	10020	PW Hütten	Gem. Rickenbach	Pumpwerk			
Rickenbach	10021	PW Breitenbach	Gem. Rickenbach	Pumpwerk			
Rickenbach	10022	PW Hasenbrunnen	Gem. Rickenbach	Pumpwerk			
Schluchsee	980	HB Fischbacherhöhe	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		858	1123,6
Schluchsee	981	HB/PW Aha	GWV Hochschwarzwald	Behälter		15	979,0
Schluchsee	982	HB Äule	GWV Hochschwarzwald	Behälter		75	1053,0
Schluchsee	983	HB Hinteraha	GWV Hochschwarzwald	Behälter	a. B.	21	1024,5
Schluchsee	996		GWV Hochschwarzwald	Behälter	a. B.	200	1105,0
Schluchsee	997	HB/PW Schluchsee HZ	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		300	1016,0
Schluchsee	998	HB Schluchsee NZ	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		208	985,0
Schluchsee	999	HB/PW Faulenfürst	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		88	1054,1
Schluchsee	1000	HB Seebrugg	GWV Hochschwarzwald	Behälter		47	956,6
Schluchsee	1272	HB Domäne	GWV Hochschwarzwald	Behälter		40	
Schluchsee	3347	HB Schönenbach	GWV Hochschwarzwald	Wasserwerk		55	1004,0
Schluchsee	10033	HB Blasiwald	GWV Hochschwarzwald	Behälter		90	950,0

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Schluchsee	10035	PW Haus des Gastes	GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk		5	1000,0
Schönau	1470	HB Gelber Boden	GVV Schönau	Wasserwerk		1100	589,5
Schönau	10023	PW Eggenrütte	GVV Schönau	Pumpwerk		40	774,0
Schönau	10024	HB Eggenrütte	GVV Schönau	Behälter		150	639,0
Schönau	10025	HB Eichbühl	GVV Schönau	Behälter		200	622,0
Schönenberg	1469	HB Hohweier	GVV Schönau	Wasserwerk		250	736,0
St. Blasien	234	HB Immeneich	Stadt St. Blasien	Behälter			
St. Blasien	971	Behälter in TWA Schwarzberg	Stadt St. Blasien	Behälter		600	883,0
St. Blasien	972	TWA Schwarzberg	Stadt St. Blasien	Wasserwerk			885,0
St. Blasien	1017		Stadt St. Blasien	Pumpwerk			
St. Blasien	3327	WW Roßbrühl	Stadt St. Blasien	Wasserwerk		600	766,0
St. Blasien	3328	HB Bötzbeg	Stadt St. Blasien	Behälter		165	800,0
St. Blasien	3329	HB Bitch alt	Stadt St. Blasien	Behälter		290	875,0
St. Blasien	3330	HB Bitch neu	Stadt St. Blasien	Wasserwerk		200	876,0
St. Blasien	3331	HB Kalvarienberg	Stadt St. Blasien	Behälter	a. B.		
St. Blasien	3332	HB Holzberg	Stadt St. Blasien	Wasserwerk		800	808,0
St. Blasien	3333	HB Kohlwald	Stadt St. Blasien	Behälter		300	945,0
St. Blasien	3338	HB Unterer Ballenberg	Stadt St. Blasien	Behälter			
St. Blasien	3341		Stadt St. Blasien	Behälter		830	692,9
Todtmoos	1503	PW Schwarzenbach	Gem. Todtmoos	Wasserwerk			745,0

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Todtmoos	1504	HB Au	Gem. Todtmoos	Wasserwerk		180	791,0
Todtmoos	1505	HB Schwarzenbach	Gem. Todtmoos	Behälter		70	959,0
Todtmoos	1506	HB Mättle	Gem. Todtmoos	Behälter		150	922,8
Todtmoos	1507	HB Weg	Gem. Todtmoos	Wasserwerk		300	986,0
Todtmoos	1508	HB Lehen	Gem. Todtmoos	Wasserwerk		120	1065,1
Todtmoos	1509		Gem. Todtmoos	Pumpwerk	gepl.		
Todtmoos	1512	HB Prestenberg	Gem. Todtmoos	Wasserwerk		120	1048,1
Todtmoos	1514	HB Strick	Gem. Todtmoos	Behälter		120	928,1
Todtmoos	1515	HB Kälberweid	Gem. Todtmoos	Wasserwerk		800	873,2
Todtmoos	1517	HB Lindau-Brunnenstubenrain	Gem. Todtmoos	Behälter		100	984,3
Todtmoos	1518	HB Glashütte	Gem. Todtmoos	Behälter		150	812,0
Todtmoos	2925		Gem. Todtmoos	Pumpwerk			
Todtmoos	2926		Gem. Todtmoos	Behälter			
Todtmoos	4190	HB Au	Gem. Todtmoos	Behälter	gepl.	175	774,7
Todtnau	950	HB Muggenbrunn I	EOW Todtnau	Wasserwerk		60	1120,0
Todtnau	951	HB Muggenbrunn II	EOW Todtnau	Behälter		250	1062,8
Todtnau	952	HB Muggenbrunn III	EOW Todtnau	Behälter		60	1017,6
Todtnau	953	HB Ratschert	EOW Todtnau	Behälter		200	1189,0
Todtnau	954	HB/TWA Rütte	EOW Todtnau	Wasserwerk		500	1127,9
Todtnau	955	HB/TWA Büreten-neu	EOW Todtnau	Wasserwerk		200	1112,2

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Todtnau	956	HB Aftersteg	EOW Todtnau	Behälter		90	870,6
Todtnau	957	HB Brandenburg-alt	EOW Todtnau	Behälter		60	825,0
Todtnau	958	HB Hasbach	EOW Todtnau	Behälter	a. B.	25	
Todtnau	959	HB Feriendorf	EOW Todtnau	Behälter		200	930,0
Todtnau	961	HB Liesbühl	EOW Todtnau	Behälter		300	747,0
Todtnau	962	DU Stuhl	EOW Todtnau	Behälter		100	668,0
Todtnau	963	Brunnenstube Mauswald	EOW Todtnau	Behälter		300	
Todtnau	965	HB Geschwend	EOW Todtnau	Behälter	a. B.	25	
Todtnau	966	HB/TWA Mauswald	EOW Todtnau	Wasserwerk		600	760,0
Todtnau	968	HB TUK Fahl	EOW Todtnau	Behälter		100	
Todtnau	969	HB/TWA Fahl-neu	EOW Todtnau	Wasserwerk		60	910,0
Todtnau	1492	Quellschacht	EOW Todtnau	Behälter		160	850,0
Todtnau	1493	HB/TWA Herrenschwand	EOW Todtnau	Wasserwerk		60	
Todtnau	1510	HB/TWA Präg	EOW Todtnau	Wasserwerk		200	770,0
Todtnau	10028	HB Brandenburg-neu	EOW Todtnau	Behälter		200	840,0
Todtnau	10029	HB Hasbach neu	EOW Todtnau	Behälter		50	935,0
Todtnau	10030	HB/TWA Knappenquelle	EOW Todtnau	Wasserwerk		300	754,0
Todtnau	10031	HB Schlechnau	EOW Todtnau	Behälter		180	673,0
Tunau	1489	HB Michelrütte	GVV Schönau	Pumpwerk		50	744,0
Tunau	1490	HB Bischmatt	GVV Schönau	Behälter		90	665,8

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

a.B.: außer Betrieb

## Anhang 2: Liste der Bauwerke zur Wasserversorgung

Gemeinde	ID	Langname	Betreiber	Funktion	Status	Volumen [m³]	WSP [müNN]
Tunau	1491	HB Tunau	GVV Schönau	Wasserwerk		180	781,0
Utzenfeld	960		GVV Schönau	Behälter	a. B.		
Utzenfeld	964	HB Utzenfeld	GVV Schönau	Wasserwerk		350	610,0
Wembach	1471	HB Wembach-neu	GVV Schönau	Wasserwerk		215	580,0
Wieden	940	HB Ungendwieden	GVV Schönau	Wasserwerk		100	985,0
Wieden	941	HB Rütte	GVV Schönau	Wasserwerk		100	1011,8
Wieden	942	HB Wiedener Eck	GVV Schönau	Behälter		100	1070,1
Wieden	943	HB Buck	GVV Schönau	Wasserwerk		200	929,0
Wieden	944	HB Graben	GVV Schönau	Wasserwerk		100	952,0
Wieden	10032	TWA Breitmoos	GVV Schönau	Wasserwerk		150	1116,0
Wutach	1274	HB Münchingen ob Steg (neu)	GWV Hochschwarzwald	Behälter		100	845,0
Wutach	1275	HB Münchingen ob Steg (alt)	GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk		83	
Wutach	1277	HB Lembach im Grund	GWV Hochschwarzwald	Behälter	a. B.		
Wutach	2031		GWV Hochschwarzwald	Behälter		100	761,3
Wutach	2032	HB Siedler	GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk		60	808,0
Wutach	2924		GWV Hochschwarzwald	Pumpwerk	a. B.		
Wutach	4478	HB Ewattigen auf d. Berg	GWV Hochschwarzwald	Behälter		350	777,0
Wutach	4479	HB Ewattigen Wutachmühle	GWV Hochschwarzwald	Behälter		20	

**Wasserwerk:** neu erfasst/aktualisiert

Wasserwerk: unveränderte Angabe

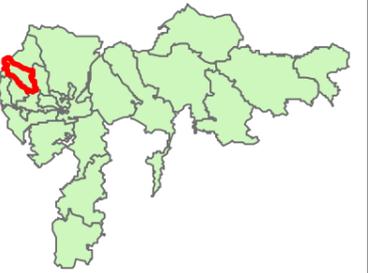
a.B.: außer Betrieb

# Anhang 3 - 1

## Aitern

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (3)
- Wasserwerk, Bestand (1)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

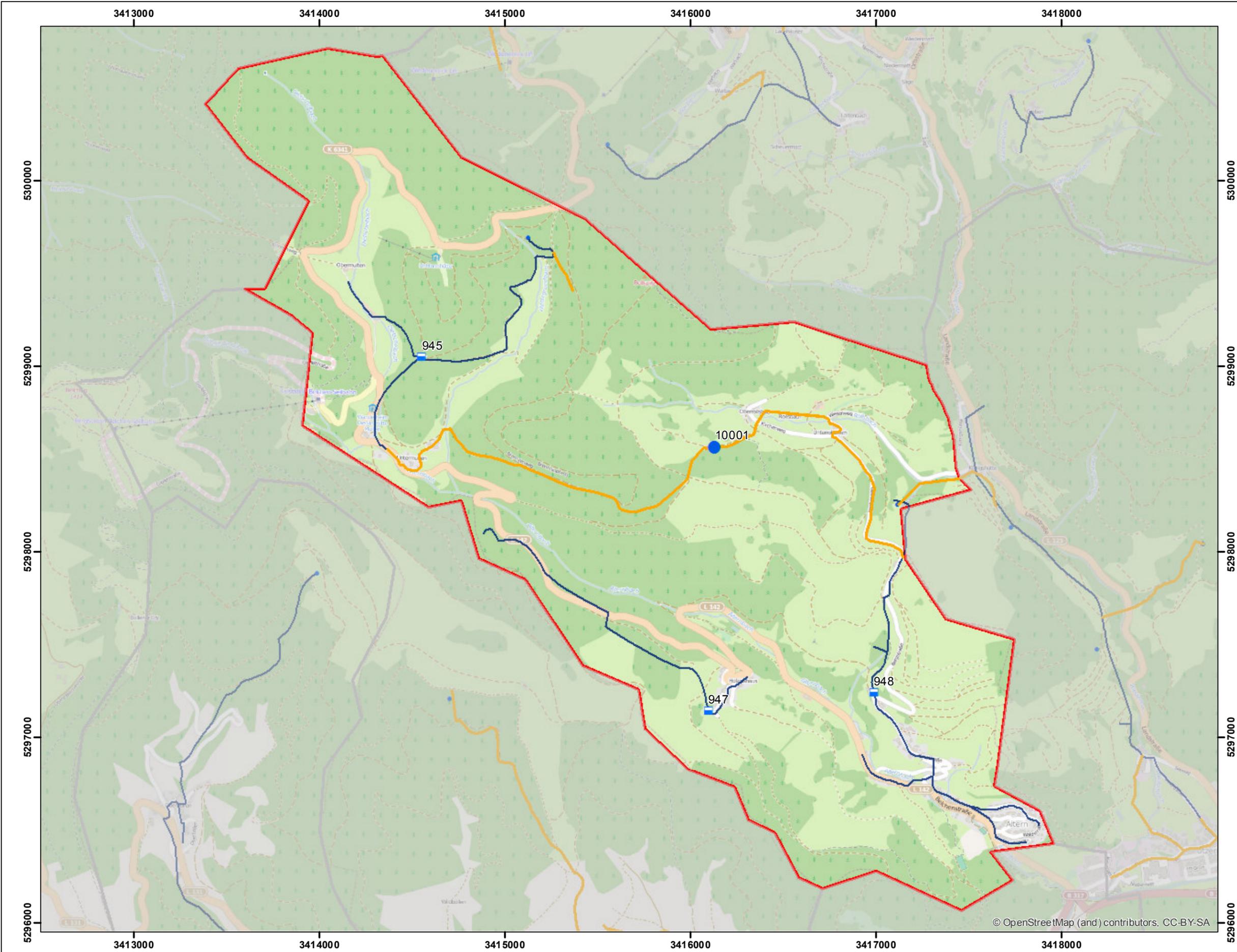
0 380 760 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem

**TZW**  
Technologiezentrum  
Wasser

Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



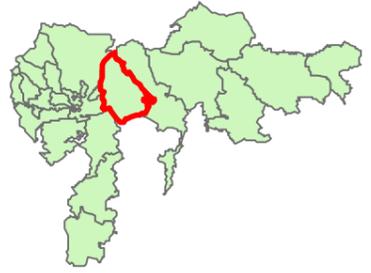
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 2

## Bernau

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (2)
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

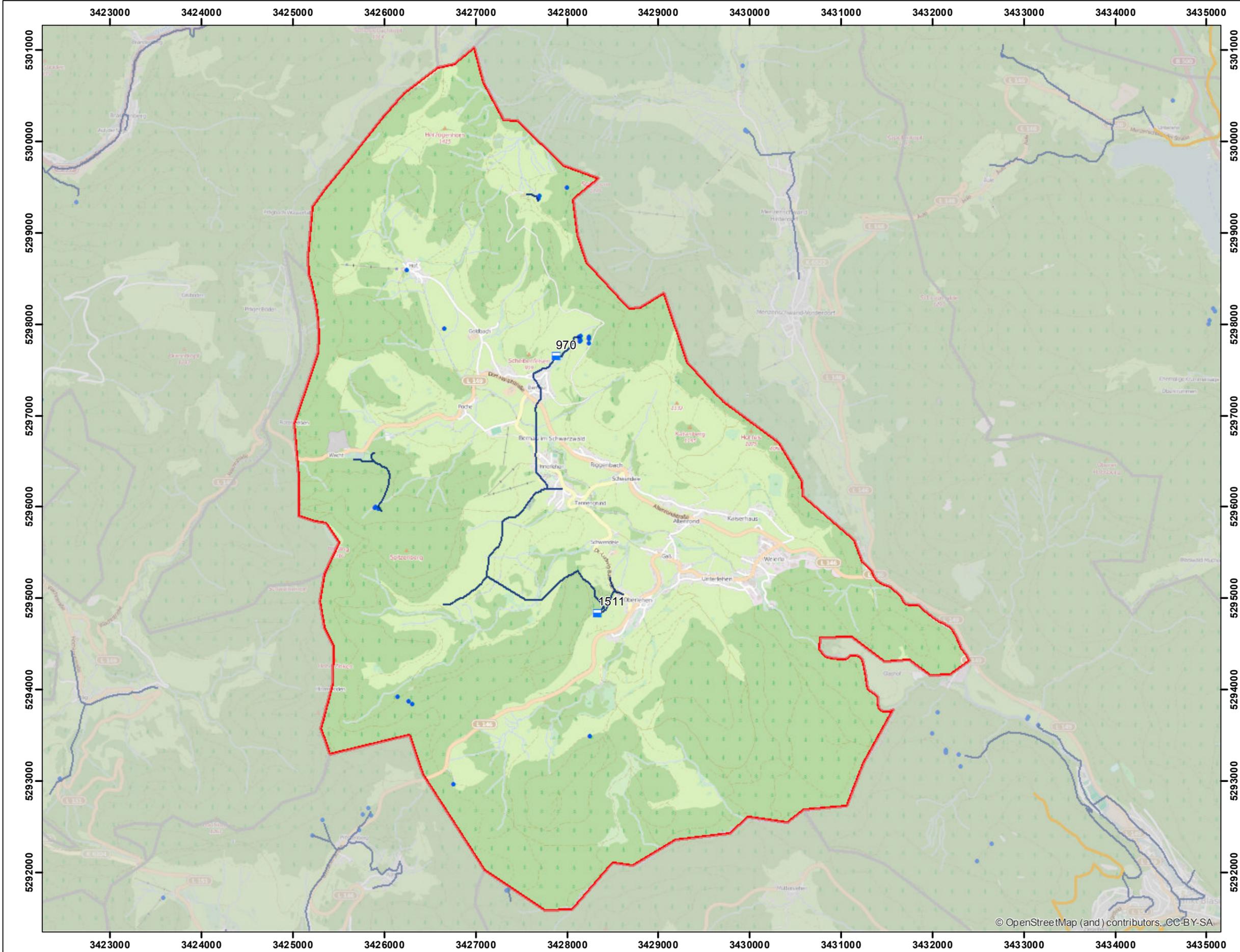


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



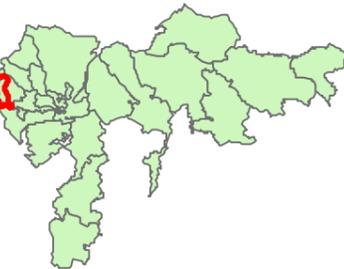
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 3

## Böllen

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Wasserwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, a. B. (1)
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze



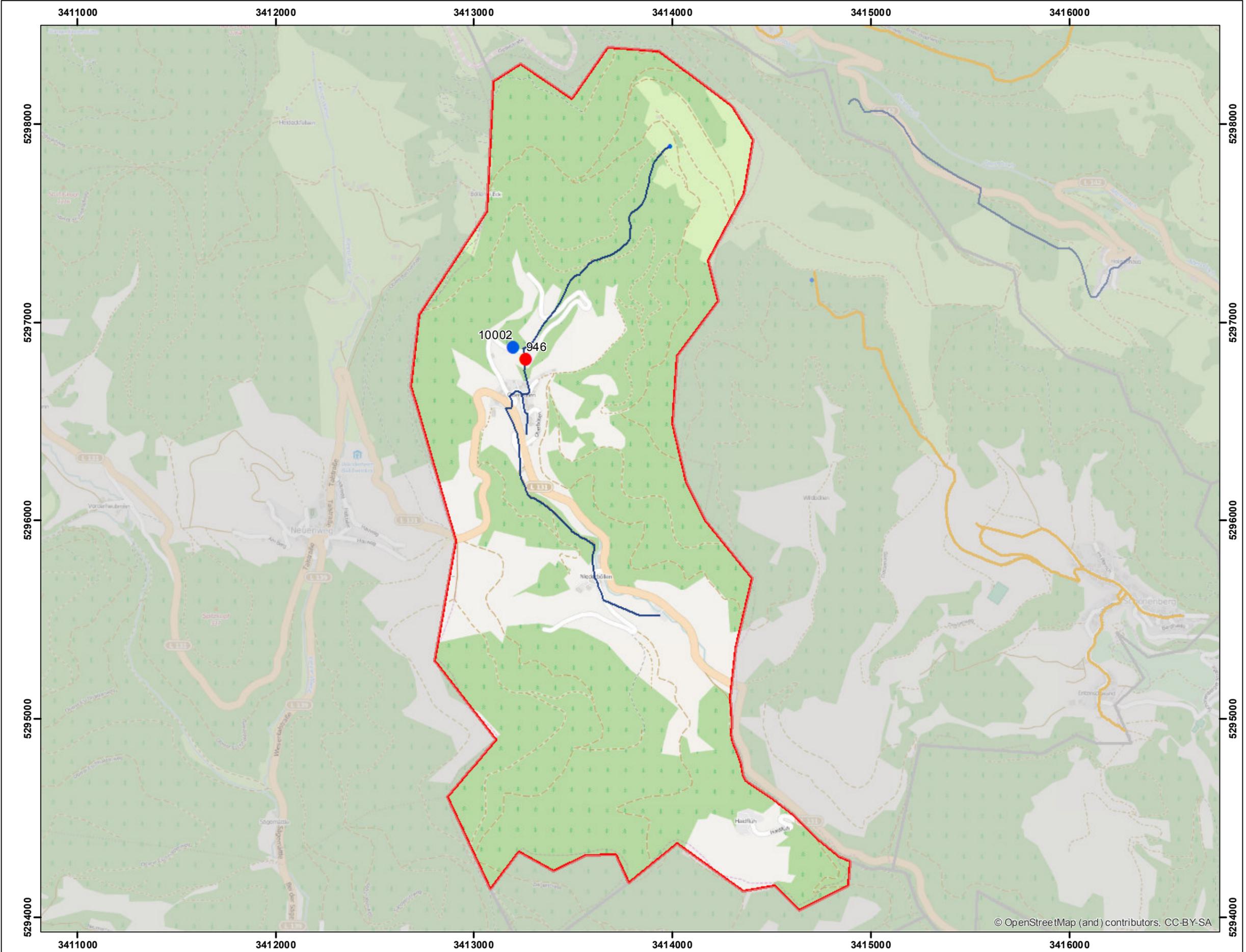
0 350 700 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 4

## Bonndorf

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (5)
- Pumpwerk, Bestand (2)
- Pumpwerk, a. B. (3)
- Wasserwerk, Bestand (7)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

0 870 1.740 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012

Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

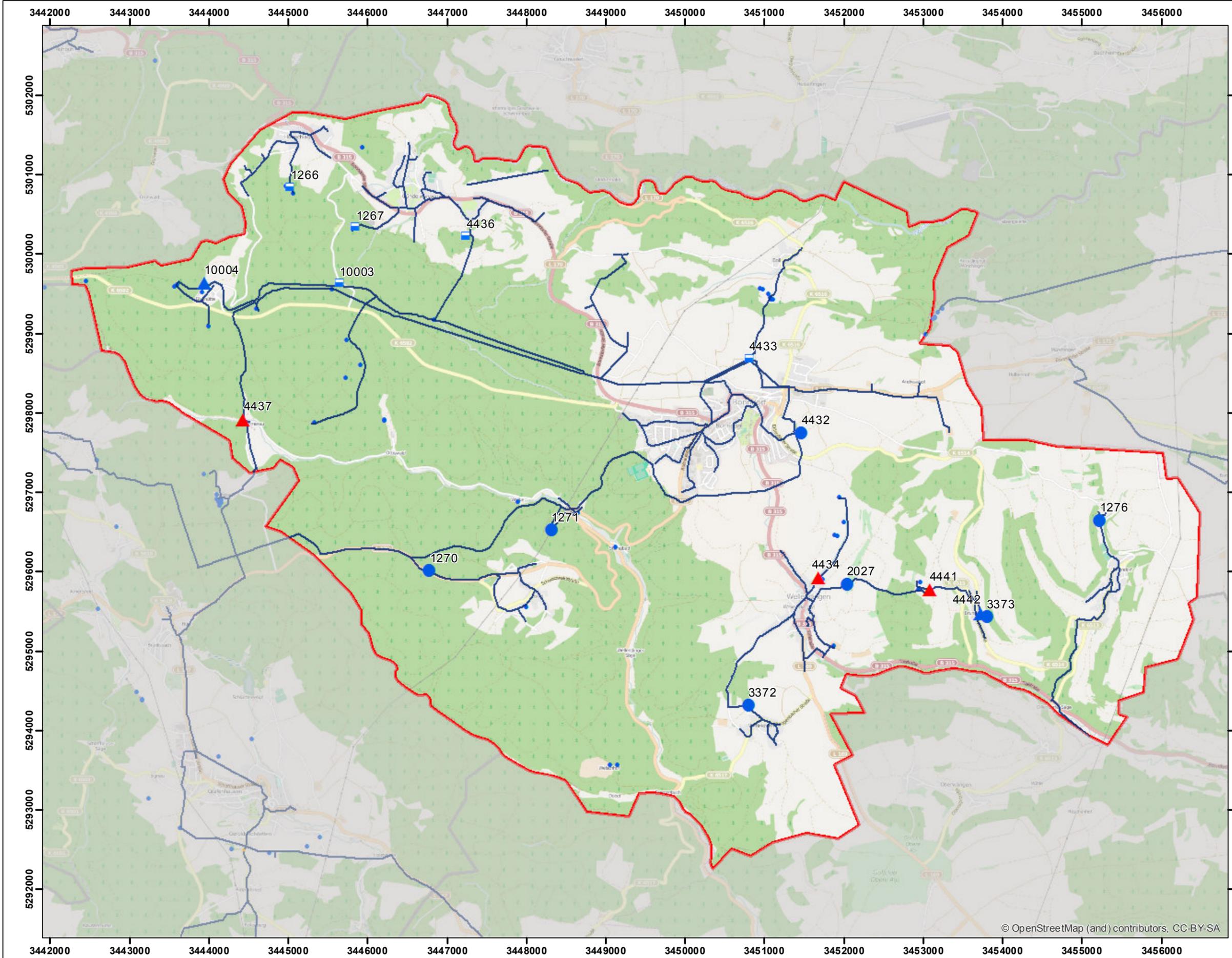
Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer

Datum: 16.01.2015

Datei: Klimopass\_Prij\_Gem

**TZW**  
Technologiezentrum  
Wasser

Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



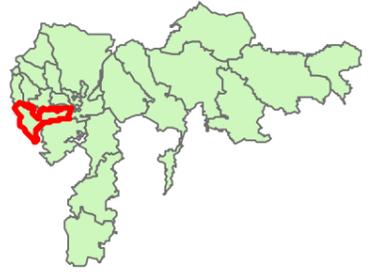
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 5

## Fröhnd

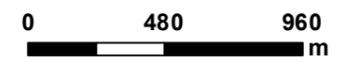
### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (6)
- Wasserwerk, Bestand (2)
- Wasserwerk, a. B. (1)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

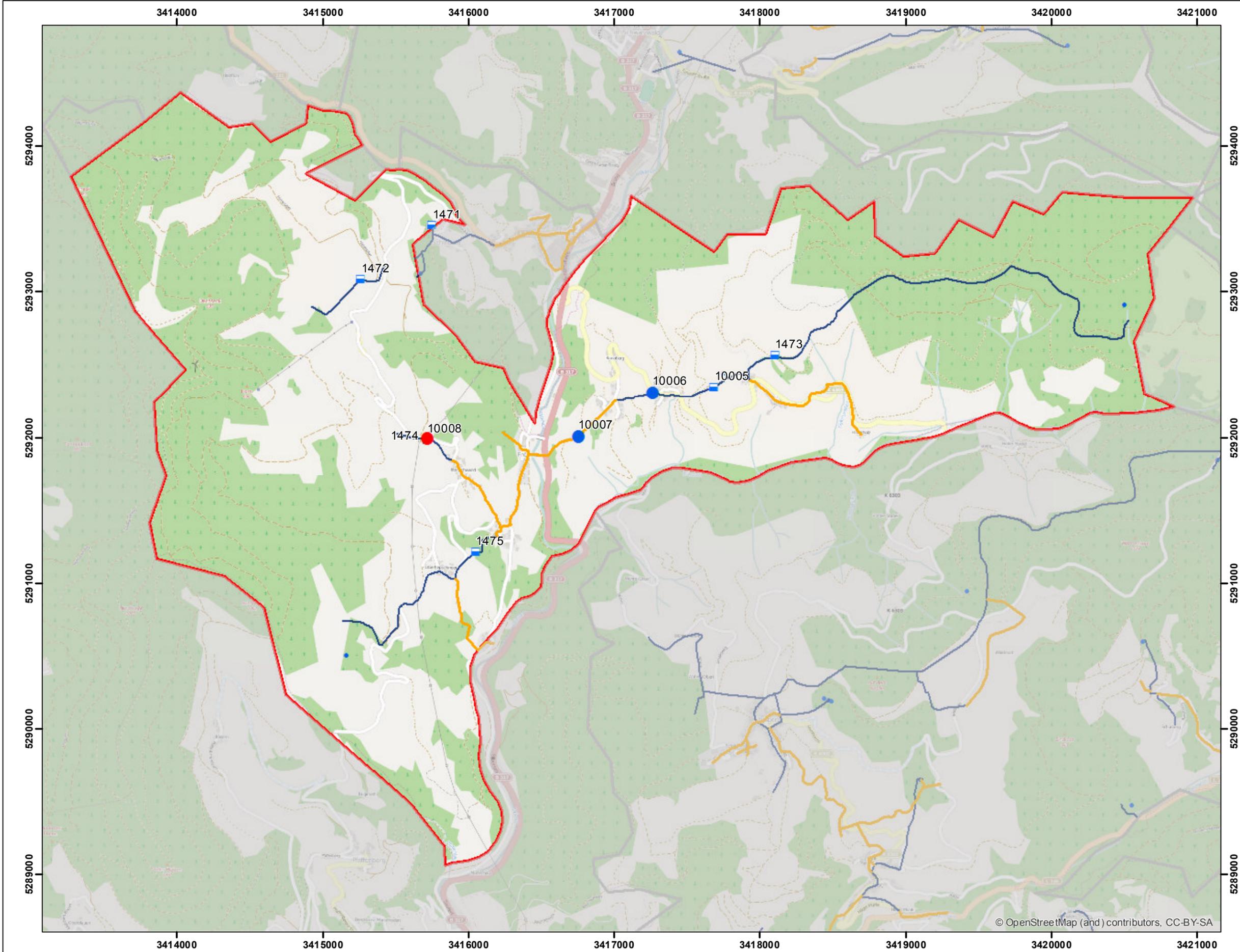


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



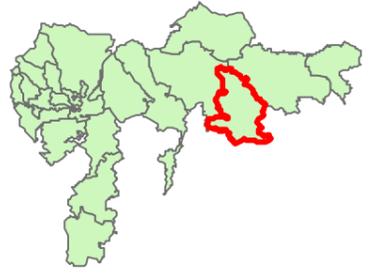
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 6

## Grafenhausen

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (2)
- Behälter, a. B. (1)
- Pumpwerk, Bestand (4)
- Wasserwerk, Bestand (9)
- Wasserwerk, a. B. (2)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

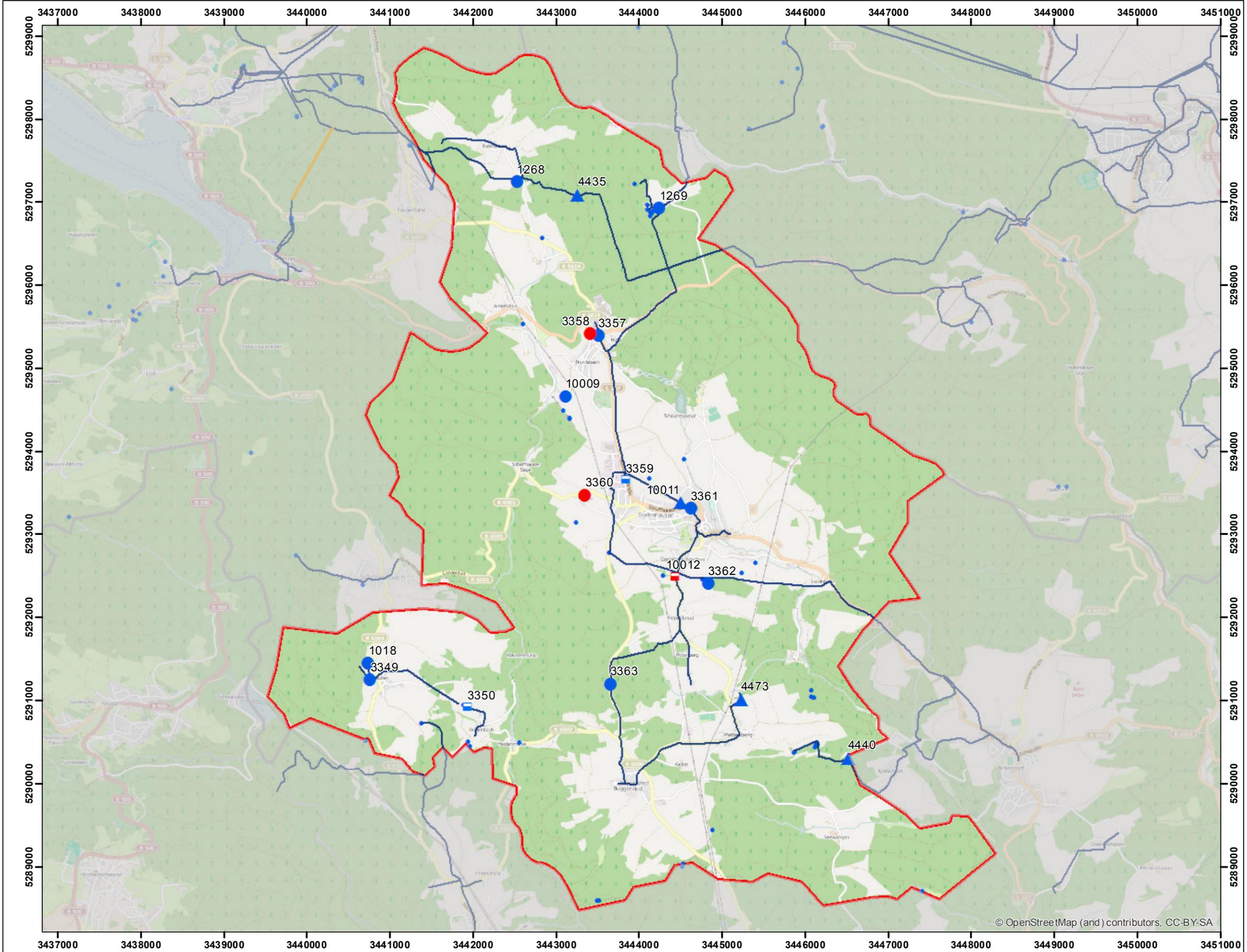


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



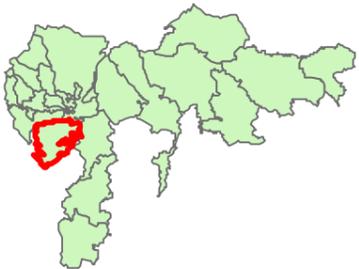
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 7

## Häg-Ehrsberg

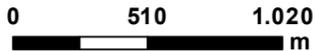
### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (6)
- Pumpwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, Bestand (4)
- Wasserwerk, a. B. (2)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

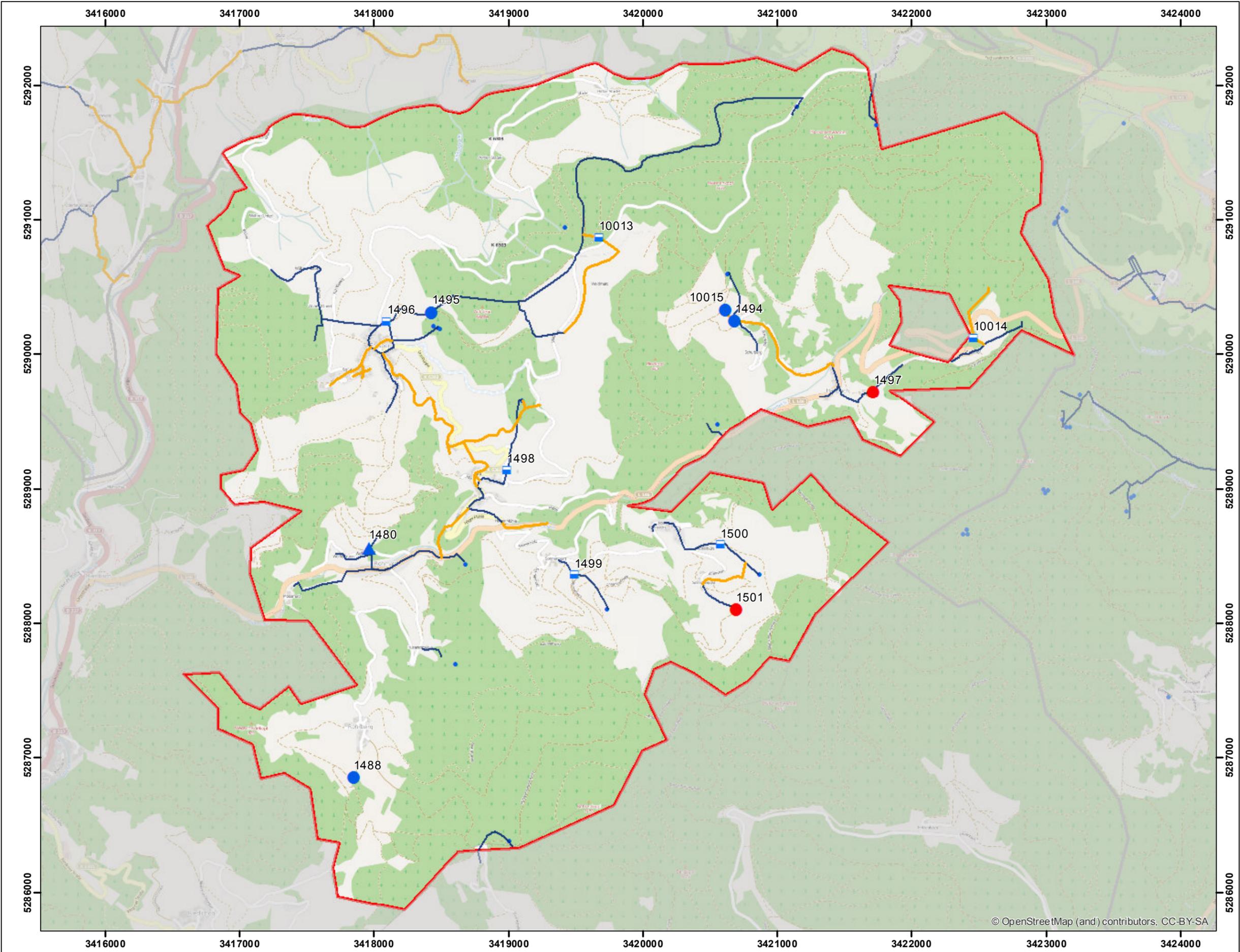


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



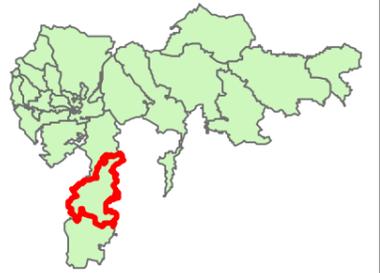
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 8

## Herrischried

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (7)
- Wasserwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, a. B. (5)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

0 800 1.600 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

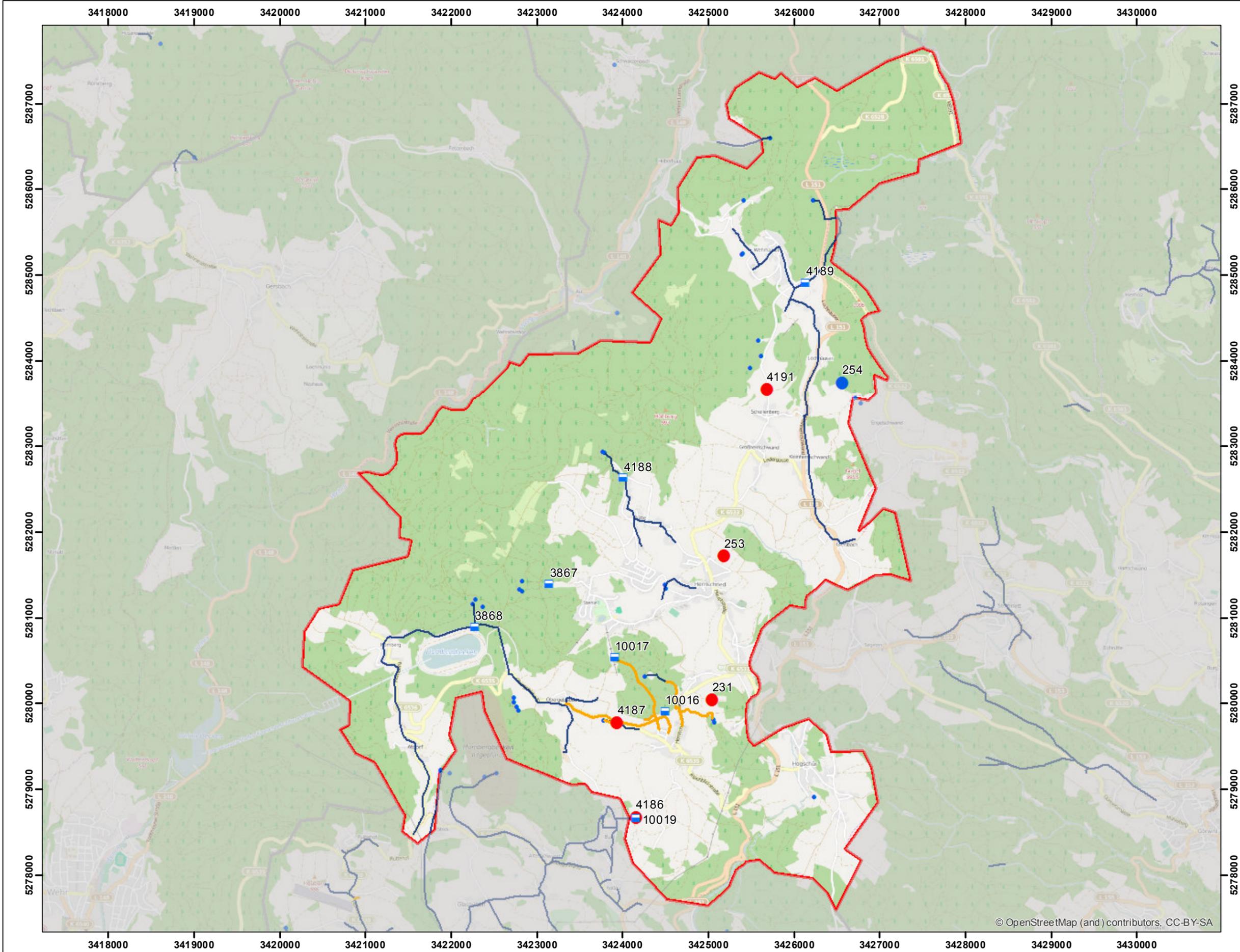
Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer

Datum: 16.01.2015

Datei: Klimopass\_Prj\_Gem

**TZW**  
Technologiezentrum  
Wasser

Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



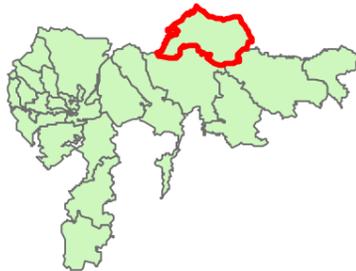
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Anhang 3 - 9

Lenzkirch

KLIMOPASS -  
Vulnerabilitätsanalyse WW  
südlicher Schwarzwald

Übersicht Projektgebiet



Legende

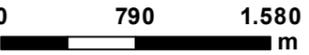
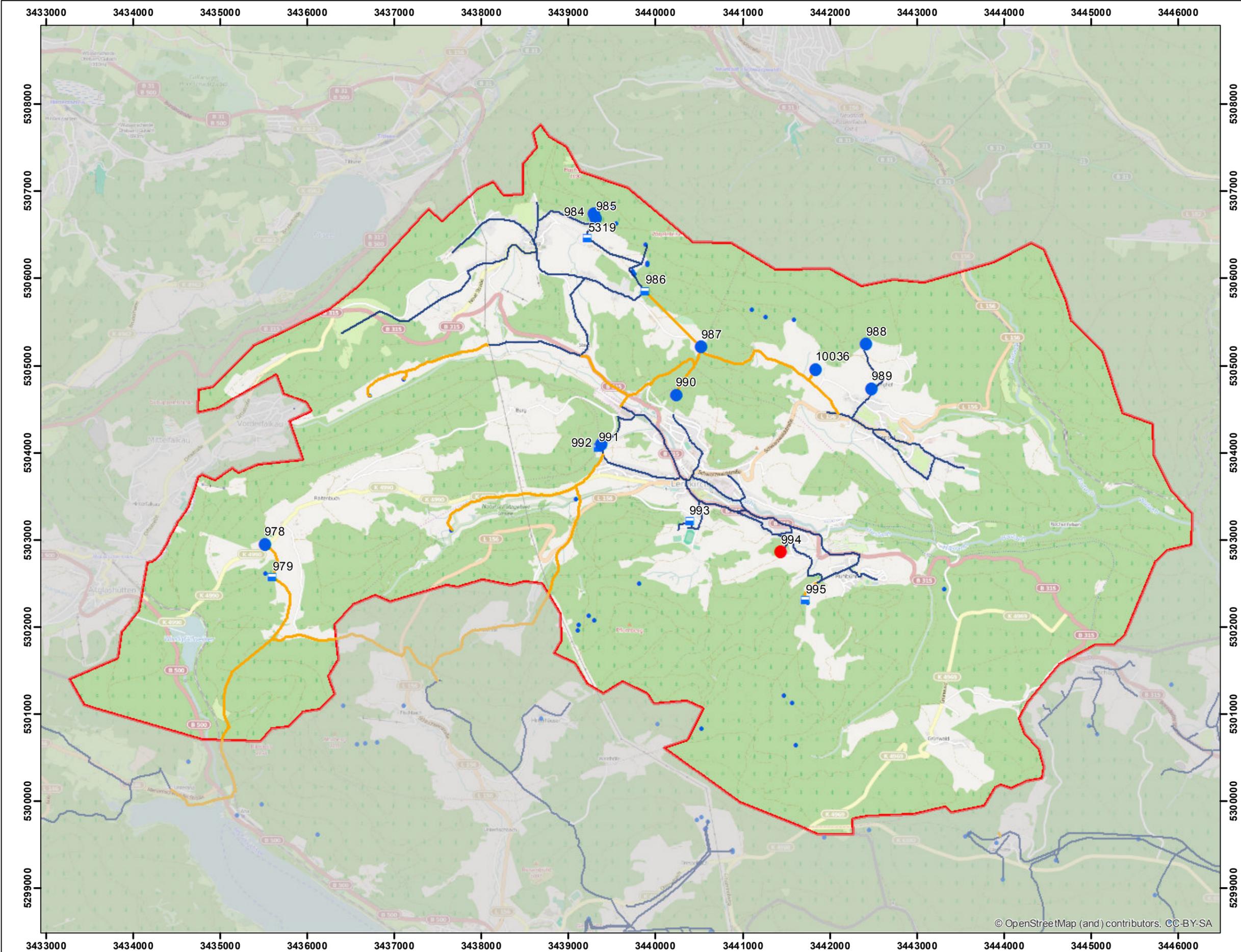
- Behälter, Bestand (6)
- Wasserwerk, Bestand (9)
- Wasserwerk, a. B. (1)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



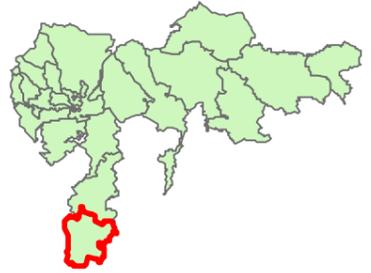
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 10

## Rickenbach

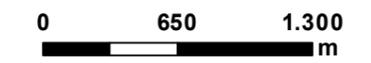
### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (4)
- Pumpwerk, Bestand (7)
- Wasserwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, a. B. (3)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

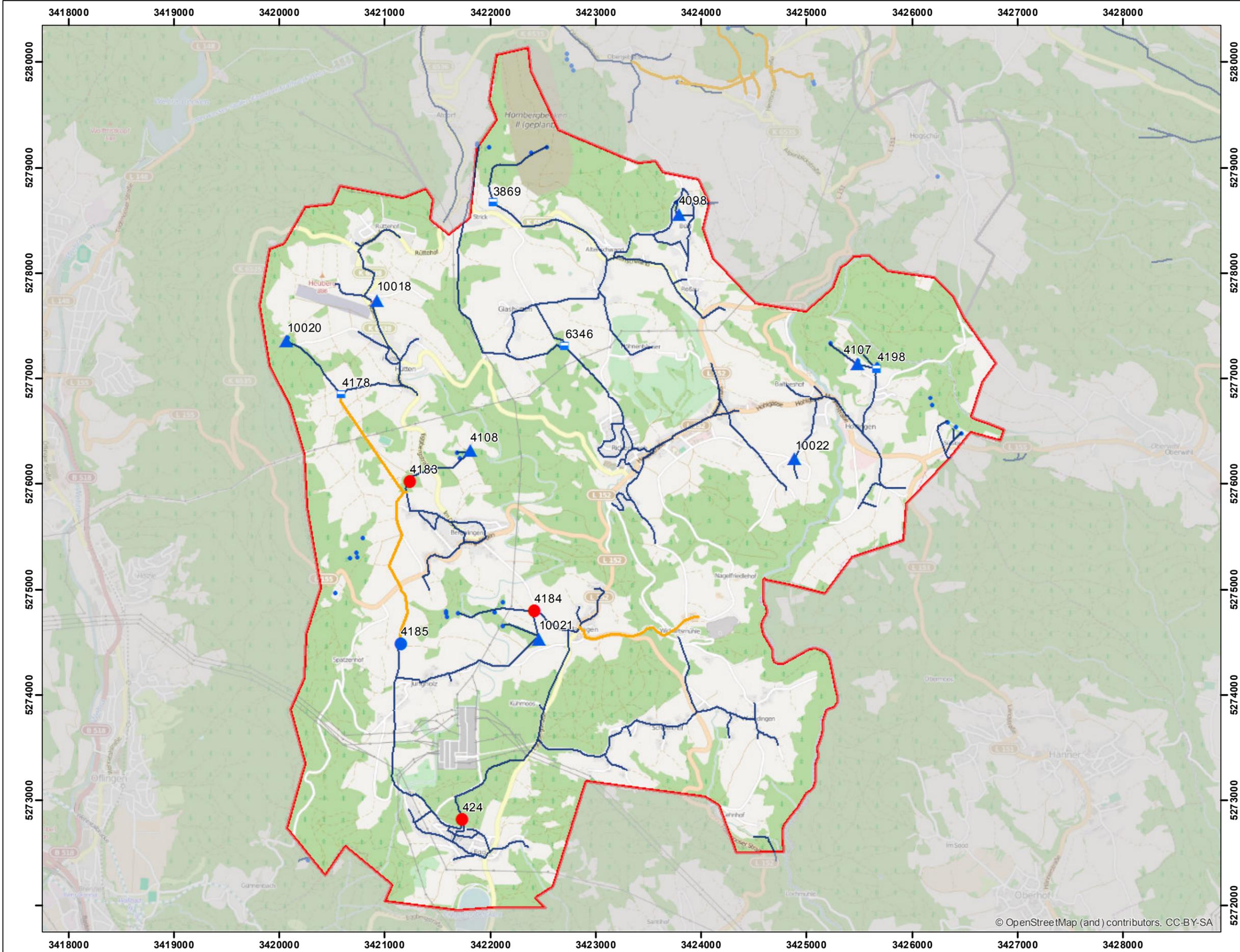


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



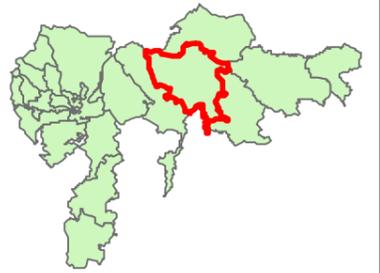
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 11

## Schluchsee

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (6)
- Pumpwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, Bestand (4)
- Wasserwerk, a. B. (2)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

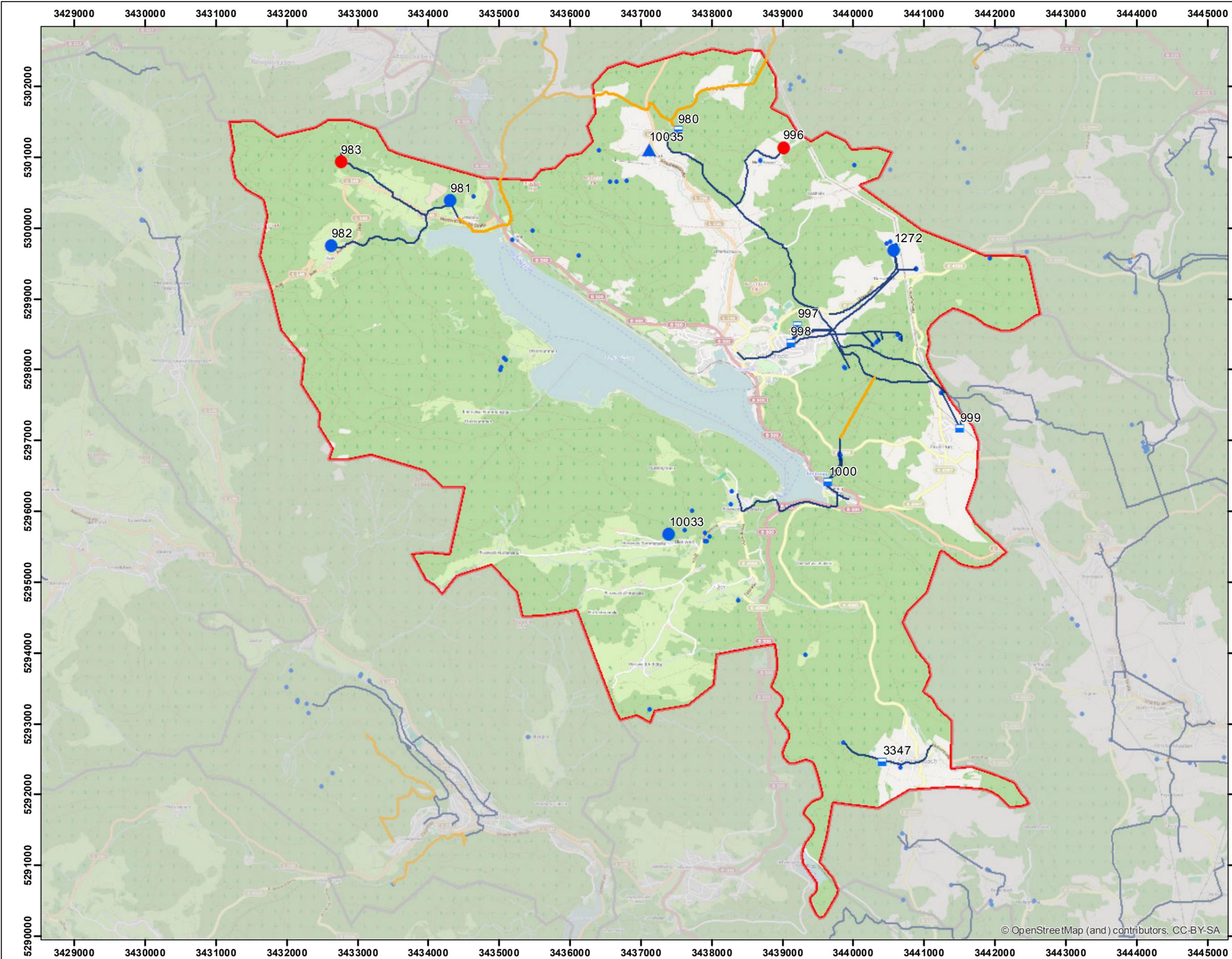


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de

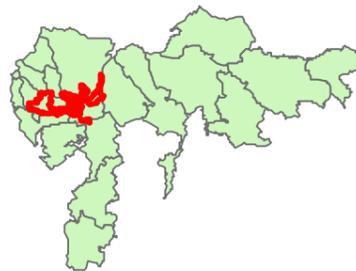


© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Schönau

KLIMOPASS -  
Vulnerabilitätsanalyse WW  
südlicher Schwarzwald

Übersicht Projektgebiet



Legende

- Behälter, Bestand (1)
- Pumpwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, Bestand (2)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze



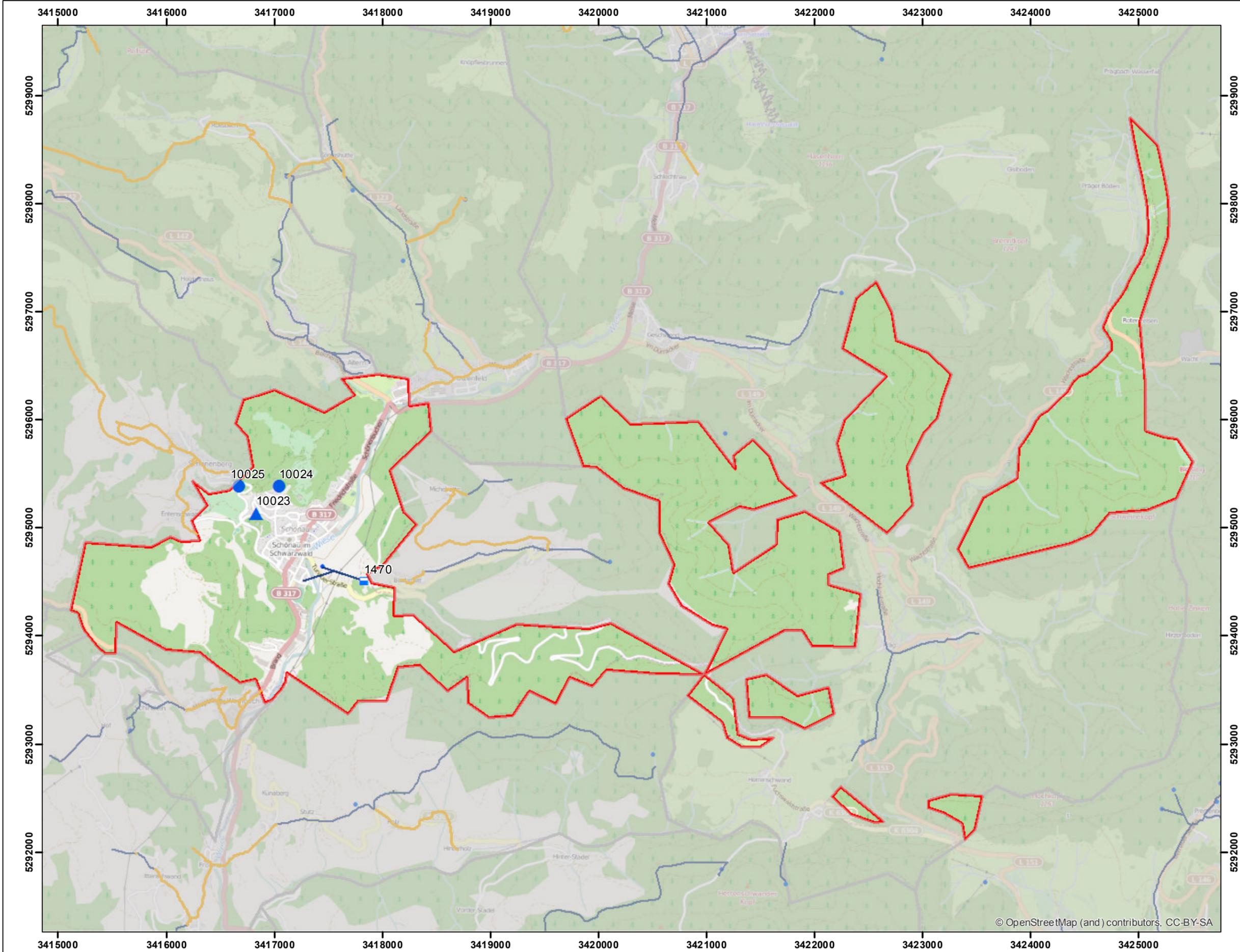
0 630 1.260 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 13

## Schönenberg

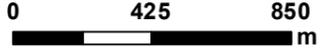
### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (1)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

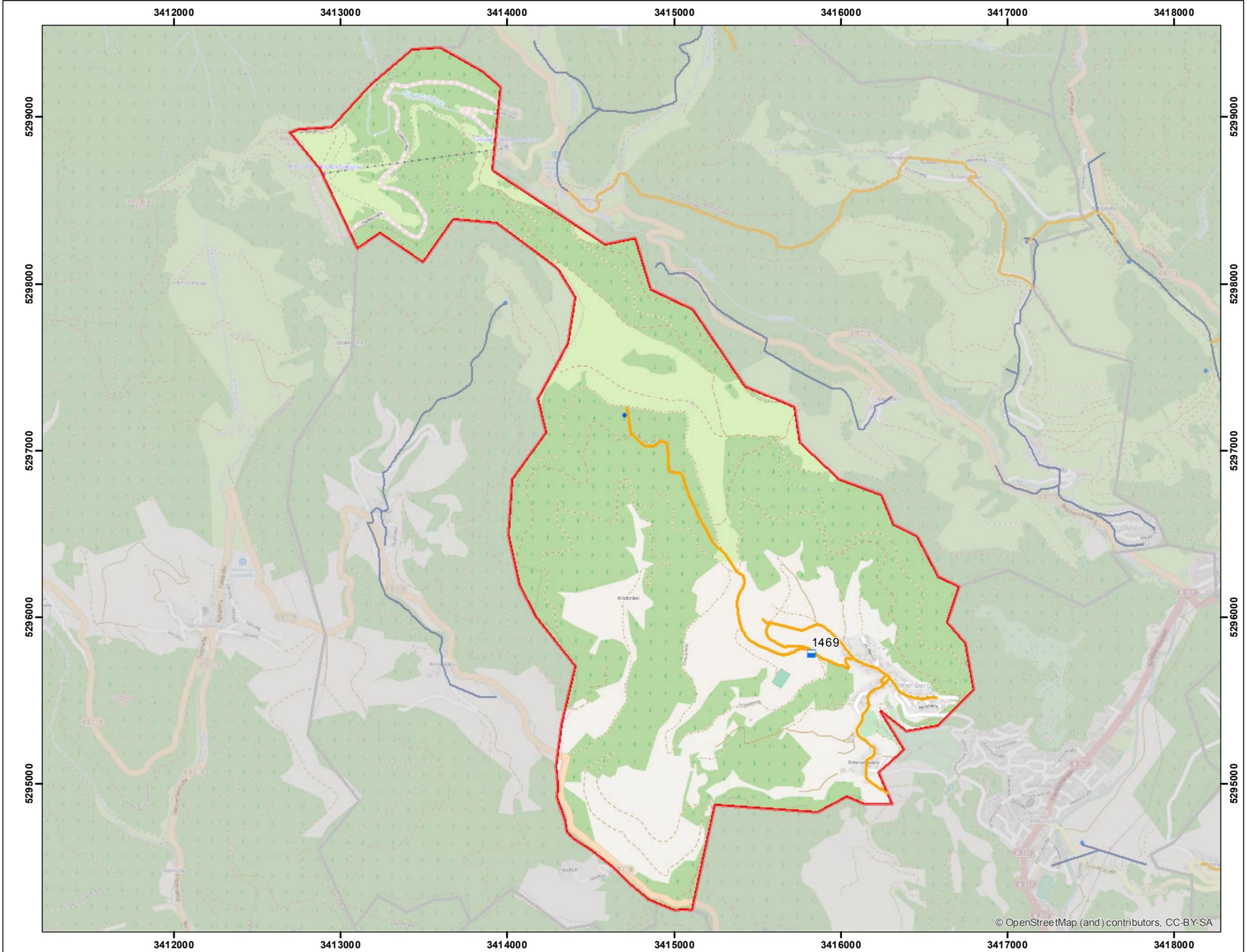


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Anhang 3 - 14

St. Blasien

KLIMOPASS -  
Vulnerabilitätsanalyse WW  
südlicher Schwarzwald

Übersicht Projektgebiet



Legende

- Behälter, Bestand (4)
- Pumpwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, Bestand (7)
- Wasserwerk, a. B. (1)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze



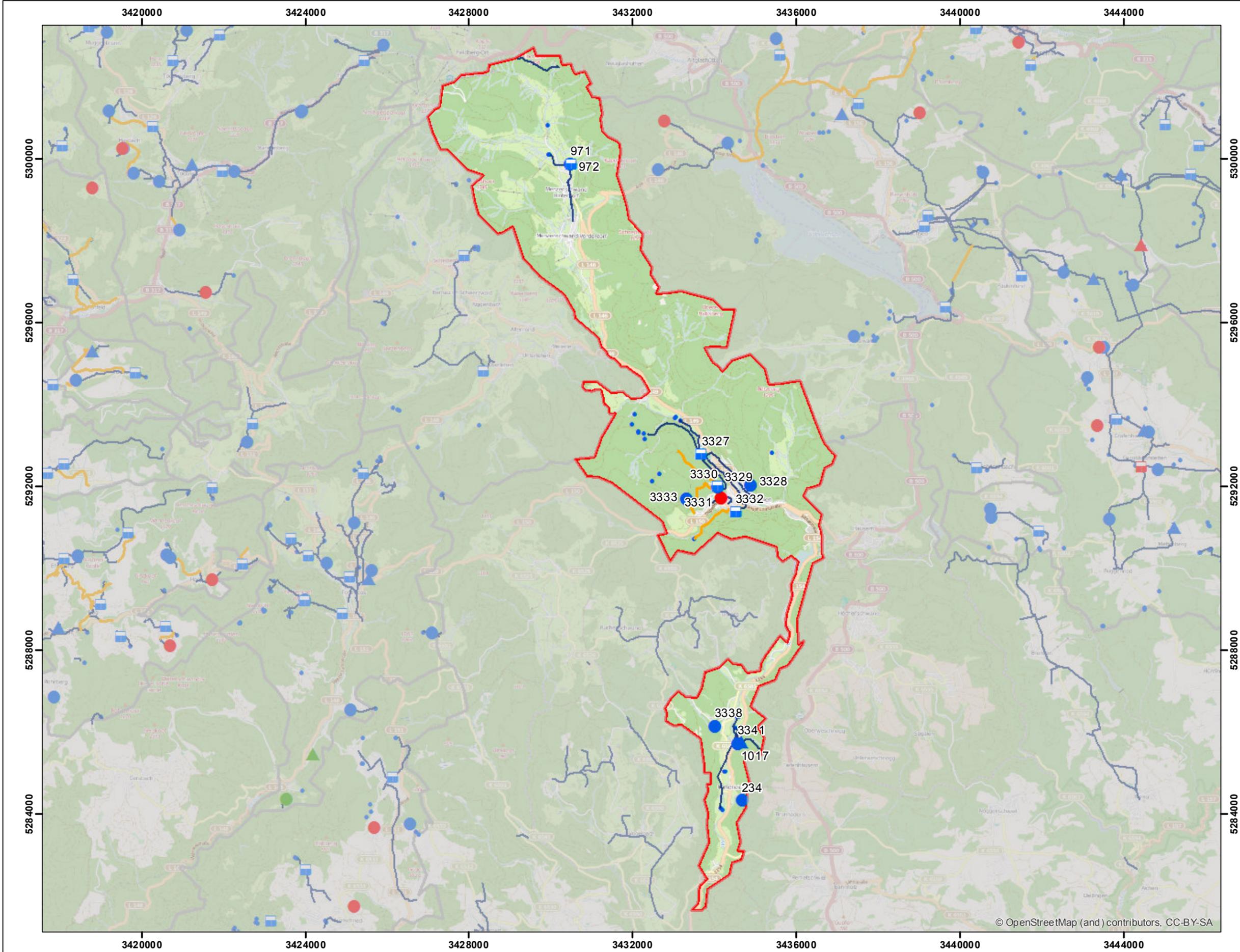
0 1.600 3.200 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



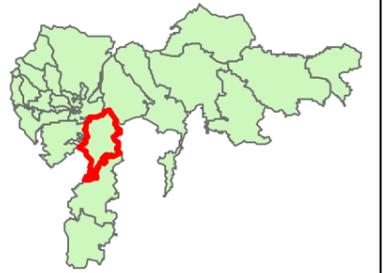
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 15

## Todtmoos

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (6)
- Pumpwerk, Bestand (1)
- Pumpwerk, geplant (1)
- Wasserwerk, Bestand (6)
- Wasserwerk, geplant (1)
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

0 750 1.500 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012

Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

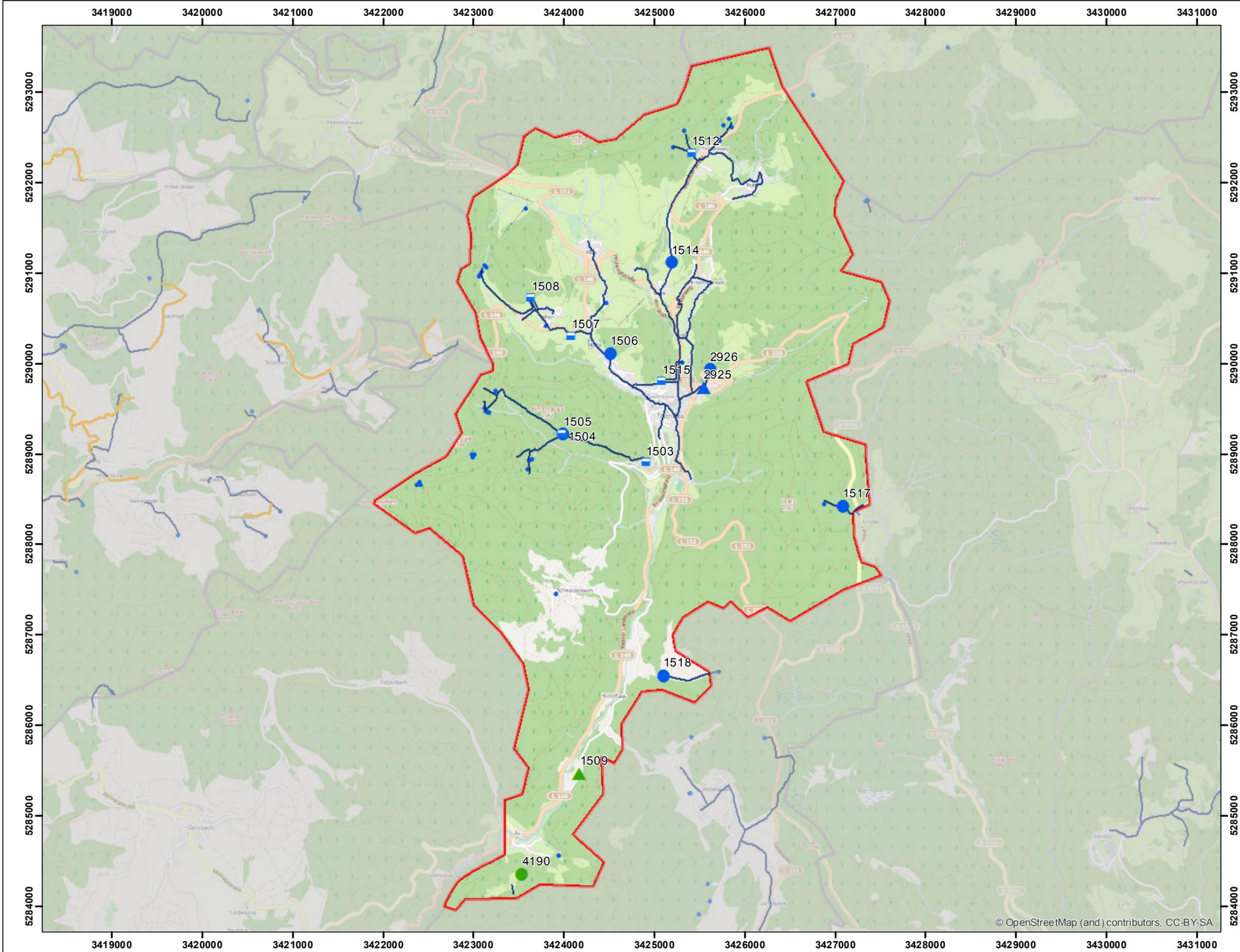
Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer

Datum: 16.01.2015

Datei: Klimopass\_Prij\_Gem

**TZW**  
Technologiezentrum  
Wasser

Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de

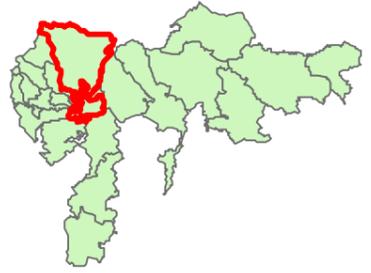


© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Todtnau

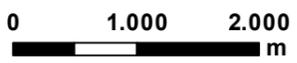
KLIMOPASS -  
Vulnerabilitätsanalyse WW  
südlicher Schwarzwald

Übersicht Projektgebiet



Legende

- Behälter, Bestand (8)
- Pumpwerk, Bestand (1)
- Wasserwerk, Bestand (13)
- Wasserwerk, a. B. (2)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

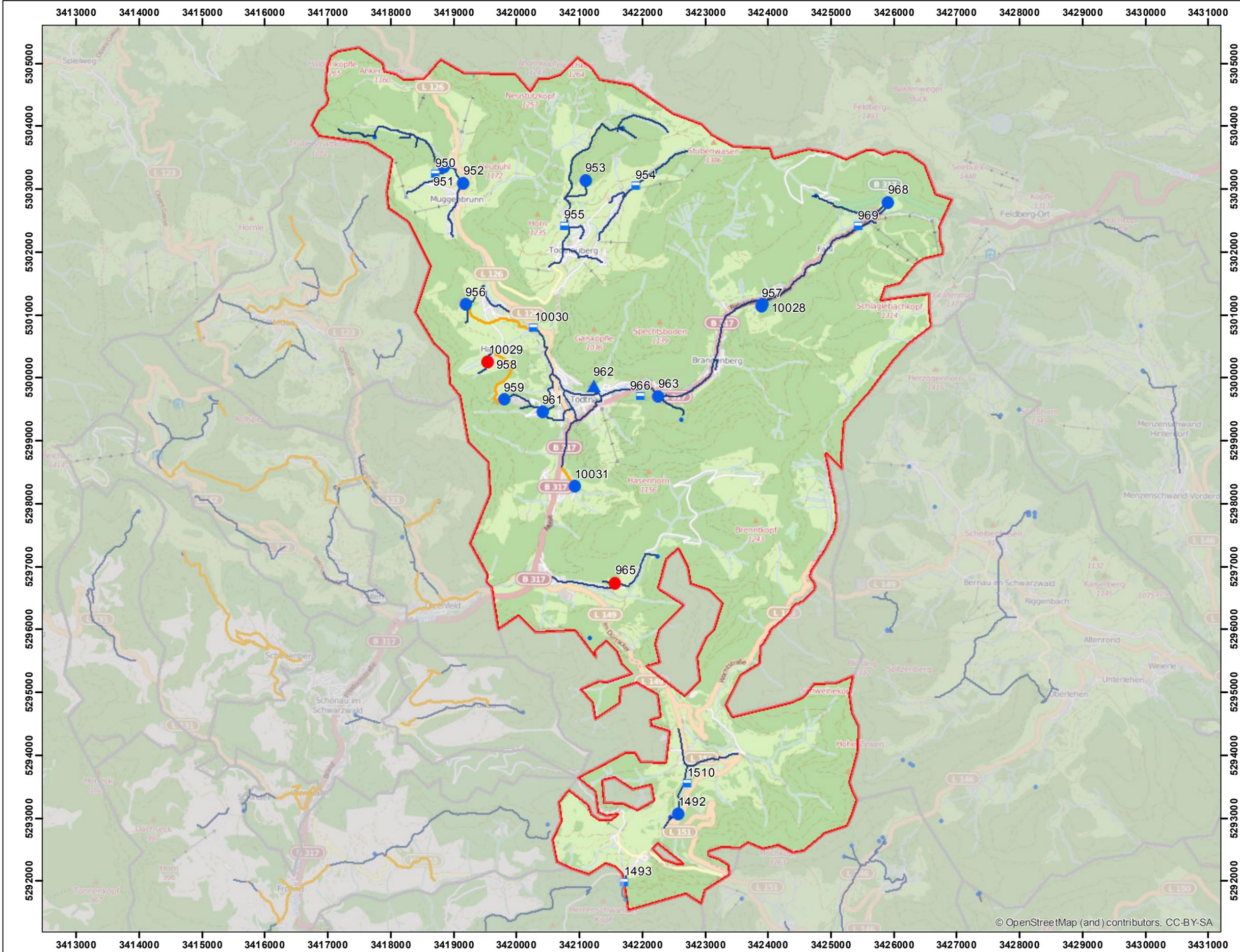


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



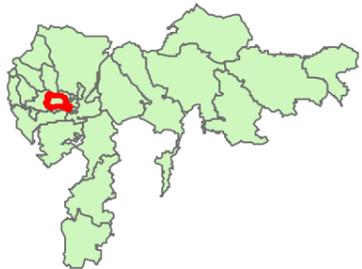
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 17

## Tunau

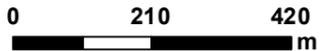
### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

-  Behälter, Bestand (1)
-  Pumpwerk, Bestand (1)
-  Wasserwerk, Bestand (1)
-  Leitung, neu erfasst
-  Leitung
-  Entnahmestellen
-  Gemeindegrenze

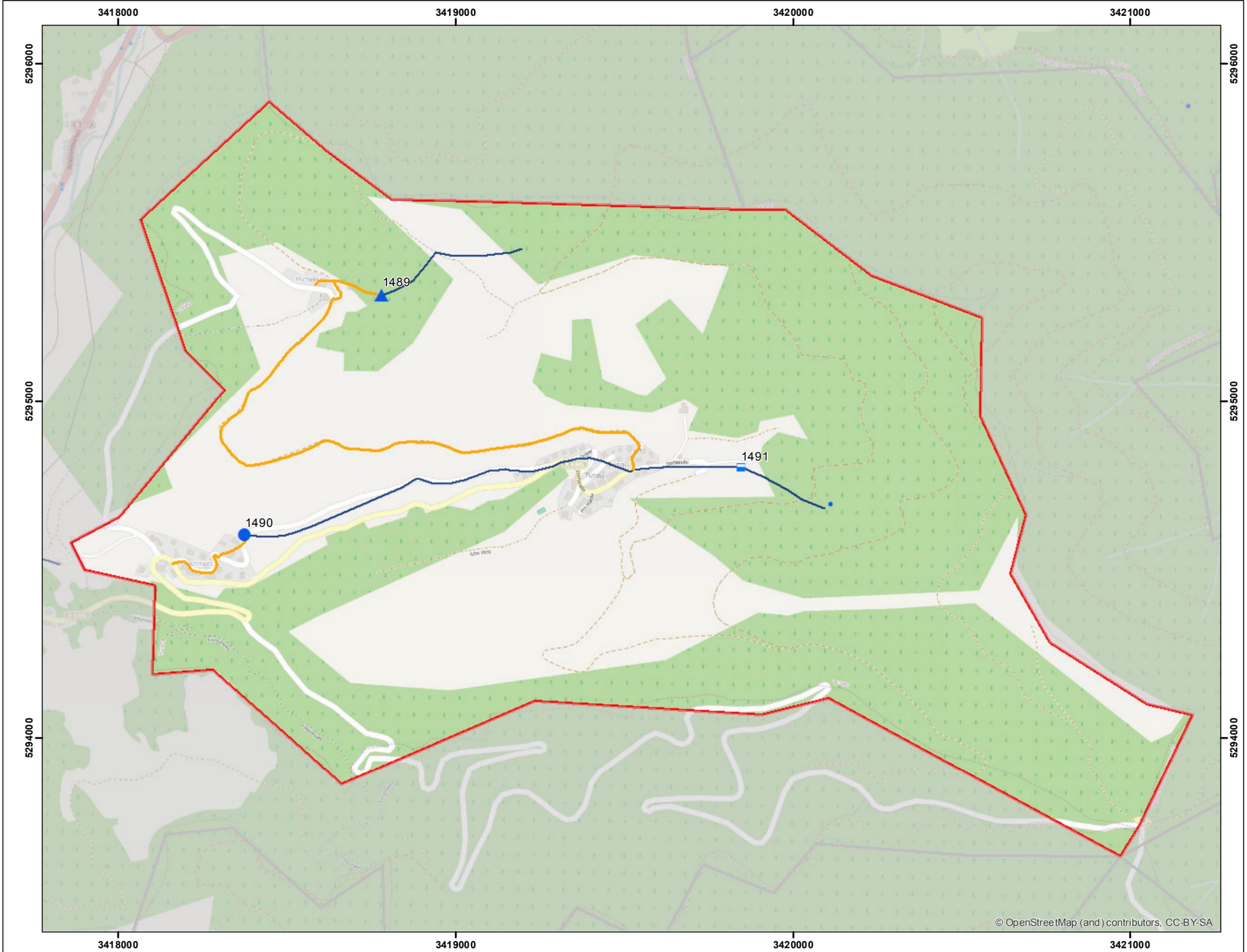


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de



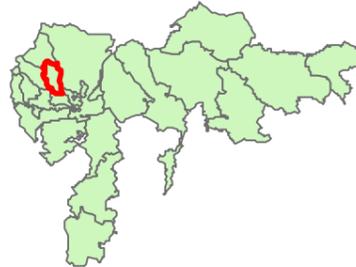
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Anhang 3 - 18

## Utzenfeld

### KLIMOPASS - Vulnerabilitätsanalyse WW südlicher Schwarzwald

#### Übersicht Projektgebiet



#### Legende

- Behälter, Bestand (1)
- Wasserwerk, a. B. (1)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze



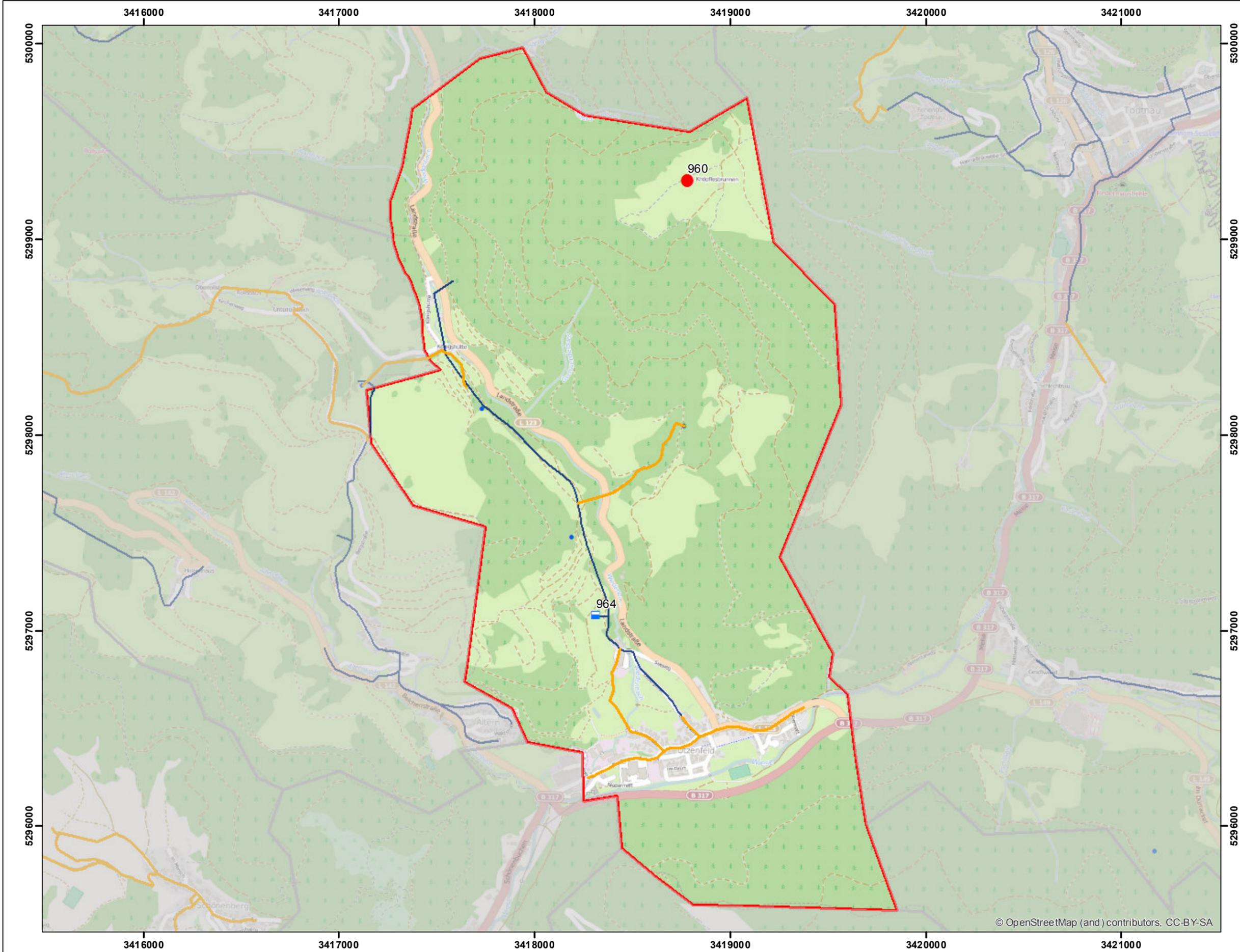
0 360 720 m

Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de

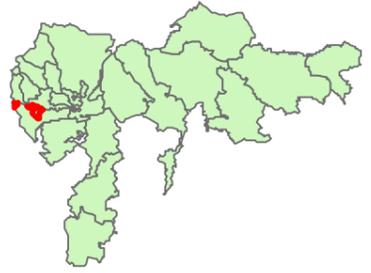


© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

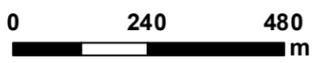
Wembach

KLIMOPASS -  
Vulnerabilitätsanalyse WW  
südlicher Schwarzwald

Übersicht Projektgebiet



- Legende**
- Leitung, neu erfasst
  - Leitung
  - Entnahmestellen
  - Gemeindegrenze

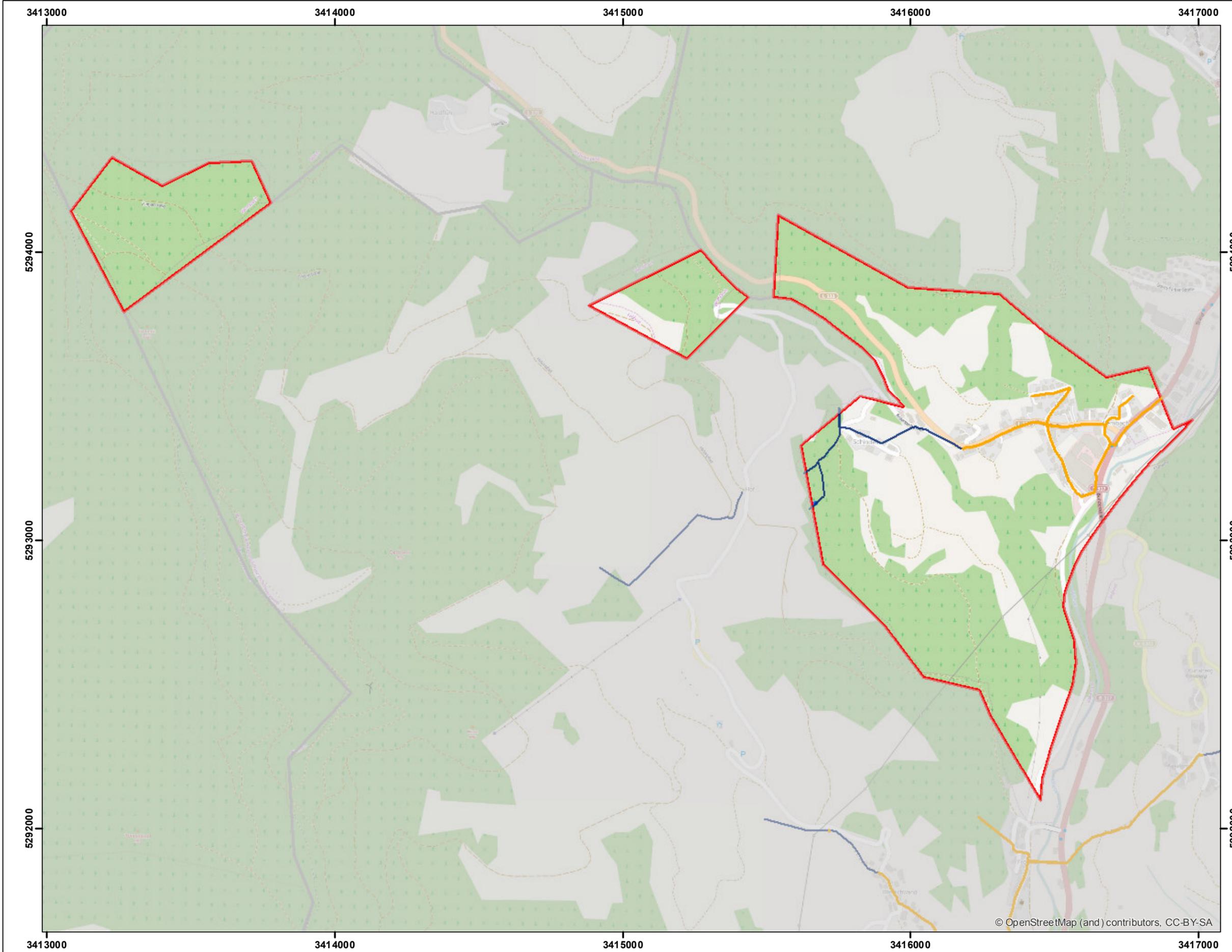


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prj\_Gem



Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de

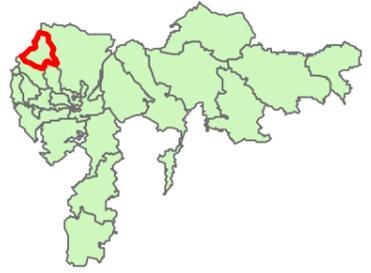


© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Wieden

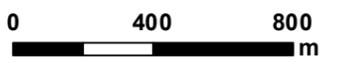
KLIMOPASS -  
Vulnerabilitätsanalyse WW  
südlicher Schwarzwald

Übersicht Projektgebiet



Legende

- Behälter, Bestand (5)
- Wasserwerk, Bestand (1)
- Leitung, neu erfasst
- Leitung
- Entnahmestellen
- Gemeindegrenze

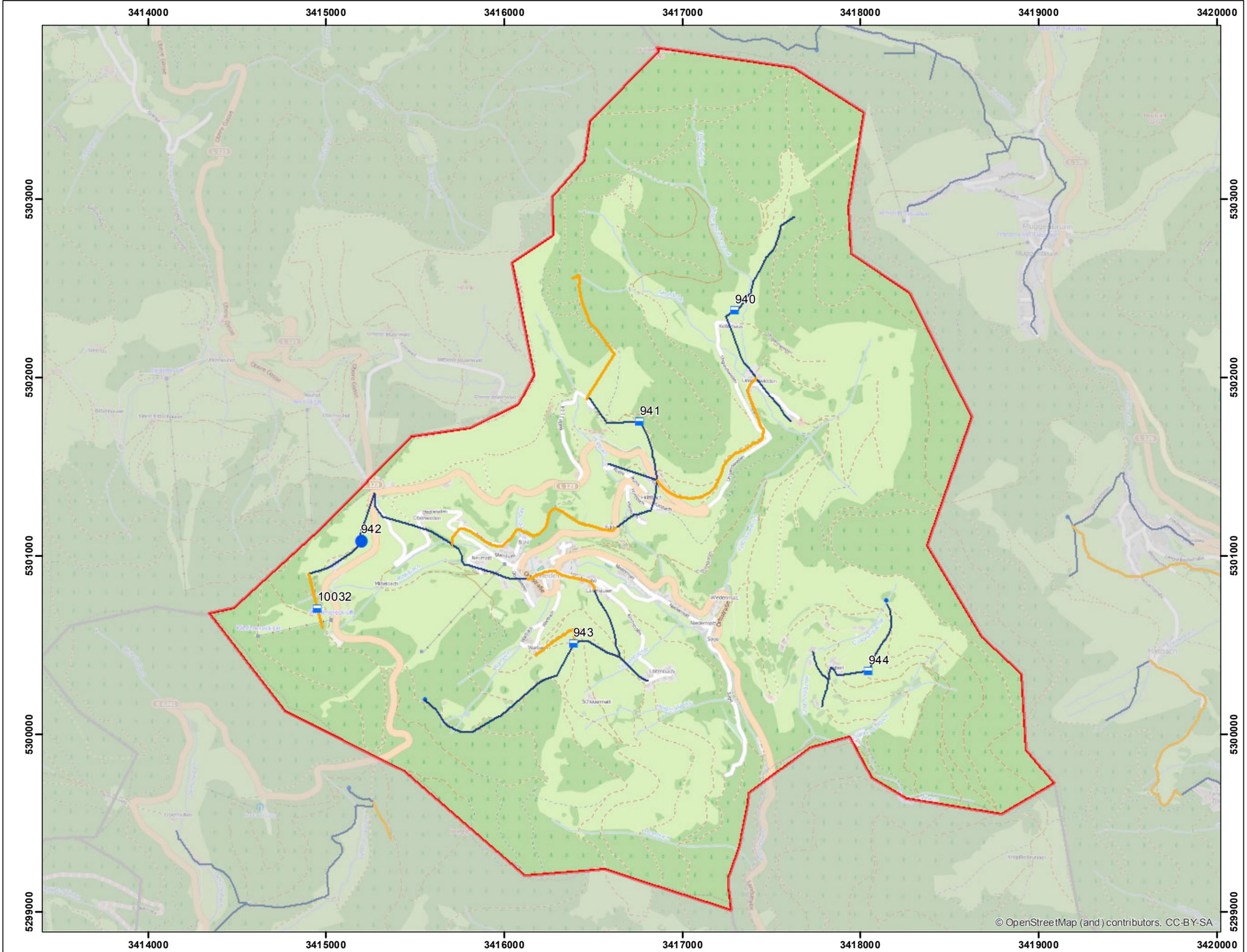


Karte: Wasserversorgungsstrukturen  
Projektgemeinden aus VG 250  
GeoBasis-DE / BKG 2012  
Hintergrund: OpenStreetMap  
Projektion: Gauss Kruger  
DHDN 3 Degree Gauss Zone 3

Bearbeiter: F. Brauer, T. Fischer  
Datum: 16.01.2015  
Datei: Klimopass\_Prij\_Gem



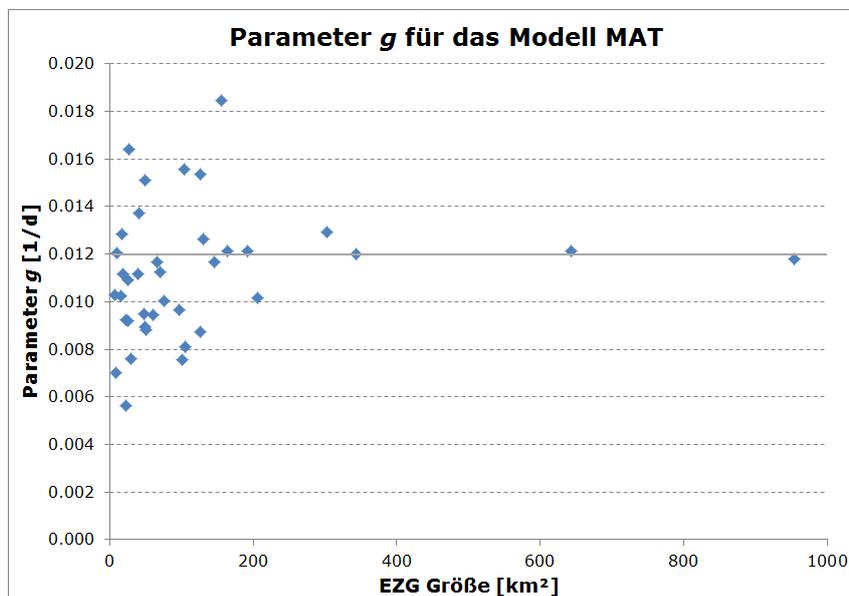
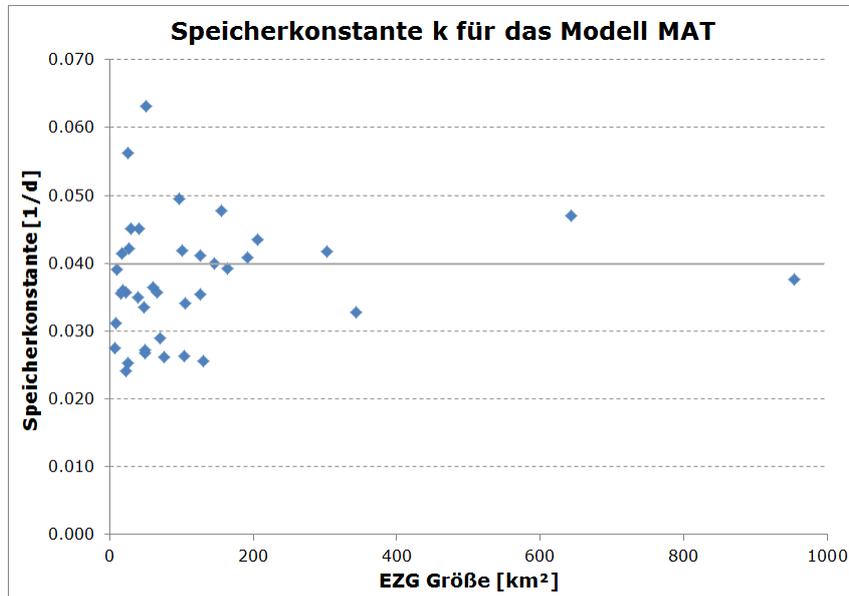
Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe, Germany  
Tel. +49 (0)721 9678-0, info@tzw.de, www.tzw.de

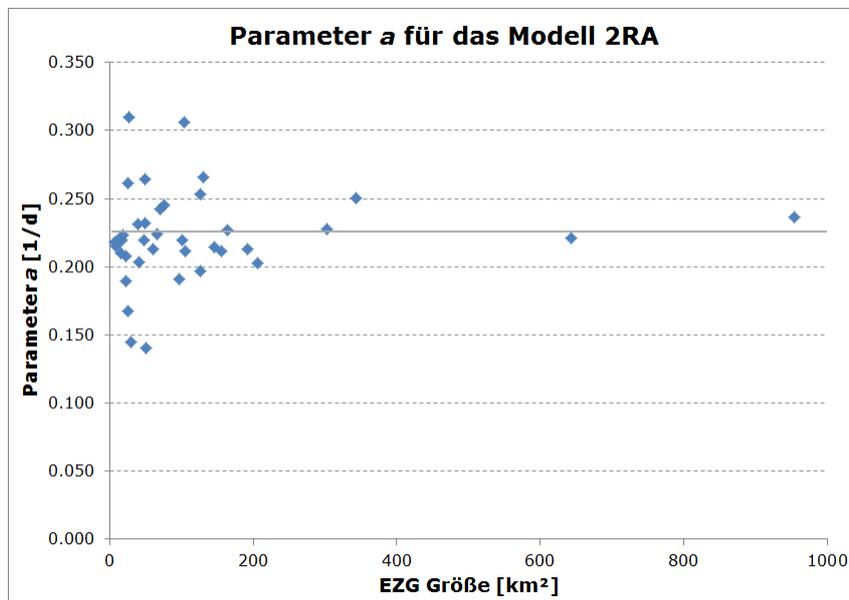
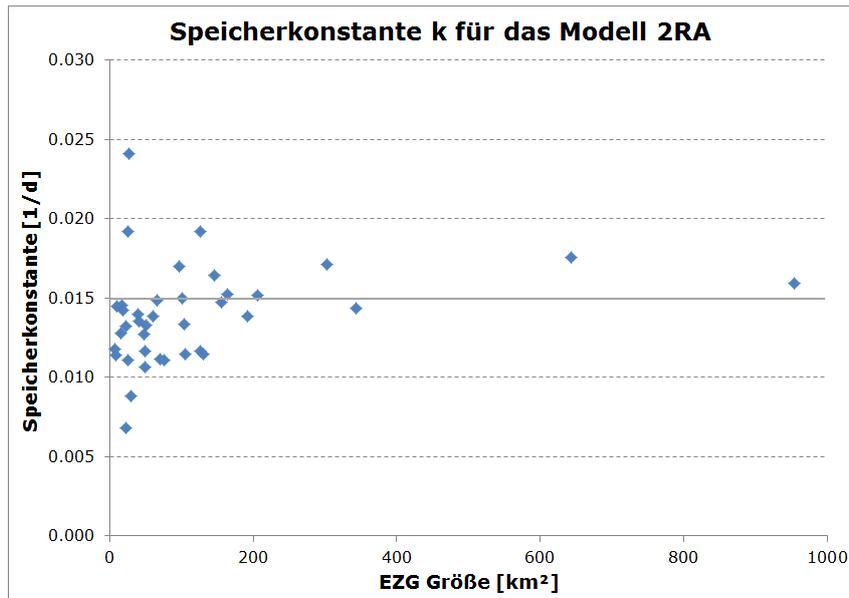


© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

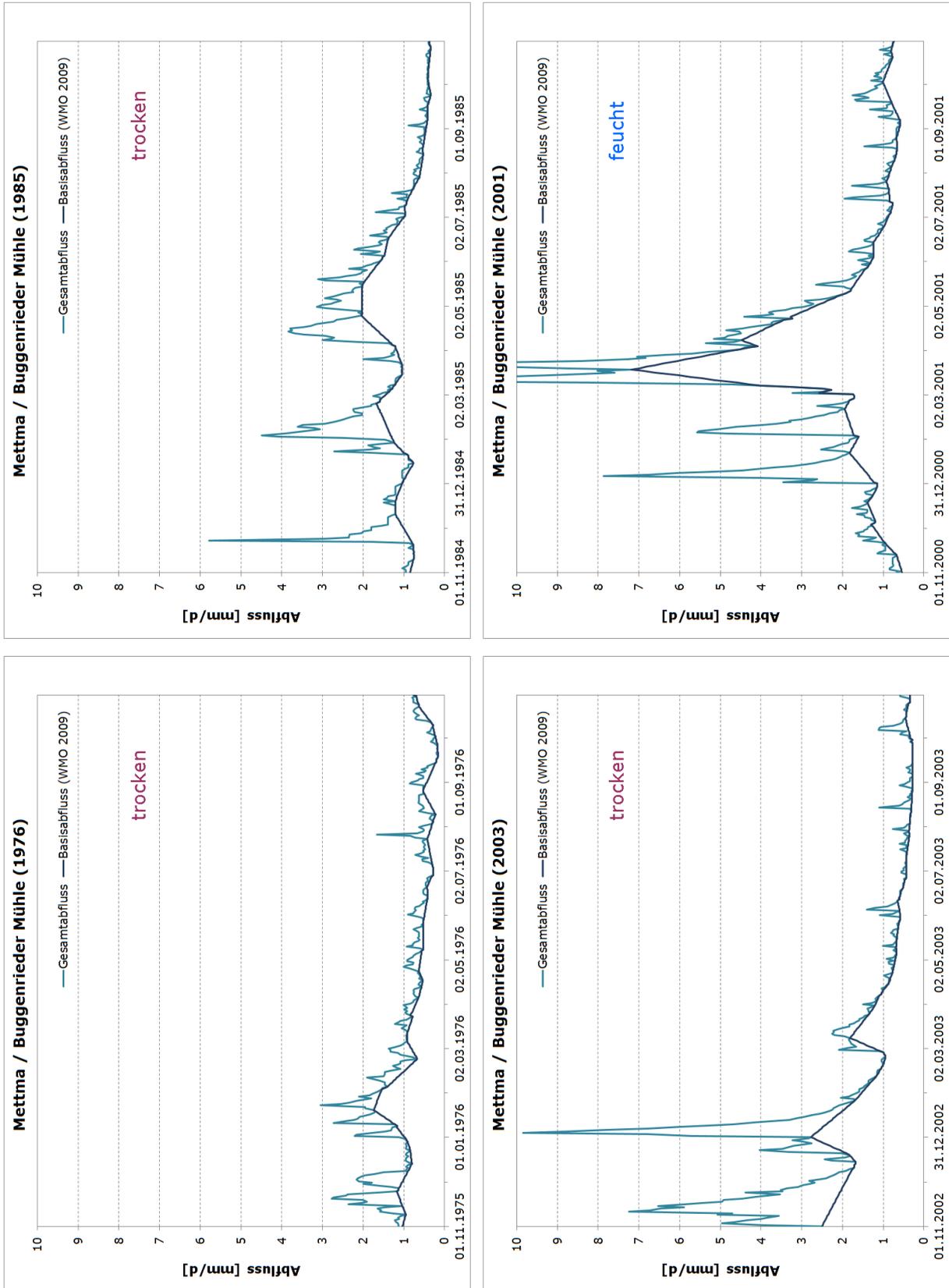


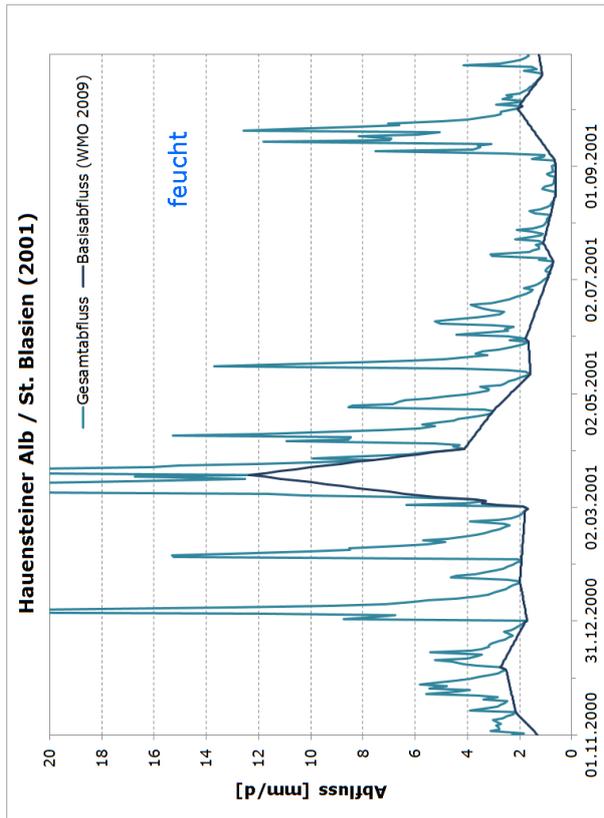
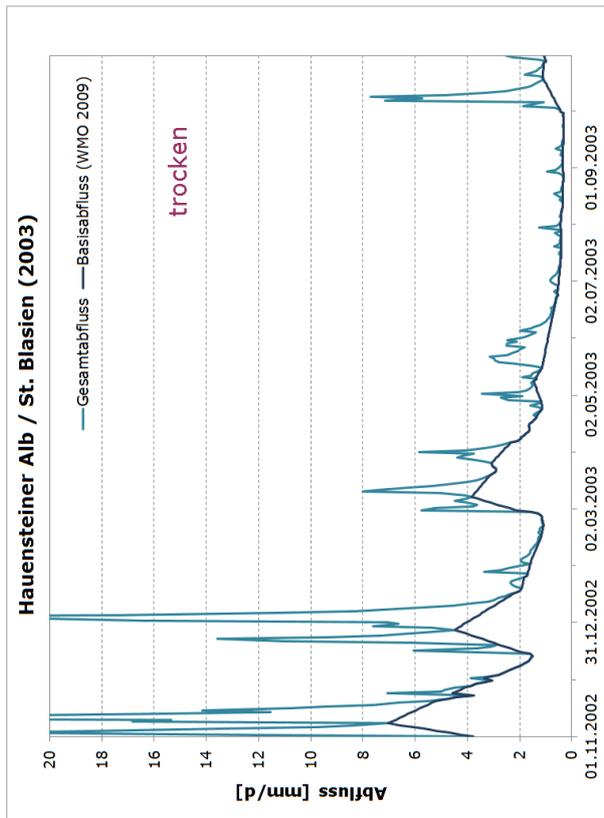
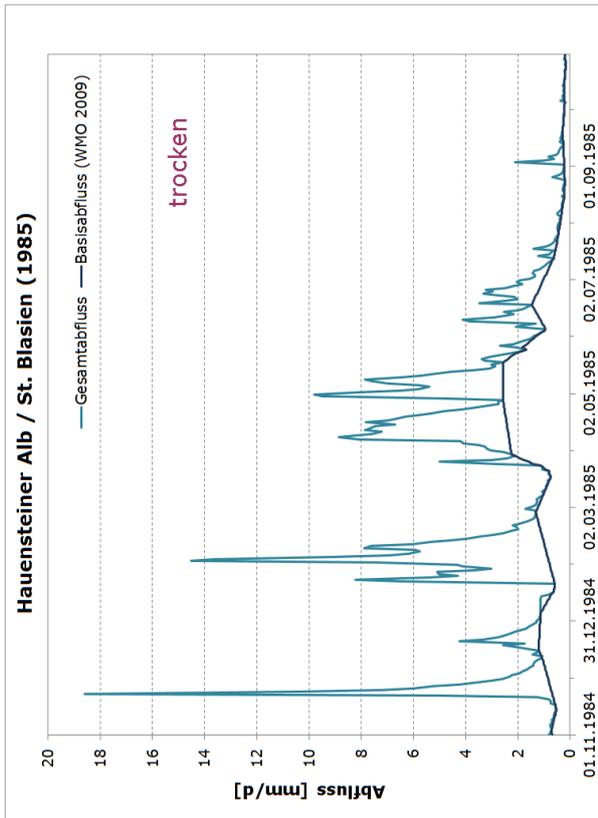
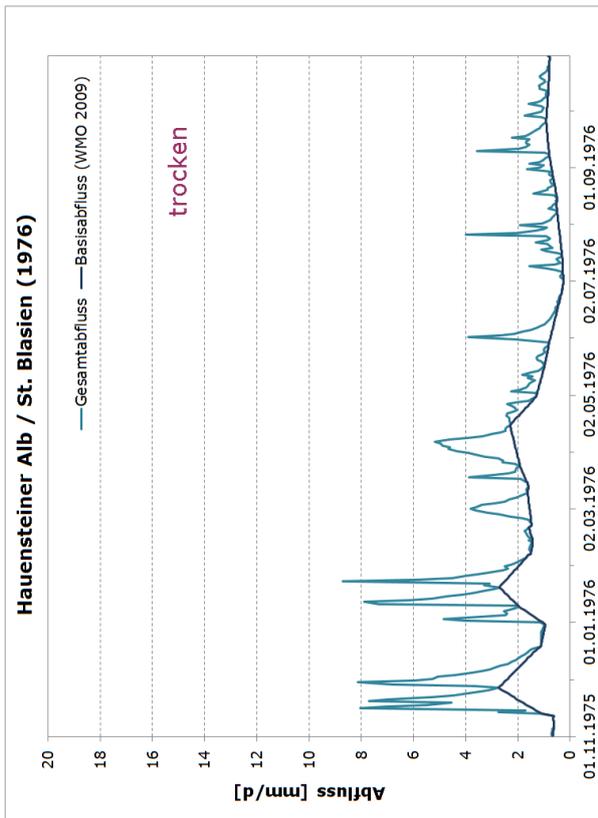
Anhang 4: Zusammenhang zwischen Gebietsgröße und Spannweite der Modellparameter

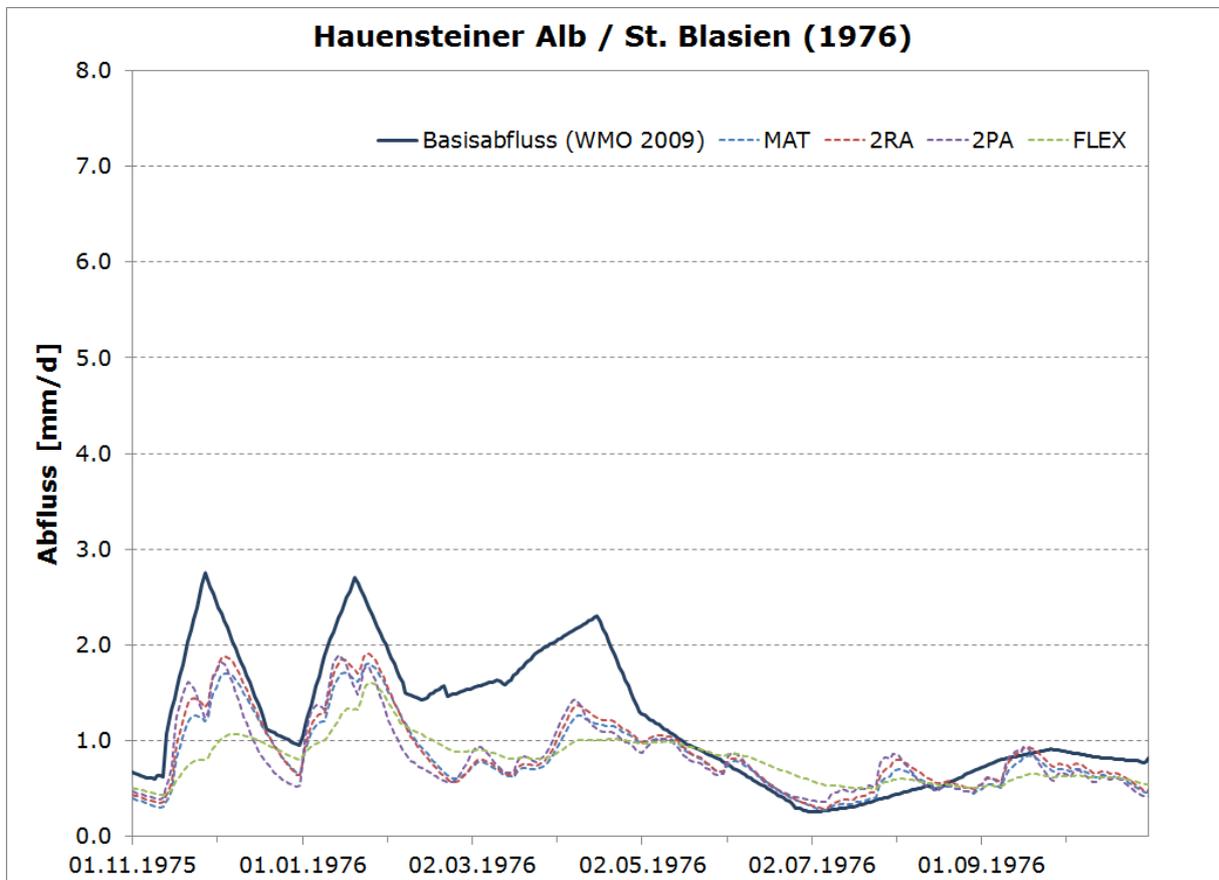
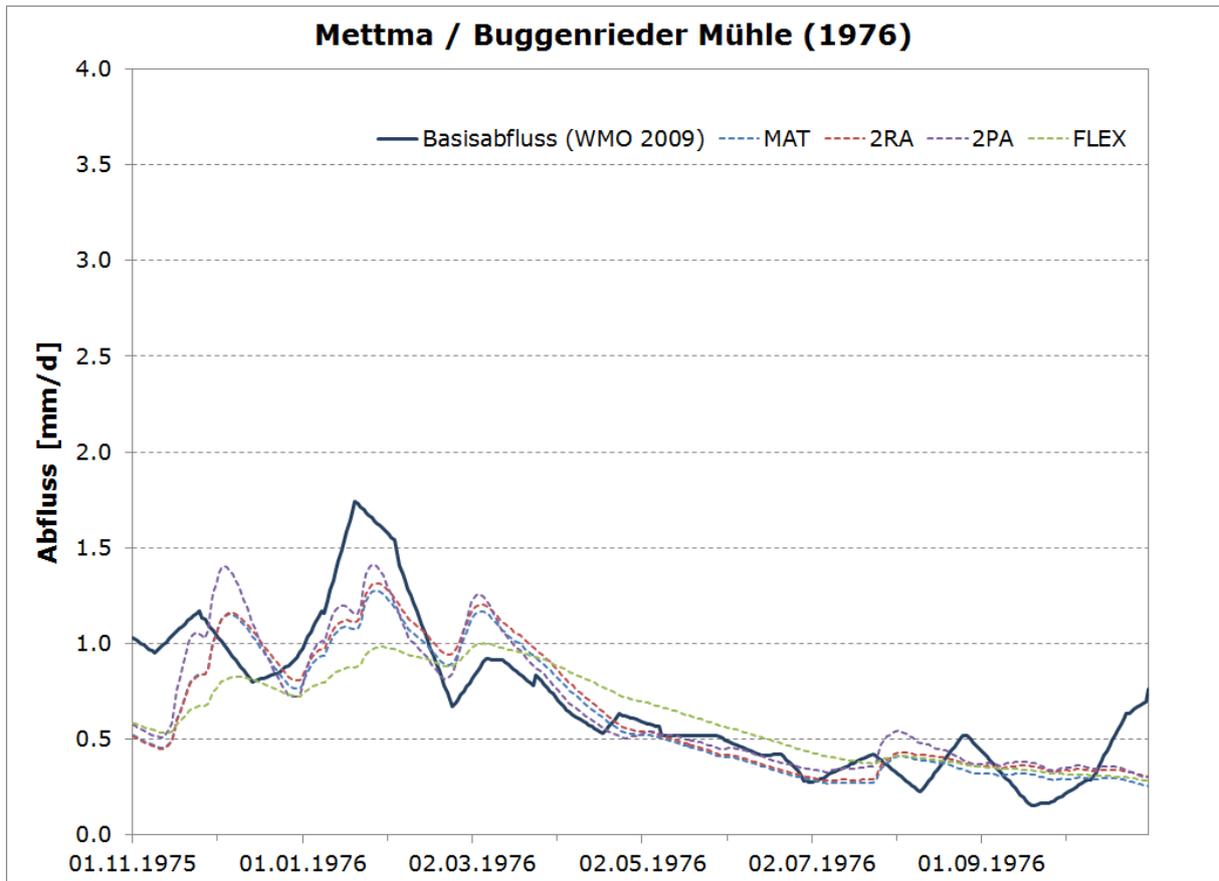


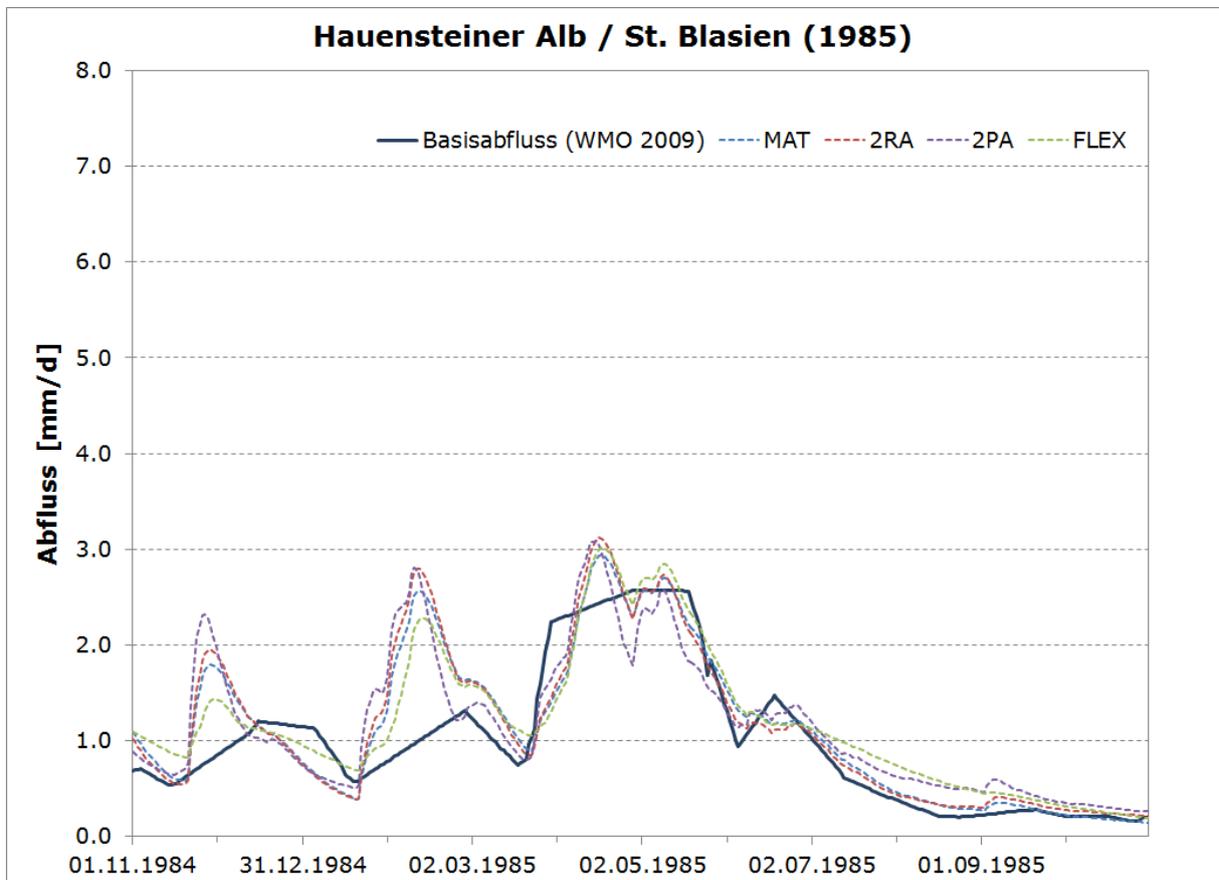
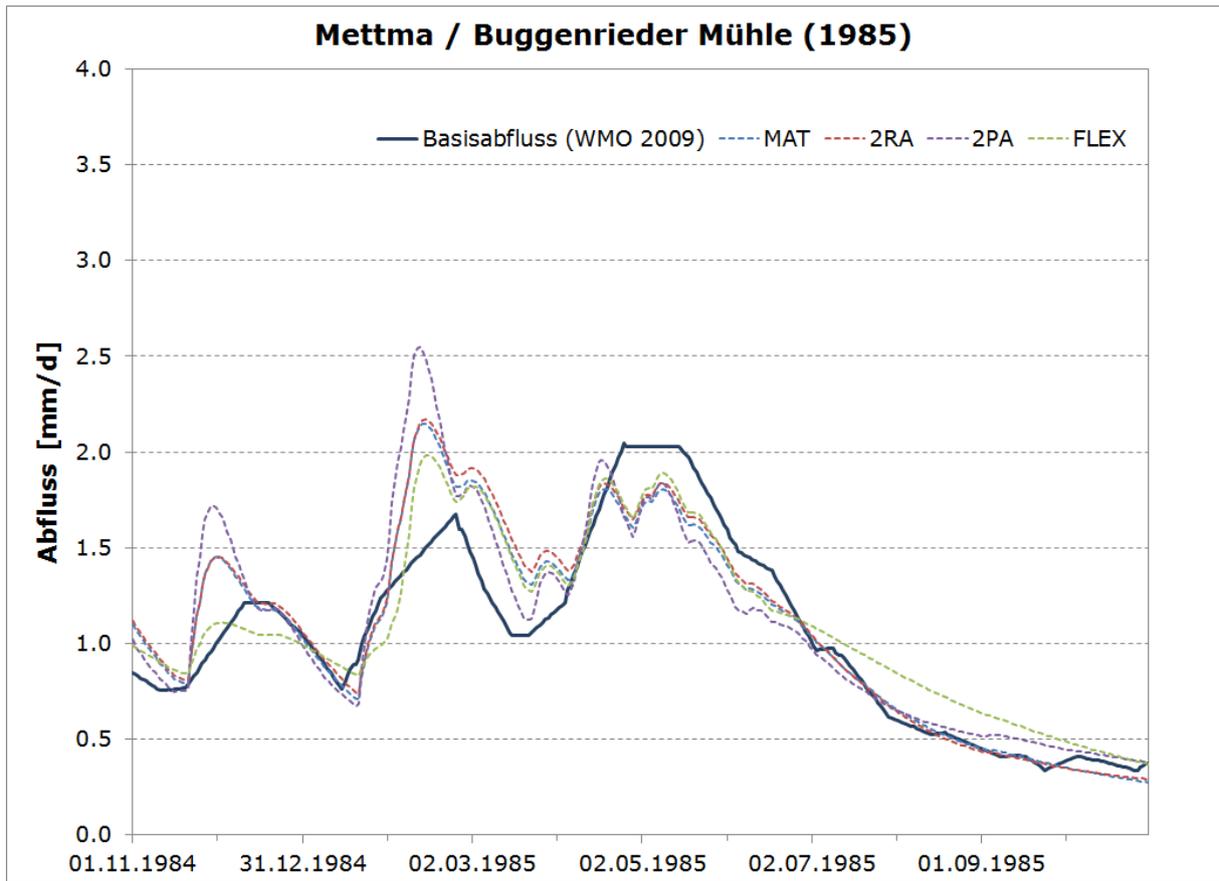


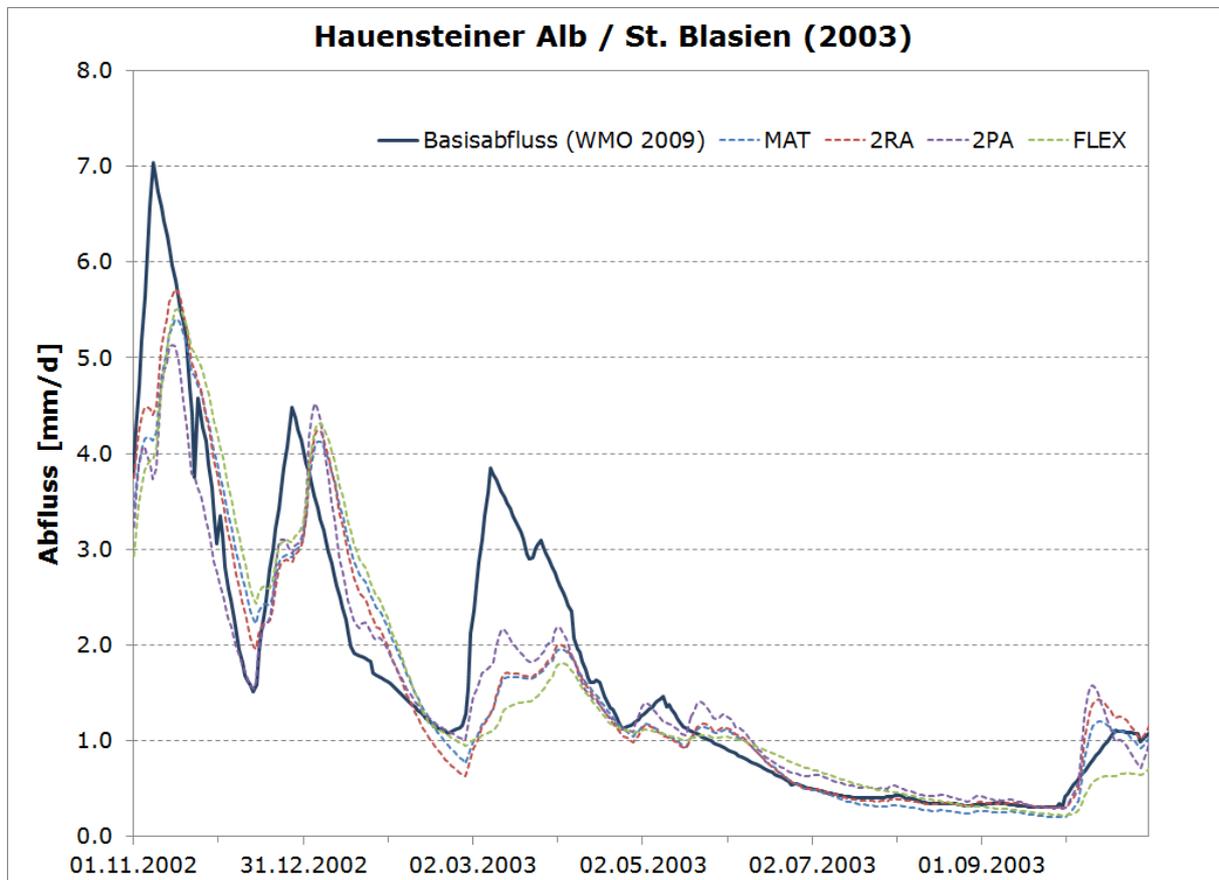
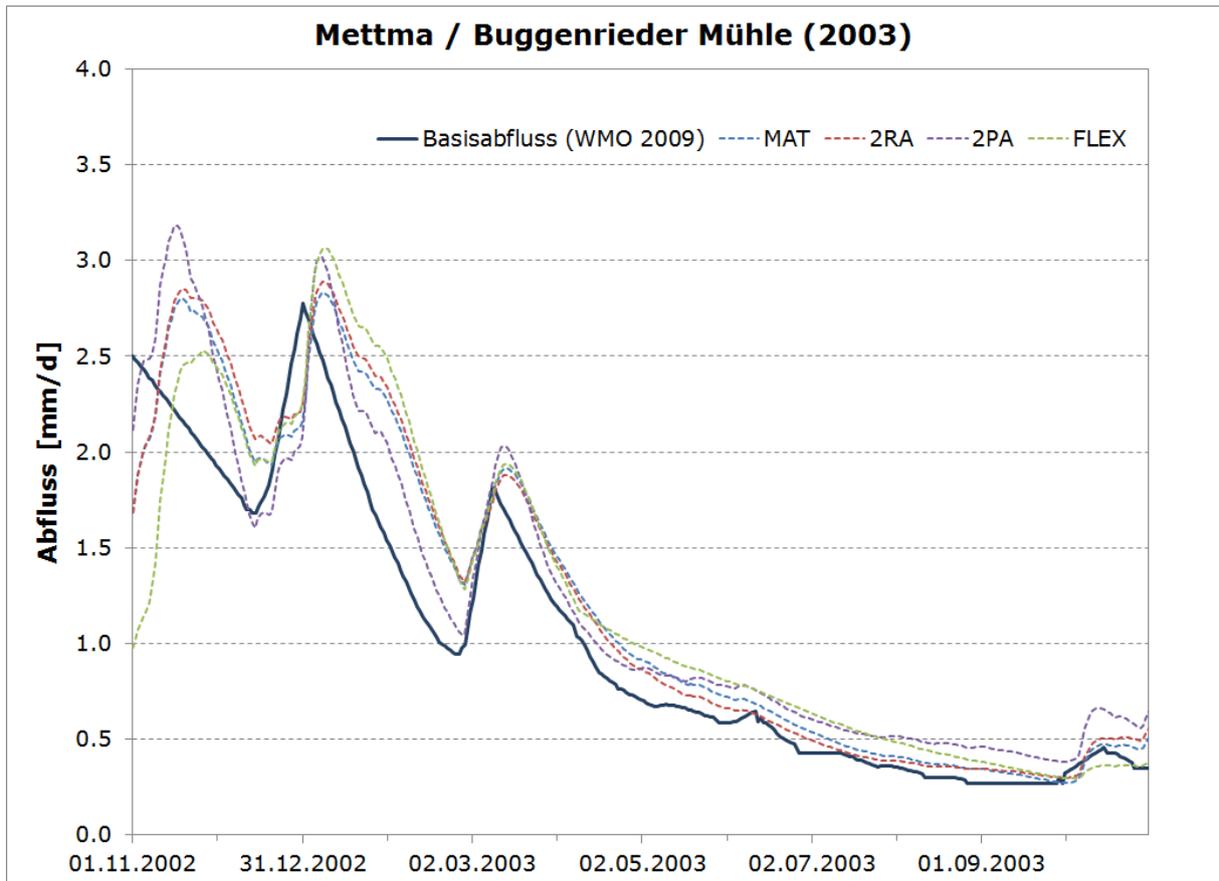
Anhang 5: (1) Gesamtabfluss und Basisabfluss und (2) nach WMO 2009 separierter und mit den aufgestellten Modellen simulierter Basisabfluss am Beispiel ausgewählter Pegelinzugsgebiete für Jahre mit deutlich oder wenig ausgeprägter Niedrigwassersituation



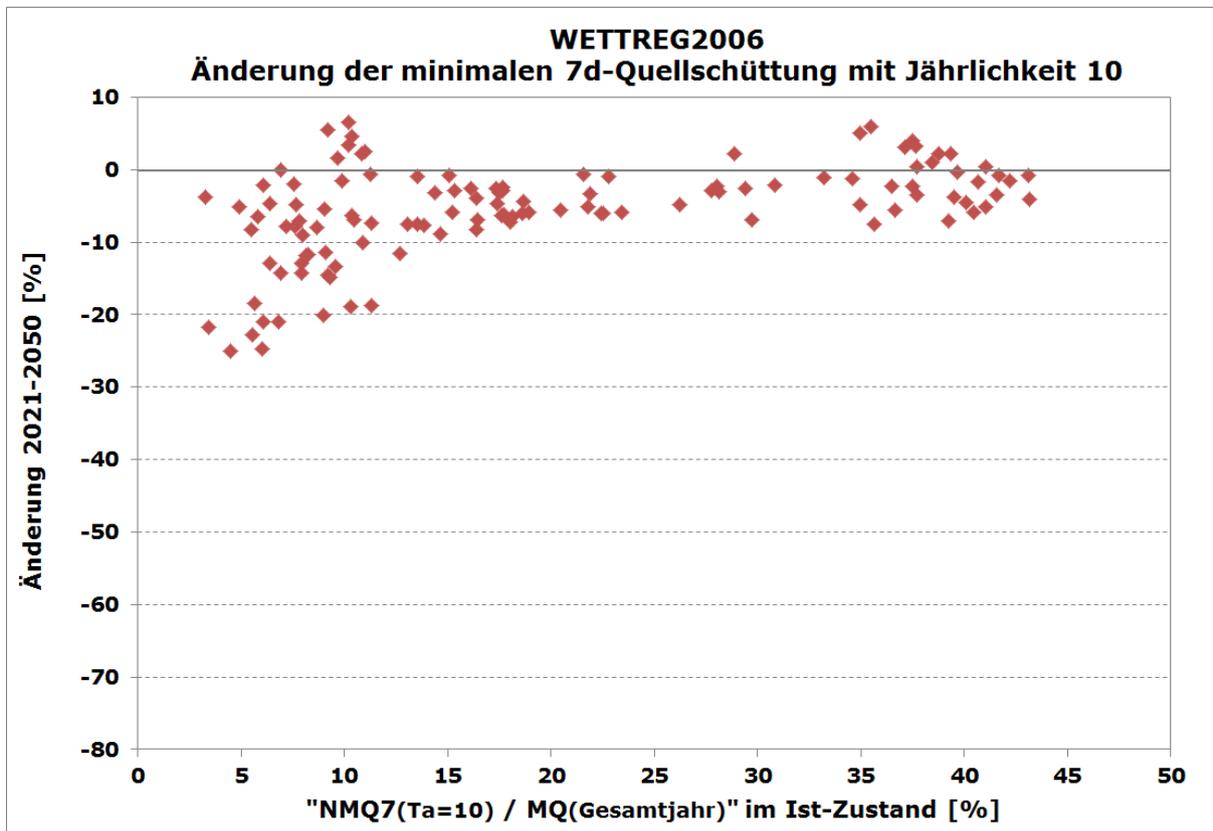
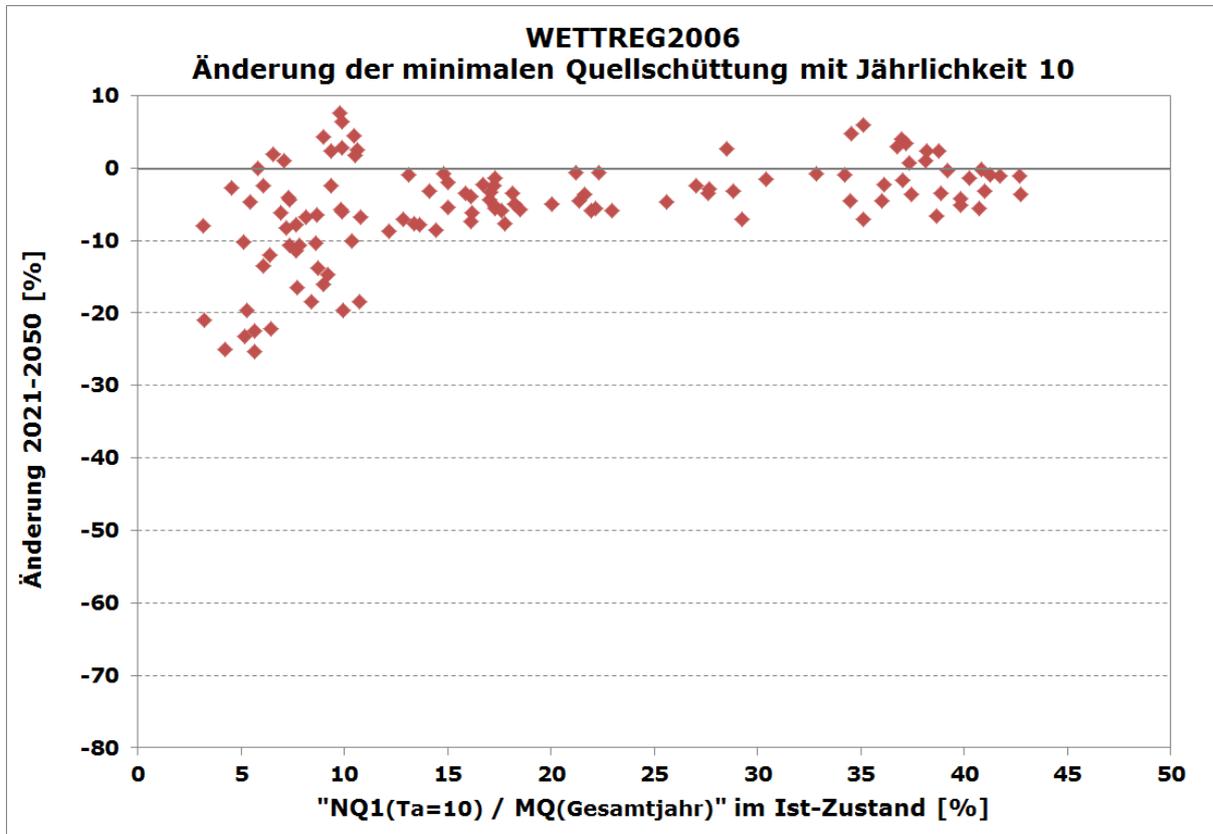


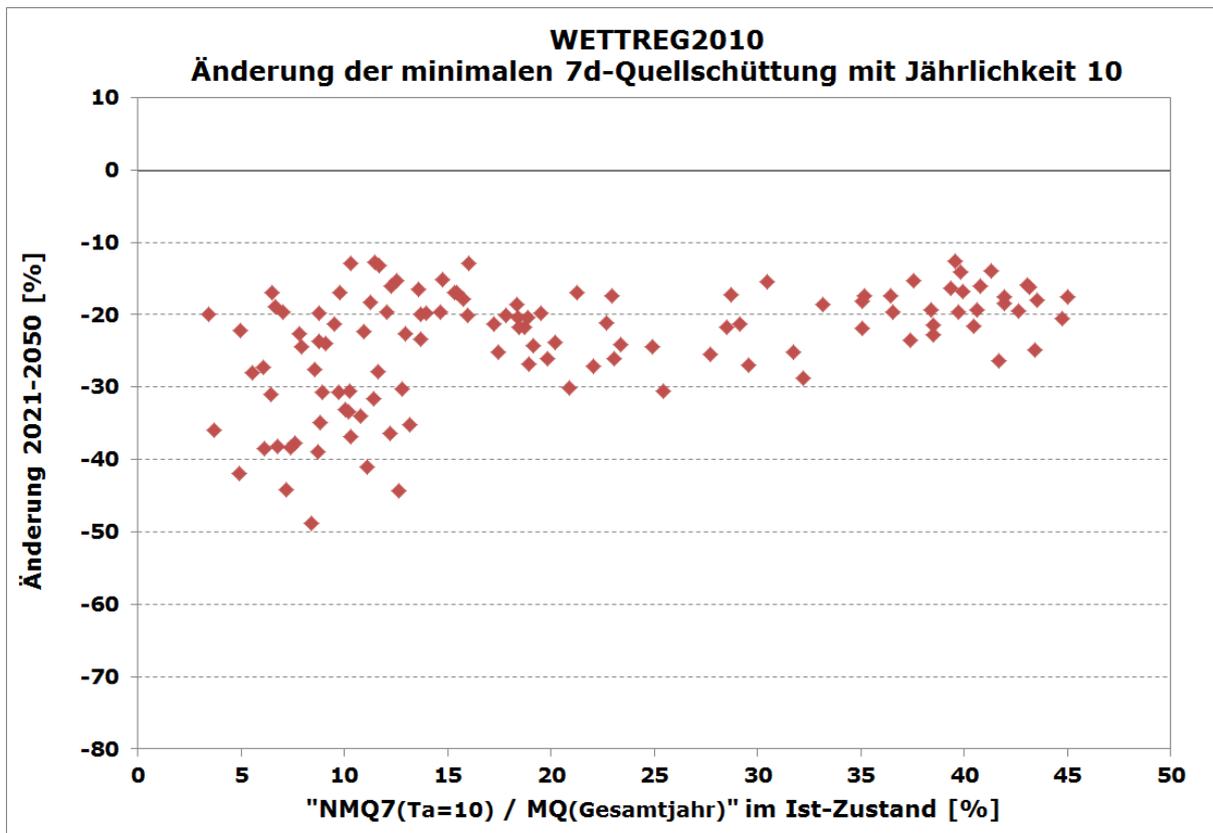
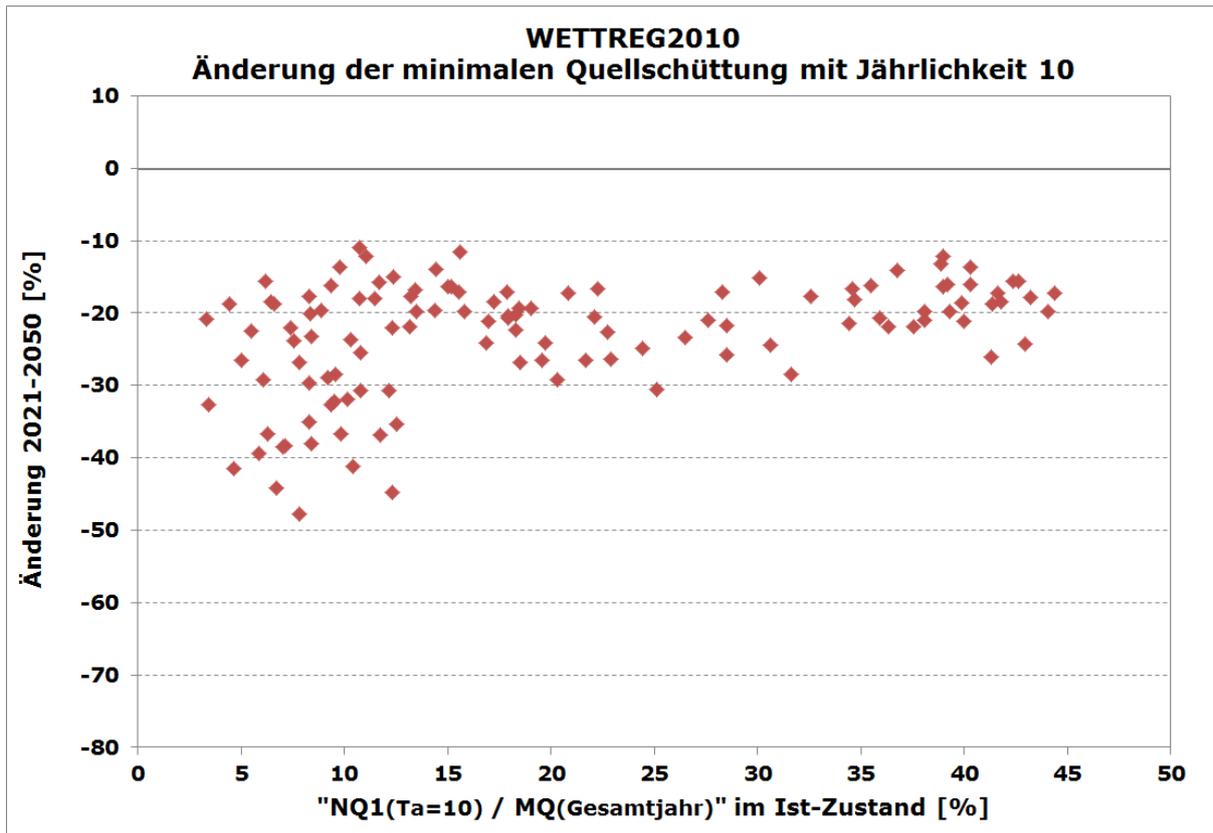


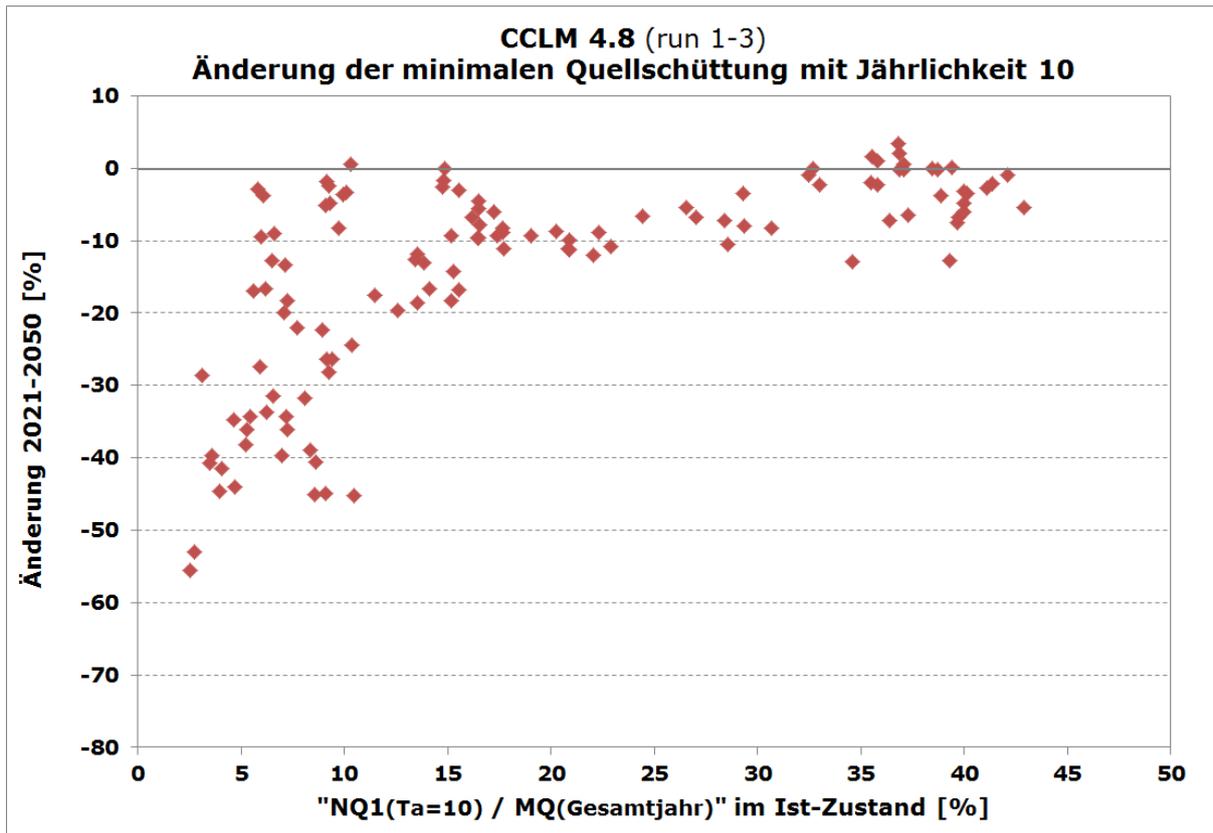


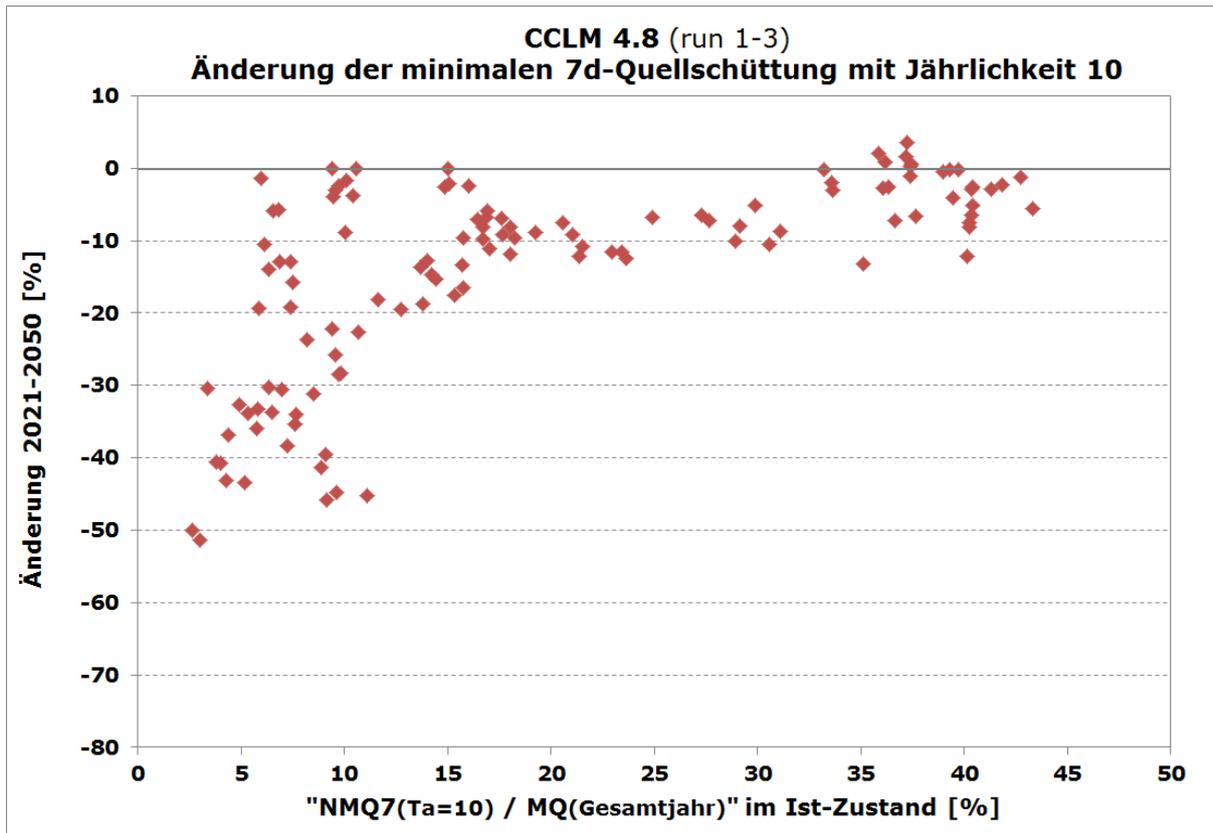


Anhang 6: Änderungen der Minimalen Quellschüttung (Tages- und Wochenwert) mit Jährlichkeit 10 für verschiedene Klimaprognosen









**Gemeinde Aitern**

WVU  
 Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald  
 Techn. Leiter Hr. Steinebrunner 07673 820450  
 Verbund keiner  
 Versorgte EW 562  
 Hausanschl. 160  
 Übernachtungen 1/Tag 118  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a -  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 21683  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 142  
 Vers.zonen mit Eigengew. 3

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Multen	HB Multen	945	130	1119	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q. Bildstöckle, Lückle und Steinbächle (beiden letzten nicht in shape)
ON Holzinshaus	HB Holzinshaus	947	100	831	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q. Eisenbläue (nicht in shape)
ON Aitern	HB Aitern	948	140	730	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q. Stollen
ON Rollsbach	HB Rollsbach		120	942	Einspeisung aus HB Multen	

**WVU** **Gemeinde Bernau im Schw., Eigenbetrieb WV**  
 79872 Bernau im Schw.  
 Innerlehen, Rathausstr. 18  
**WM** Hr. Strittmatter 01754641925 bauhof@bernau-schwarzwald.de

Verbund keiner  
 Versorgte EW 1930  
 Hausanschl. 700  
 Übernachtungen 1/Tag 363 (hpts. Winter)  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a 9000  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 97000  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 600 (im Winter, Ski-Saison)  
 Vers.zonen mit Eigengew. 2 int. Verbundleitung vorh.

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
Bernau-Dorf	HB Dorf	970	300	980,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 18 m <sup>3</sup> /h, 80000 m <sup>3</sup> /h, Verbindungsleitung zum HB Oberlehen	1. Qu. Rappenstock 4-8, Qmin 0,6 L/s, Qmittel ca. 5 L/s 2. Br. Gatterplätz, 4 L/s (17 m tief)
Bernau-Oberlehen	HB Oberlehen	1511	300	980,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 18 m <sup>3</sup> /a, 50000 m <sup>3</sup> /h	Qu. Neuwirt 1-3, Qmin 3 L/s, Qmittel ca. 11 L/s

Die minimale Quellwassermenge von rd. 310 m<sup>3</sup>/d hat bislang sicher ausgereicht  
 Betrieb des Brunnens war lediglich selten erforderlich, meist im Winter mit vielen Feriengästen und gleichzeitig Rohrbruch  
 (Rohrbruch kann bei Schnee nicht gefunden/behoben werden)

**Kein Defizit zu erwarten. Quellwasser reichte bislang gut und 2 tes Standbein durch Brunnen in ergiebigem Gebiet gegeben:**

**Gemeinde Böllen**

WVU Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald  
 Techn. Leiter Hr. Steinebrunner 07673 820450  
 Verbund keiner  
 Versorgte EW 93  
 Hausanschl. 31  
 Übernachtungen 1/Tag 2  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a -  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 3013  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 23  
 Vers.zonen mit Eigengew. 1

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Böllen	HB Oberböllen		140	804	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q Kürze

**WVU** **Gemeinde Bonndorf**  
**BM** Michael Scharf 07703/9380-0 [buergerservice@bonndorf.de](mailto:buergerservice@bonndorf.de)  
 Martinstraße 8 79848 Bonndorf im Schwarzwald  
**WM** Hr. Dold (GWV) 076541754  
 Verbund Verbund im GWV Hochschwarzwald  
 Versorgte EW 6749  
 Hausanschl. -  
 Übernachtungen 1/Tag 300  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a -  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 35000 (ca. 200000 von GWV)  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d -  
 Vers.zonen mit Eigengew. 5

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Glashütte/Sommerau	HB Glashütte		1020	1003,0	TWA: Aquadosil/CaCO <sub>3</sub> /UV, 126000 m <sup>3</sup> /a, 54 m <sup>3</sup> /h	Q. Langacker, Bizenbrunnen und höhere Q. Glashütte
	PW Glashütte		3	973,0	Förd. Rohw. Glashütte in HB Glashütte, bei Bed. Im freien Gef. In HB Wacht	Q. Sommerau, Kesselbr, Kesselbach, Glaserbach
	PW Sommerau		-	-	PW ist a.B. lediglich Armaturenschacht der ua ON Sommerau aus HB Balzhausen versorgt	
ON Holzschlag NZ,	HB/PW Stollenbuck	1266	104	870,8	TWA: CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> b.B., 30000 m <sup>3</sup> /a, 4 m <sup>3</sup> /h, Überschuß mit PW in HB Glashütte	Q. Stollenbuck
ON Gündelwang-Hinterd.	HB Glaserbuck	1267	100	858,6	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 13300 m <sup>3</sup> /a, 3 m <sup>3</sup> /h	Q. Mühlebächle, Glaserbuck
ON Ebnet	HB Hühnermoos	1270	100	936,6	befüllt aus HB Balzhausen (GWV)	
ON Steinar Säge	Großer Wald	1271	35	801,9	befüllt aus HB Balzhausen (GWV)	
ON Dillendorf	HB Bächle	1276	189	738,1	befüllt aus HB Lindenbuck	
ON Wellerdingen	HB Hardt	2027	150	818,3	befüllt aus HB Lindenbuck	
ON Wittlighofen	HB Zelgle	3372	140	800,3	befüllt aus HB Hardt	
ON Bonndorf	HB Lindenbuck	4432	1013	893,6	befüllt aus a) HB Wacht und b) HB Balzhausen (GWV)	
ON Bonndorf, Boll	HB Wacht	4433	1011	893	TWA: Aquadosil/CaCO <sub>3</sub> /UV, 233000 m <sup>3</sup> /a, 54 m <sup>3</sup> /h	tiefere Q. Glashütte
ON Gundelwan-Vorderd.	HB Vogtsberg	4436	103	859,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 13300 m <sup>3</sup> /a, 3 m <sup>3</sup> /h	Q. Scharmützelbr.

**Gefahr für Defizit gering**

2 tes Standbein durch Verbund im GWV und ergiebige Brunnen WW Schlossberg:

**Gemeinde Fröhnd**

WVU Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald  
 Techn. Leiter Hr. Steinebrunner 07673 820450  
 Verbund keiner  
 Versorgte EW 483  
 Hausanschl. 139  
 Übernachtungen 1/Tag 63  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 22537  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 150  
 Vers.zonen mit Eigengew. 6

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Böllen	HB Oberböllen		140	804	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q Kürze
ON Hof	HB Hof	1472	120	713	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q. Hof 1-4 (nicht in shape)
ON Holz	HB Holz	1473	200	824	CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h, Überschuß in HB Stutz-neu	Q. Hagematt (Lachen)
ON Stutz	HB Stutz-neu		30	736	CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h, Überschuß in HB Künaberg	Q. Ahornen
ON Künaberg	HB Künaberg		5	668	Überschuß in HB Schubsacker	
	HB Schubsacker		50	564	Überschuß aus "links der Wiese" = HB Künaberg	
ON Unterkastel	HB Ittenschwand		150	653	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q. Gersbrunnen (nicht in shape)
ON Kastel	HB Oberhepschingen	1475	150	690	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q. Rotzmatten

**Defizite im Bereich östlich der Wiese**

**WVU** **Gemeinde Grafenhausen**  
 Rathausplatz 1 79865 Grafenhaus [rathaus@grafenhausen.de](mailto:rathaus@grafenhausen.de)  
**BM** Christian Behringer 07748/520-0  
**WM**

Verbund Verbund im GWV Hochschwarzwald  
 Versorgte EW 2189  
 Hausanschl. ?  
 Übernachtungen 1/Tag 242  
 Großverbr. m³/a 0  
 Wassermenge abger. m³/a 135000 (ca. 15000 von GWV)  
 Tagesspitze ist: m³/d ?  
 Vers.zonen mit Eigengew. 3

Versorgungszonen	Objekt-ID	Behälter	Vol, m³	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Balzhausen	1268	HB Balzhausen	1750	1054,1	kann aus HB Fischb. Höhe befüllt werden	
	3350	SB/PW In den Weiden	100	?	TWA: CaCO3/Cl2, 15000 m³/a, 9 m³/h Förd. in HB Staufen-Im Brühl	Q. Weiden, (Berg Q. ist a.B.)
ON Bulgenbach	3349	HB Staufen-Im Brühl	110	950,7		
ON Staufen	1018	HB Bergbrunnen	?	?	befüllt über PW in HB Staufen-Im Brühl	
ON Brünlisbach		TWA Brandiseck	?	870,0	TWA: CaCO3/Cl2 b.B., 49000 m³/a, 8 m³/h, Förd. Überschuß in HB Balzhausen	Q. Brandiseck
ON Bohlisch u. Oberdorf	3359	HB Grafenhausen-Bohlisch	95	946,4	TWA: CaCO3/Cl2 b.B., 29000 m³/a, 12 m³/h, Zusp. aus HB Balzhausen möglich	Q Groß Moos u. Schafbr. (Förd. In HB)
ON Signau	3360				Q. speisen ohne Aufbereitung in ON (wenige Häuser)	Q. Signau
ON Rippoldried/Rötenberg		HB/PW Geroldshofstetten	60	?	TWA: CaCO3/Cl2 b.B., 37000 m³/a, 10 m³/h	Q. Geroldshof-stetten u. Hölzlequ.
	3362	SB/PW Hölzlequelle	24	890,0	fördert Quellrohwater Hölzle in HB/PW Geroldshofstetten und im fr. Gefälle in HB Bannholz der Gem Ühl. Birkend. (2 L/s)	
ON Mettenberg, Buggenried	3363	HB Mettenberg-Kehrhalde	?	?	befüllt über PW in HB Geroldshofstetten	

**Gefahr für Defizit gering**

2 tes Standbein durch Verbund im GWV und ergiebige Brunnen WW Schlossberg:

**WVU** **Gemeinde Hög-Ehrsberg**  
 79685 Hög-Ehrsberg  
 Rathausstr. 27  
 Techn. Verantwortlicher Hr. Schmidt 07625 9186781 [schmidt@haeg-ehrsberg.de](mailto:schmidt@haeg-ehrsberg.de)  
 Verbund keiner  
 Versorgte EW 850  
 Hausanschl. ?  
 Übernachtungen 1/Tag 500  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a 2000  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 28000  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 200  
 Vers.zonen mit Eigengew. 6

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Waldmatt u. Ehrsberg	HB Waldmatt				TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xxx m <sup>3</sup> /a, 7 m <sup>3</sup> /h, auch Abgabe in HB Köpfe	Q Herrenschwander Kopf
ON Happach u. Schürberg	HB ForsthoF				TWA: CaCO <sub>3</sub> , xxx m <sup>3</sup> /a, 7 m <sup>3</sup> /h, auch Abgabe in HB Köpfe	Q ForsthoF
ON Rohmatt	Wölfisbrunnen nur LW	1480	50	629,5	ON wird über DU aus HB Dornhürstle versorgt?	Q Wölfisbrunnen bei HB Wölfisbrunnen nur Res.
ON Schürberg	HB Schürberg	1494	80,0	916,1	ON wird über neues PW mit TW aus HB ForsthoF befüllt	Q. Schürberg nur Res.
ON Ehrsberg	HB Köpfe	1495	300	932,0	kann sowohl aus HB Waldmatt als auch mit PW aus HB Kriegenbrächle befüllt	
ON Ehrsberg u. Wühre	HB Kriegenbrächle	1496	150	859,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xxx m <sup>3</sup> /a, 7 m <sup>3</sup> /h	Q. Hohlmatt
ON Hög u. Rohmatt	Dornhürstle	1498	150	755,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xxx m <sup>3</sup> /a, 7 m <sup>3</sup> /h	Q. Fuchsloch
ON Sonnenmatt	HB Sonnenmatt	1499	50	779,5	TWA: CaCO <sub>3</sub> /??, xxx m <sup>3</sup> /a, 7 m <sup>3</sup> /h	Q. Sonnenmatt
ON Altensteig	HB Altenstein	1500	80,0	968,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xxx m <sup>3</sup> /a, xy m <sup>3</sup> /h	Q. Mutterbühl

**Für die meisten Zonen kein Defizit zu erwarten, da auch in Trockenzeiten ausreichend Quellschüttung**  
**Ausnahmen: Quellen Herrenschwander Kopf und Hohlmatt. Empfehlung Ing. büro: Wasseruhren einbauen, ggf. "temp. Wasserspargebot"**

**WVU** **Gemeinde Herrischried**  
 79737 Herrischried  
 Hauptstraße 28  
 WM Hr. Hottinger 01727666103

Verbund TW-Lieferung von Herrischried aus HB Hornberg in HB Strick  
 Versorgte EW 2688  
 Hausanschl. 1000  
 Übernachtungen 1/Tag 115  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a nein  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 130000  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 600  
 Vers.zonen mit Eigengew. 6

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Herrischried (25% v. TW)	HB Stehle	3867	220	932	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 11000 m <sup>3</sup> /a, 10 m <sup>3</sup> /h	Q. Ob der Stehle 1-3
ON Herrischried (75% v. TW)	HB Tannacker		600	932	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 41000 m <sup>3</sup> /a, 24 m <sup>3</sup> /h	Q. Rohrquelle 1-4
ON Hornberg, Obergebisbach, Atdorf (zus. 200EW)	HB Hornberg	3868	150	1017	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 12000 m <sup>3</sup> /a, 9 m <sup>3</sup> /h, Zuförderung aus HB Tannen bei Bedarf (12 bar), Leitung nach HB Strick (Rickenbach)	Q Weidenbachqu. 1-3 (QW wird gepumpt)
ON Niedergebischbach (250 EW) ON Hogschür (400EW)	HB Tannen		600	904	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 33000 m <sup>3</sup> /a, 18 m <sup>3</sup> /h, PW nach HB Hornberg	Q. Igelmoos, Tannen (nicht shape), bei Bedarf kann Rohrq. zugespeist werden
ON Rütte (120EW)	HB Hummeloch-Rütte	4188	105	952	TWA: CaCO <sub>3</sub> /, 11000 m <sup>3</sup> /a, 10 m <sup>3</sup> /h, Überschuß ü. DM in ON Herrischried	Q. Guffertsmatt
ON Wehrhalden, Loch-häuser, Groß- u. Klein-herrischwand (zus. 520EW)	HB Hohe Straße	4189	300	995	TWA: CaCO <sub>3</sub> /, 25000 m <sup>3</sup> /a, 11 m <sup>3</sup> /h, Q. Wehrhalde u Fuhrer müssen gepumpt werden	Q. Fuhrer, Winkel, Brunnmättlemoos, Wehrhalden

**Kein Defizit zu erwarten:**

Bei Bau des Pumpspeicherkraftwerks Atdorf würden die Rohrquellen 1-4 entfallen (ca. 40 % der gesamten Bedarfsmenge)

Pläne: a) Verbund mit ZV Albtal (Dachsberg)

b) Verbund mit Gemeinde Todtmoos ggf. neuer Brunnen im Wehratal

**WVU** **Gemeinde Lenzkirch**  
 Kirchplatz 1 79853 Lenzkirch  
**WM** Thomas Raufer, Tel.: 0170 - 5 72 57 68  
**Verbund** Verbund im GWV Hochschwarzwald  
**Versorgte EW** 4867  
**Übernachtungen** 1/Tag 765  
**Wassermenge abger.** m<sup>3</sup>/a 330000 (ca. 0 von GWV)  
**Vers.zonen mit Eigengew.** 7

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
	SB/PW Raitenbuch	979	40	1002	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 44000 m <sup>3</sup> /a, 12 m <sup>3</sup> /h Förd. in HB Raitenbuch, Überschuß Förd. in HB Fischbacherhöhe	Qu. Kähnermoos
ON Raitenbuch	HB Raitenbuch	978	125	1046,0		
	PW Sonnhalde	5319	40	1009	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 11 m <sup>3</sup> /h, 44000 m <sup>3</sup> /a, fördert in HB Sonnhalde NZ	Qu. Balzenwald, Hochfirstmatt, Vitenhof
ON Saig HZ	HB Sonnhalde HZ	984	213	1076,4	befüllt aus HB Sonnhalde NZ	
ON Saig NZ	HB Sonnhalde NZ	985	180	1061,3	Überschuss in HB Platzberg	
ON Steig/Mühlingen	HB Kirchwald	986	110	882	TWA: CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> bei Bedarf, 64000 m <sup>3</sup> /a, Überschuss in HB Platzberg	Qu. Balzenwald, Hochfirstmatt, Kirchwald
	HB Platzberg	987	364	877	Abgabe in HB Hiera und HB/PW WW Schlossberg bei Bed. Förderung in HB Kappel NZ und HB Kirchberg	
	SB/PW Bad Kappel	251 (Qu.)	23	908	TWA: CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> bei Bedarf, 14000 m <sup>3</sup> /a, fördert in HB/PW Kappel NZ und Überschuss in HB Platzberg	Qu. Kappel 1-4
ON Kappel NZ	HB/PW Kappel NZ	989	180	928,0	fördert in HB Kappel HZ	
ON Kappel HZ	HB Kappel HZ	988	40	1010,0		
ON Lenzkirch HZ	Hiera	990	92	923,1	befüllt aus HB Platzberg	
	HB/PW WW Schlossberg	991		877	TWA: 2003: 420000, 2013: 150000 m <sup>3</sup> /a, 160 m <sup>3</sup> /h, CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> , 4 Br. 35-60 m <sup>3</sup> /h	
	HB/PW WW Schlossberg	992	1500	873,0	In HB Fischbacherhöhe (1123 m Gem Schluch-see u.a.) und bei Bedarf in ON Lenzkirch NZ u.a.	
ON Schliecht und ON Lenzkirch NZ	HB/PW Schliecht	993	265	669	TWA: CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> bei Bedarf, 100000 m <sup>3</sup> /a	Qu. Kohlbach, Mittelschachen, zT. Qu. Lochbr. 4-7 u. Talbrunnen
ON Ruhbühl und ON Lenzkirch NZ	HB Ruhbühl	995	400	879	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, 20 m <sup>3</sup> /h, 60000 m <sup>3</sup> /a	Qu. Klausen, Großmoos u. Glasbrunnen z.T. auch Qu. Lochbr. 4-7

**Gefahr für Defizit gering**

2 tes Standbein durch ergiebige Brunnen WW Schlossberg:

**WVU** **Gemeinde Rickenbach**  
 Hauptstraße 7 79736 Rickenbach  
 WM Hr. Albiez 016090194592 wassermeister@rickenbach.de

Verbund TW-Lieferung von Herrischried aus HB Hornberg in HB Strick  
 Versorgte EW 3896  
 Hausanschl. 1100  
 Großverbr. m³/a 24000  
 Wassermenge abger. m³/a 293193  
 Tagesspitze ist: m³/d 1300  
 Vers.zonen mit Eigengew. 7 z.T. Querverbund (=N Hottingen über PW Hasenloch aus ON Rickenbach, und umgek.)

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m³	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Rickenbach	HB/TWA Rickenbach	6346	500	815	TWA: CaCO3/UV ? m³/h, xx m³/a	Q. Mühleweiher 1-3 (Qmin 3,0 L/s), Q Altdorf (Qmin 1,2 L/s, nicht in shape)
ON Glashütten-NZ, Rütthof	HB Strick	3869	125	872,0	TWA: CaCO3 ? m³/h, xx m³/a, kann ü. PW Rütthof aus ON Hütten befüllt werden	Q. Abbau (Qmin 1,7 L/s), Saalbr. (Qmin 1,5 L/s)
	PW Rütthof				speist aus ON Hütten (=HB Hütten) durch ON Rütthof in HB Strick ein	
	PW Brühl	4098		858,0	fördert QW Steinbühl in TWA/HB Bühl	Q. Steinbühl (Qmin 2,3 L/s)
ON Altenschwand	HB/TWA Bühl		150	901	TWA: CaCO3 ? m³/h, xx m³/a	
	PW Bartolomä	4107		714,0	fördert QW Bartolomä in TWA/HB Hottingen	Q. Bartolomä (Qmin 1,0 L/s)
ON Hütten	HB Hütten	4178	800	899	TWA: CaCO3 ? m³/h, xx m³/a, bei Bed. in HB Bergalingen	Q. Untere/Obere Klinge (Qmin 3,0 L/s)
	PW Hütten				fördert QW U/O Klinge in TWA/HB Hütten	
	PW Hüttnermatten	4108			fördert QW Hüttnermatten in TWA/HB Bergalingen	Q. Hüttnermatten (Qmin 1,3 L/s)
ON Bergalingen	HB Bergalingen	4183	150	857,5	TWA: CaCO3 ? m³/h, xx m³/a (Q ü. PW Hüttnermatten)	
ON Willaringen	HB Willaringen	4184	150	754,2	TWA: CaCO3 ? m³/h, xx m³/a, über PW kann bei Bed. in HB Bergalingen gespeist werden	Q. Geismatt (Qmin 2,0 L/s), Q. Hofmatt (Qmin 3,7 L/s)
ON Jungholz	HB Jungholz	4185	105	803,2	aus HB Willaringen	
ON Hottingen	HB Hottingen	4198	500	749,5	TWA: CaCO3/UF/UV ? m³/h, xx m³/a	Q. Weier (Qmin 1,7 L/s), Fabrik und Hof (Qmin 1,1 L/s), (Bartolomä ü. PW)
ON Egg	HB Egg	424			aus HB Willaringen	

**Defizite in den Bereichen ON Rickenbach und ON Hütten, z.B wenn Großverbraucher Vogt-Plastik hoher Bedarf**

- Pläne: a) Anschluss an ZV Albtal (Dachsberg) und Bezug über Gem. Herrischried  
 b) Brunnen in "Hotzenwaldstörung" (Probebohrung noch nicht genehmigt)

WVU **Gemeinde Schluchsee** GWV Hochschwarzwald (Rathaus Schluchsee, Fischbacher Straße 7, 79859 Schluchsee)  
 79859 Schluchsee Hr Roth 076567723 WM: Hr. Böhler (GWV), 0170 - 2 78 14 90  
 WM Hr. Dold 076541754

Verbund Verbund im GWV Hochschwarzwald  
 Versorgte EW 2376  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a 0  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 252000 (ca. 12000 von GWV)  
 Vers.zonen mit Eigengew. 6

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
	PW Haus des Gastes	345 (QU.)	5	1000	Fördert Quellroh-wasser in HB Fischbacherhöhe	Q. Judenwald, Kohlplatz, Wirtshofquelle (bei Judenwald)
ON Fischbach und HB/PW Aha,	HB Fischbacherhö	980	858	1123,6	TWA: CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> b.B., 6 m <sup>3</sup> /h, 46000 m <sup>3</sup> /a, Überschuß in HB/PW Schluchsee HZ	
ON Aha	HB/PW Aha	981	15	979,0	Förderung in HB Äule	
ON Äule	HB Äule	982	75	1053,0		
	HB Domäne	1272	40		befüllt über PW in Schluchsee-HZ	
ON Schluchsee HZ	HB/PW Schluchsee HZ	997	300	1016,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV., 18 m <sup>3</sup> /h, 117000 m <sup>3</sup> /a	Qu. Lang/Domäne, Lindenqu.
ON Schluchsee NZ	HB Schluchsee NZ	998	208	985,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV., 8 m <sup>3</sup> /h, 48000 m <sup>3</sup> /a, HB kann auch aus HZ gespeist werden	Qu. Waldmatt, Silberqu.
ON Faulenfürst	HB/PW Faulenfürst	999	88	1054,1	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV., 3 m <sup>3</sup> /h, 10000 m <sup>3</sup> /a	Q Steinbr.
	TWA Seebrugg	310 (QU.)	-	976,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> b.B., 3 m <sup>3</sup> /h, 10000 m <sup>3</sup> /a, Einspeisung in HB Seebrugg	Qu. Seebrugg 1-4
ON Seebrugg	HB Seebrugg	1000	47	956,6	(Abgabe n. HB/PW Blasiwald)	
	HB Blasiwald	304 (QU.)	90	950,0	aus ON Seebrugg	
ON Schönenbach	HB Schönenbach	3347	55	1004,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub> b.B., 3 m <sup>3</sup> /h, 10000 m <sup>3</sup> /a	Qu. Schönenbach

**Gefahr für Defizit gering**

2 tes Standbein durch Verbund im GWV und ergiebige Brunnen WW Schlossberg:  
 Ausnahme ON Schönenbach = "Inselvesorgung", Quellschüttung zeitweise zu gering

**Gemeinde Schönau**

WVU Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald  
 Techn. Leiter Hr. Steinebrunner 07673 820450  
 Verbund keiner  
 Versorgte EW 2321  
 Hausanschl. 639  
 Übernachtungen 1/Tag 133  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 121100  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 719  
 Vers.zonen mit Eigengew. 1

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Schönau-DZ1, Aiterfeld	HB Gelber Boden	1470	1100	590	TWA: CaCO <sub>3</sub> ? m <sup>3</sup> /h, xx m <sup>3</sup> /a	Br. Mühl matt
ON Schönau-DZ3 und 4	HB Eggenrütte		150	639	befüllt über PW Eggenrütte aus ON Schönau-DZ1	
ON Schönau-DZ2	HB Eichbühl		200	622	befüllt über PW Eggenrütte aus ON Schönau-DZ1	

**Kein Defizit zu erwarten:**

**Gemeinde Schönenberg**

WVU  
 Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald  
 Techn. Leiter Hr. Steinebrunner 07673 820450

Verbund keiner  
 Versorgte EW 352  
 Hausanschl. 114  
 Übernachtungen 1/Tag 21  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 15366  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 105  
 Vers.zonen mit Eigengew. 1

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Schönenberg	HB Hohweier	1469	250	736	CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q Stuhl und Stuhl-neu

**Kein Defizit zu erwarten:**

WVU

**Städtisches Wasserwerk St. Blasien**

Am Kurgarten 11 79837 St Blasien

WM

Hr. Fritz 07672 2033 [wasserwerk@stblasien.de](mailto:wasserwerk@stblasien.de)

Regionaler Verbund		keiner
Versorgte EW		3684
Übernachtungen	1/Tag	710
Großverbr.	m³/a	Internat (Sommerferien)
Wassermenge abger.	m³/a	317000
Tagesspitze ist:	m³/d	1100
Vers.zonen mit Eigengew.		6

Versorgungszonen	Objekt-ID	Behälter	Vol, m³	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Albtal-Immeneich		TWA Sägematt	-	630,0	TWA: CaCO3, 25 m³/h, 40000 m³/a, durch ON in HB Immeneich	1 Br. Sägematt, ca. 12 m tief, 2x15 m³/h,
ON Albtal-Immeneich	234	HB Immeneich			auch Abgabe in ON Schlageten	
ON Albtal-Kutterau HZ		HB Obererer Ballenberg	40		TWA: CaCO3/UV, ? m³/h, 9000 m³/a	Q Ballenberg, HB befindet sich ca. 1 km oberhalb von HB Unterer Ballenberg
ON Albtal-Kutterau TZ	3338	HB Unterer Ballenberg			aus HB Oberer Ballenberg, bei Bedarf über PW aus ON Immeneich (= TWA	
ON Menzenschwand	972	TWA Schwarzberg	600	885,0	TWA: CaCO3/UV, 10 m³/h, 52000 m³/a,	2 Br. Brühl ca. 12 m tief (enth. Fe)
	3327	WW Roßbrühl	600	766,0	TWA: CaCO3, 25 m³/h	1. Q. Kohlwald, Q. Glashof 70000 m³/a (tief gefasst - keine Trüb./Bakt.); 2. 3 Br.
ON St. Blasien-NZ	3328	HB Bötzenberg	165	800	Einspeisung aus WW Roßbrühl	Galgenmatt nur Spitze, 48000 m³/a, ca. 12 m tief, Br 1,2 10 m³/h, Br 3 2x25 m³/h)
ON St. Blasien-MZ/HZ	3330	HB Bitch neu	200	876	TWA: CaCO3, ? m³/h, 85000 m³/a	Q. Klosterquelle, atyp. Schüttungsverhalten
ON St. Blasien-NZ	3332	HB Holzberg	800	808,0	TWA: CaCO3, ? m³/h, 115000 m³/a, Einspeisung aus WW Roßbrühl mögl.	Q. Erzgrube (alter Stollen), tief gefasst - keine Trüb./Bakt.
ON St. Blasien-HZ	3333	HB Kohlwald	300	945,0	Einspeisung aus HB Bitch neu,	

**Kein Defizit zu erwarten:**

Nördl. Bereich (Menzenschwand) ergiebiger Brunnen

Mittlerer Bereich (St Blasien) und südl Bereich jeweils 2 tes Standbein durch ergiebigen Brunnen:

**WVU** **Gemeinde Todtmoos**  
 St.-Blasier-Str. 2 79682 Todtmoos  
 Rechnungsamt Hr. Bonow 07674/84836  
 WM Hr. Paul 01757225 [wasser@todtmoos.net](mailto:wasser@todtmoos.net)

Verbund keiner  
 Versorgte EW 1876  
 Hausanschl. 601  
 Übernachtungen 1/Tag 870  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a 0  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 126000  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 700  
 Vers.zonen mit Eigengew. 4

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Au, ü. DM ON Berghütte, Glashütte	HB Au	1504	180	791,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, yy m <sup>3</sup> /a	Q. Wehrawald
ON Schwarzenbach	HB Schwarzenb.	1505	70	959,0		
	PW Schwarzenb.	1503		745,0	fördert in HB Schwarzenbach	
ON Todtmoos-HZ	HB Mättle	1506	150	922,8	aus HB Weg	
ON Mättle u Weg	HB Weg	1507	300	986,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, yy m <sup>3</sup> /a, Überschuß in HB Mättle	Q. Quellenhof, Q. Hölzle, Q. Holder (nicht in shape)
ON Lehen	HB Lehen	1508	120	1065,1	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, yy m <sup>3</sup> /a, Überschuß in HB Weg	Q. Kaltwasser 1-5
ON Prestenberg u Rütte	HB Prestenberg	1512	120	1048,1	TWA: Sandfilter/CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, yy m <sup>3</sup> /a, Überschuß in HB Strick	Q. Langenwaldq. 1u2, Q. Prestenberg (wird gepumpt)
ON Strick u. ON Todtmoos (Überschuß)	HB Strick	1514	120	928,1	Überschuß aus HB Prestenberg	
ON Todtmoos-TZ	HB Kälberweid	1515	800	873	Aus HB Mättle, TB Auf der Au (? m <sup>3</sup> /h) vorh. der in HB Kälberweid u. in HB Mättle/Weg fördern kann	

**Kein Defizit zu erwarten:**

Nördlicher bzw südlicher Bereich ( HB Prestenberg/Strick bzw. HB Au) viel überschüssiges Quellwasser

Für mittleren Bereich (= Hauptmenge ON Todtmoos) 2 tes Standbein durch ergiebigen Brunnen (12 L/s WR). In Taulaue viel GW vorh.

WVU

**EOW Todtnau**

Meinrad-Thoma-Str. 8 79674 Todtnau

Techn. Verantwortlicher Hr. Maier '671 999960 [maier.w@eow-todtnau.de](mailto:maier.w@eow-todtnau.de)

Verbund keiner  
 Versorgte EW 5100  
 Übernachtungen 1/Tag 1158  
 Großverbr. m³/a keine  
 Wassermenge abger. m³/a 269218  
 Tagesspitze ist: m³/d 1500  
 Vers.zonen mit Eigengew. 8

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m³	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Muggenbr.-HZ (68EW)	HB Muggenbrunn I	950	60	1120,0	TWA: CaCO3/UV, ? m³/h, 16000 m³/a, , Überschuß in HB Muggenbr. II	1. Wasserhüttenq. (2,5 L/s) 2. Klöpflemoserq. und Farnhaldenq. (zus. 2,8 L/s), 3. Q. Trübelsmatt (1,4 L/s) (letzte drei Q nicht in shape)
ON Muggenbr.-MZ (11EW+ Campingpl.)	HB Muggenbrunn II	951	250	1062,8	Überschuß in HB Muggenbr.III	
ON Muggenbr.-NZ (217EW)	HB Muggenbrunn III	952	60	1017,6		
ON Todtnauberg (670 EW+JH)	HB Ratschert	953	200	1189,0	TW aus HB/TWA Büreten, "Notverbindung" zum HB Rütte	
	HB/TWA Büreten-neu	955	200	1112,2	TWA: CaCO3/UV, ? m³/h, 40000 m³/a, wird in HB Ratschert gepumpt	1. Lachwasenq., 2. Langmoosq., 3. Kegelriesq. (letzte beiden nicht in shape)
ON Büreten/Rütte (390EW)	HB/TWA Rütte	954	500	1127,9	TWA: CaCO3/UV, ? m³/h, 30000 m³/a,	1. Q. Rütteberg, 2. Q. Stübenwasen
	HB Aftersteg	956	90	870,6	Zuförderung TW aus HB/TWA Liesbühl	
	HB Brandenburg-alt	957	60	825,0	wird stillgelegt, künftig über HB Fahl	(Waldschweinq. wird stillgelegt)
ON Brandenburg (391 EW)	HB Brandenburg-neu		200	840	TW aus HB/TWA Fahl	

Fortsetzung Anhang 16b

ON Hasbach (30 EW)	HB Hasbach neu		50	935	wird aus HB Feriendorf versorgt (= HB Liesbühl)
ON Feriendorf und Abgabe in HB Hasbach-neu	HB Feriendorf	959	200	930,0	TW Förderung aus HB Liesbühl,
ON Sonnhalde sowie Einspeisung in HB Liesbühl	HB/TWA Knappenquelle		300	754	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, 46000 m <sup>3</sup> /a, 1. Knappenq. (33000 m <sup>3</sup> /a) sowie 2. Töschelq. und Brühlq. (zus 13000 m <sup>3</sup> /a, ehem in HB Aftersteg)
Abgabe in HB Feriendorf und ON Todtnau (2233 EW)	HB Liesbühl	961	300	747,0	wenn > 6 L/s aus HB Mauswald, dann öffnet hier ein Ventil
	DU Stuhl	962	100	668	speist aus HB Mauswald in ON Todtnau ein (70% von TW)
	Brunnenstube Mauswald	963	300		nur Rohwasser
	HB Schlechnau		180	673	"halbe Strecke zw Todtnau und Schlechnau", befüllt aus aus ON Todtnau ON Schlechnau und ON Geschwend (zus. 820EW)
ON Todtnau (2233) und ON Stuhl (117EW)	HB/TWA Mauswald	966	600	760	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, 121000 m <sup>3</sup> /a, über DU Stuhl, auch Einsp. aus HB Lieswald Mauswaldq.
	HB TUK Fahl	968	100		Zuförderung aus HB/TWA Fahl neu 1. Rotenbachq. (Qmin 0,4 L/s), 2. Q. Kühlerbrunnen (Qmin 2,4 L/s)
ON Fahl (117 EW), ON TUK/Ski Lift	HB/TWA Fahl-neu	969	60	910,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UF/UV, 9 m <sup>3</sup> /h, künftig 22000 m <sup>3</sup> /a, Abgabe in HB Brandenburg-neu
ON Herrenschwand (117 EW)	HB/TWA Herrenschwand	1493	60		TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, 5600 m <sup>3</sup> /a Q. Herrenschwand
ON Präg (272 EW)	HB/TWA Präg	1510	200	770,0	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, 12000 m <sup>3</sup> /a

**Gemeinde Tunau**

WVU Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald  
 Techn. Leiter Hr. Steinebrunner 07673 820450  
 Verbund keiner  
 Versorgte EW 182  
 Hausanschl. 62  
 Übernachtungen 1/Tag 5  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 7500  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 54  
 Vers.zonen mit Eigengew. 1

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Tunau-HZ	HB Tunau	1491	180	781	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, yy m <sup>3</sup> /a	Q. Rosenloch 1,2
ON Tunau-NZ	HB Bischmatt	1490	90	666	befüllt aus HB Tunau	

**Kein Defizit zu erwarten:**

**Gemeinde Utzenfeld**

WVU  
 Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald

Techn. Leiter      Hr. Steinebrunner      07673 820450

Verbund      Verbundleitung zw. Utzenfeld und Wembach  
 Versorgte EW      625  
 Hausanschl.      189  
 Übernachtungen      1/Tag      8  
 Großverbr.      m<sup>3</sup>/a  
 Wassermenge abger.      m<sup>3</sup>/a      30836  
 Tagesspitze ist:      m<sup>3</sup>/d      203  
 Vers.zonen mit Eigengew.      1

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Utzenfeld	HB Utzenfeld	964	350	610	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, ? m <sup>3</sup> /h, yym <sup>3</sup> /a	Q. Kropfbr., Utzenbach, Winterhölzle, Stollenq., Kohlerq. <span style="color: red;">(letzte beiden nicht in shape)</span>

**Kein Defizit zu erwarten:**

**Gemeinde Wembach**

WVU Gemeindeverwaltungsverband Schönau im Schwarzwald  
 Talstraße 22  
 79677 Schönau im Schwarzwald

Techn. Leiter Hr. Steinebrunner 07673 820450

Verbund Verbundleitung zw. Utzenfeld und Wembach  
 Versorgte EW 339  
 Hausanschl. 92  
 Übernachtungen 1/Tag 6  
 Großverbr. m<sup>3</sup>/a  
 Wassermenge abger. m<sup>3</sup>/a 15906  
 Tagesspitze ist: m<sup>3</sup>/d 110  
 Vers.zonen mit Eigengew. 1

Versorgungszonen	Behälter	Objekt-ID	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Wembach	HB Wembach- neu		215	580	TWA: CaCO <sub>3</sub> /UV, xx m <sup>3</sup> /a, yy m <sup>3</sup> /h	Q. Weid

**Kein Defizit zu erwarten:**



**WVU** **Gemeinde Wutach**  
 79879 Wutach  
**BM** Christian Mauch [mauch@wutach.de](mailto:mauch@wutach.de)  
 Amtshausstraße 2 07709/92969-13

Verbund		Verbund im GWV Hochschwarzwald	
Versorgte EW		1201	
Hausanschl.		?	
Übernachtungen	1/Tag	365	
Großverbr.	m <sup>3</sup> /a	0	
Wassermenge abger.	m <sup>3</sup> /a	84000	(100% von GWV)
Tagesspitze ist:	m <sup>3</sup> /d	446	
Vers.zonen mit Eigengew.		-	

Versorgungszonen	Objekt-ID	Behälter	Vol, m <sup>3</sup>	WSP, m NN	Aufbereitung (TWA) bzw. Bemerkungen	Rohwasser
ON Lembach	1274	HB Münchingen ob Steg (neu)	100	845	befüllt aus HB Lindenbuck mit GWV	
ON Ewattingen/Wutach	4478	HB Ewattingen auf d. Berg	350	777	befüllt aus HB Münchingen ob Steg	

**Gefahr für Defizit gering**  
 durch Verbund im GWV und ergiebige Brunnen WW Schlossberg: