Professur für Hydrologie
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Giuliana Falasca

Untersuchung der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg zum Umgang mit Trockenheit

Eine Analyse der Vulnerabilität

Masterarbeit unter Leitung von Prof. Dr. Kerstin Stahl
Freiburg i. Br., Dezember 2016

Professur für Hydrologie
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Giuliana Falasca

Untersuchung der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg zum Umgang mit Trockenheit

Eine Analyse der Vulnerabilität

Referentin: Prof. Dr. Kerstin Stahl

Korreferentin: Dr. Sylvia Kruse

Freiburg i. Br., Dezember 2016

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Herrn Dr. Blauhut und Frau Prof. Dr. Stahl für das Bereitstellen dieses interessanten Themas, die fachliche Unterstützung und wertvollen Anregungen. Danken möchte ich außerdem Frau Dr. Sylvia Kruse für die Bereitschaft, die Zweitbetreuung zu übernehmen und die Hilfestellung bei speziellen Fragen.

Des Weiteren danke ich den Gesundheitsämtern, dem Regierungspräsidium Freiburg und dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, insbesondere Herr Leiberich, Frau Knab-Kopf und Herr Rack, die mein Anliegen ins Rollen gebracht haben und Frau Bauer für das zur Verfügung gestellte Material und die Beantwortung meiner Fragen. Zudem möchte ich mich für die Durchführung des Pretest der Umfrage ganz herzlich bei Herrn Binder, Herrn Scheck und Herrn Rhode bedanken.

Ein besonderes Dankeschön gilt allen Wasserversorgern Baden-Württembergs, die sich, trotz der Sommerferien, Zeit für die Beantwortung der Fragen genommen haben. Ohne die zahlreiche Beantwortung der Online-Umfrage, wäre diese Arbeit so nicht möglich gewesen. Dabei möchte ich im Besonderen Frau Weiss für ihr außergewöhnliches Engagement danken.

Ebenso gilt mein Dank meiner Familie und meinen Freunden für die großartige Hilfe bei der Erstellung der Kontaktdaten und für das Korrekturlesen.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen im Text III

Verzeichnis der Karten im Text V

Verzeichnis der Tabellen im Text VII

Verzeichnis der Tabellen im Anhang VII

Zusammenfassung IX

Abstract XI

1. Einleitung 1
   1.1. Stand der Forschung 1
   1.2. Forschungsfragen und Zielsetzung 9

2. Untersuchungsgebiet 11
   2.1. Räumliche Gliederung 11
   2.2. Struktur der öffentlichen Trinkwasserversorgung 13

3. Methoden 18
   3.1. Komponenten der Vulnerabilität 18
   3.2. Datenerhebung 19
      3.2.1 Identifizierung der Wasserversorger 19
      3.2.2 Konzeption der Umfrage 20
      3.2.3 Durchführung der Umfrage 21
      3.2.4 Datenaufbereitung 22
   3.3. Datenauswertung 22

4. Ergebnisse 24
   4.1. Sensitivitätsfaktoren 24
      4.1.1 Charakterisierung der Wasserversorger 24
      4.1.2 Zusammensetzung des Trinkwassers 27
      4.1.3 Jahreswasserabgabe und versorgte Einwohner 28
      4.1.4 Potenzielle Auswirkungen 30

4.2. Anpassungsfähigkeitsfaktoren 32
4.2.1 Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge 32
4.2.2 Akute Maßnahmen zum Risikomanagement 35
4.2.3 Informations- und Monitoringsysteme 37
4.2.4 Risikobewusstsein 40

5. Diskussion 43
5.1. Beurteilung der Umfrageergebnisse 43
5.2. Analyse der Vulnerabilität 44
5.3. Unsicherheiten 47

6. Schlussfolgerungen 49

Literaturverzeichnis 51
Anhang 56
A. Online-Umfrage 56
B. Ergebnisse der Online-Umfrage 61

Verzeichnis der Abbildungen im Text

Abbildung 1.1	Schematische Darstellung verschiedener Kategorien von Trockenheit und deren Entwicklung (verändert nach Van Loon 2015).	1
Abbildung 1.2	Komponenten von Trockenheit (verändert nach Wilhite 2000).	3
Abbildung 1.3	Komponenten der Vulnerabilität (verändert nach IPCC 2007, Fontaine & Steinemann 2009).	6
Abbildung 2.1	Wassergewinnung durch öffentliche Wasserversorger in Baden-Württemberg (regionale Gliederung nach Standort der Gewinnungsanlage) (Statistisches Bundesamt 2015b).	14
Abbildung 2.2	Anzahl der Wasserversorger nach (a) der Art des Wasseraufkommens und nach (b) der Art der Wasserabgabe (Statistisches Bundesamt 2015b).	15
Abbildung 2.3	Wasserversorger ohne und mit Versorgung von Einwohnern. Mit Versorgung von Einwohnern: nach Größenklassen sortiert [von… bis unter…] (Statistisches Bundesamt 2015b).	15
Abbildung 4.1	Anteile der gruppierten WV.	24
Abbildung 4.2	Anteile des Fremdbezugs durch Fern- und Gruppenwasserversorger (BWV: Bodenseewasserversorgung, LW: Landeswasserversorgung, NOW: Wasserversorgung Nordostwürttemberg, WKK: Wasserversorgung Kleine Kinzig, GWV: Gruppenwasserversorger).	26
Abbildung 4.3	Anteile des Wassers durch Eigengewinnung (GW: Grundwasser, QW: Quellwasser, SW: Seewasser, UF: Uferfiltrat, aGW: angereichertes GW).	27
Abbildung 4.4	Logarithmierter Boxplot der jährlichen Wasserabgaben (rote Punkte: Wasserversorger, die zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgreifen mussten; siehe Kapitel 4.1.4 und Karte 4.5, S. 30).	28
Abbildung 4.5	Logarithmierter Boxplot der jährlichen Wasserabgaben (Farbschema vgl. Tabelle 4.1, S. 24) mit (a) allen Wasserversorgern (WV), (b) WV mit ausschließlich Eigengewinnung (blau: Kommune, türkis: Gruppenwasserversorger (GWV)), (c) mit Eigengewinnung und Fremdbezug (dunkelgrün: Kommune, hellgrün: GWV) und (d) mit ausschließlich Fremdbezug (orange: Kommune, gelb: GWV) (rote Symbole: WV, die zwischen den Jahren 2000 und 2015 auf Grund von Trockenheit auf andere Wasserressourcen zurückgreifen mussten	29

Abbildung 4.6	Zusammenhang zwischen der Anzahl versorgter Einwohner und der jährlichen Wasserabgabe [Mio. m²] mit logarithmierter x- und y-Achse (rote Linie: Regressionsgerade mit dem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0.94$).	29
Abbildung 4.7	Zeiträume, in denen Wasserversorger ‚umschalten' mussten zusammen mit deren Anzahl (rot markiert wurden Wasserversorger, die auf Grund von Wasserquantitätsgründen ‚umschalten' mussten (umso dunkler die Farbe, desto höher die Anzahl der Wasserversorger), blaue Kästen markieren Fälle auf Grund von Wasserqualitätsgründen).	31
Abbildung 4.8	Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge (1) bis (8) (FWV: Fernwasserversorger, GWV: Gruppenwasserversorger)	32
Abbildung 4.9	Akute Maßnahmen zum Risikomanagement (1) bis (6).	35
Abbildung 4.10	Informations- und Monitoringsysteme zur Früherkennung von Trockenheit.	37
Abbildung 4.11	Einschätzungsfragen in Bezug auf das Risikobewusstsein durch Trockenheit.	41

Verzeichnis der Karten im Text

Karte 2.1	Orohydrographische Karte Baden-Württembergs (Topographie [m ü. NN] und die wichtigsten fließenden und stehenden Gewässer) zusammen mit den vier größten Städten (WaBoA 2012**).**	11
Karte 2.2	Administrative Einheiten von Baden-Württemberg (LGL 2015).	11
Karte 2.3	Lithostratigraphische Regionen Baden-Württembergs (Nummer, Region) (LGRB 2004).	12
Karte 2.4	Hydrogeologie Baden-Württembergs (WaBoA 2012).	13
Karte 2.5	Grundwasserergiebigkeit Baden-Württembergs (WaBoA 2012).	13
Karte 2.6	Wasserreiche und wasserarme Gebiete in Baden-Württemberg (ZVLW 2016).	17
Karte 2.7	Leitungsnetz der vier Fernwasserversorger in Baden-Württemberg (ZVLW 2016).	17
Karte 4.1	Räumliche Verteilung der WV.	24
Karte 4.2	Antworten auf die Frage warum die Wasserversorger ohne Fremdbezug nicht an einen Fern- oder Gruppenwasserversorger angeschlossen sind.	25
Karte 4.3	Fremdbezug der Wasserversorger (BWV: Bodenseewasserversorgung, LW: Landeswasserversorgung, NOW: Wasserversorgung Nordostwürttemberg, WKK: Wasserversorgung Kleine Kinzig, GWV: Gruppenwasserversorger).	25
Karte 4.4	Zusammensetzung des Wassers durch Eigengewinnung.	27
Karte 4.5	Antworten auf die Frage, ob zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgegriffen werden musste.	30
Karte 4.6	Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge: (1) Vergrößerung der Kapazitäten, (2) Anschluss an FWV, (3) Anschluss an GWV, (4) zusätzlicher Bezug eines FWV/GWV, (5) Erhöhung der Bezugsrechte eines FWV/GWV, (6) Erschließung neuer Quellen/Brunnen, (7) Entwicklung von Trockenheitsmanagement / Notfallplänen, (8) Investitionen (FWV: Fernwasserversorger, GWV: Gruppenwasserversorger).	34
Karte 4.7	Akute Maßnahmen zum Risikomanagement: (1) Umstellung der Bezugsressource(n), (2) Aktivierung von Notfallressourcen, (3) Zuspeisung von Notfallbrunnen, (4) Aufrufen zur Wassereinsparung, (5) Umschalten auf einen anderen Wasserverbund, (6) Organisation von Selbsthilfegruppen.	36
Karte 4.8	Antworten zur Art der genutzten (internen) Grenzwerte.	38

Karte 4.9	Nutzung von Informations- und Monitoringsystemen: (1) (interne) Grenzwerte, (2) (interne) Informationsquellen, (3) (interne) Informationen durch die Behörden, (4) Abstimmung der Wasserversorger untereinander, (5) German Drought Monitor, (6) European Drougth Observatory, (7) globale Trockenheits- oder Monitoring-Plattformen.	39
Karte 4.10	Antworten auf die Einschätzungsfragen, ob Trockenheit in Baden-Württemberg in Zukunft (1) häufiger, bzw. (2) länger auftreten wird als bisher.	41
Karte 4.11	Fortsetzung der Antworten auf die Einschätzungsfragen: (3) Mein Unternehmen wird in Zukunft öfters von Trockenheit betroffen sein. (4) Wenn Trockenheit in Zukunft zunimmt, wird mein Unternehmen von negativen Auswirkungen betroffen sein. (5) Die von mir genutzten Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden. (6) Die zur Verfügung stehenden Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden. (7) Es besteht Handlungsbereitschaft, Maßnahmen zu ergreifen, um negative Auswirkungen durch Trockenheit zu minimieren. (8) Für mein Unternehmen besteht Bedarf nach einem gesetzlich verankerten Trockenheitsmanagement (ähnlich wie Hochwassergefahrenkarten). (9) Ich wäre interessiert daran, mich in Zukunft regelmäßig(er) mit anderen Versorgungsunternehmen bzw. der Wasserbehörde auszutauschen um negative Auswirkungen zu vermeiden.	42

Verzeichnis der Tabellen im Text

Tabelle 1.1	Beispiele von Auswirkungen durch Trockenheit (nach TALLAKSEN & VAN LANEN 2004).	3
Tabelle 4.1	Gruppierung der geantworteten Wasserversorger (WV).	24
Tabelle 4.2	Anzahl versorgter Einwohner durch die öffentliche Trinkwasserversorgung bezogen auf: Baden-Württemberg, Fernwasserversorger, die geantworteten Wasserversorger und Wasserversorger, die ‚umschalten' mussten.	32

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Anhang B Tab. 1	Gruppierung der Wasserversorger (WV) (GWV: Gruppenwasserversorger).	61
Anhang B Tab. 2	Art des Fremdbezugs (Option 1 und 2).	61
Anhang B Tab. 3	Anteile des Wassers durch Fremdbezug (Option 1 und 2) (BWV: Bodenseewasserversorgung, LW: Landeswasserversorgung, NOW: Wasserversorgung Nordostwürttemberg, WKK: Wasserversorgung Kleine Kinzig, GWV: Gruppenwasserversorger, Min: Minimum, 1. Qu.: unteres Quantil, Mean: Mittelwert, 3. Qu.: oberes Quantil, Max: Maximum)	61
Anhang B Tab. 4	Anteile des Wassers durch Eigengewinnung (Option 1 und 3) (Min: Minimum, 1. Qu.: unteres Quantil, Mean: Mittelwert, 3. Qu.: oberes Quantil, Max: Maximum).	62
Anhang B Tab. 5	Warum sind Sie an keinen Fern- oder Gruppenwasserversorger angeschlossen? (Option 3) (Mehrfachantworten möglich).	62
Anhang B Tab. 6	Jahreswasserabgabe (Min: Minimum, 1. Qu.: unteres Quantil, Mean: Mittelwert, 3. Qu.: oberes Quantil, Max: Maximum).	62
Anhang B Tab. 7	Grenzwerte, ab denen auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgegriffen wurde (Mehrfachantworten möglich).	62
Anhang B Tab. 8	Mussten Sie zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zugreifen?	62

Anhang B Tab. 9	Anzahl der Wasserversorger, die folgende Maßnahmen zur Risikovorsorge schon einmal angewandt	63
Anhang B Tab. 10	Anzahl der Wasserversorger, die folgende Maßnahmen zum Risikomanagement schon einmal angewandt	63
Anhang B Tab. 11	Anzahl der Wasserversorger, die folgende Informations- und Monitoringsysteme zur Früherkennung von Trockenheit	63
Anhang B Tab. 12	Anzahl der Wasserversorger, die folgenden Aussagen	64

Zusammenfassung

Trockenheit ist eine der tödlichsten und kostspieligsten Naturgefahren, denn fast alle Regionen der Erde können von Trockenheit betroffen sein. Auf Grund der vielfältigen Auswirkungen ist das Trockenheitsrisiko, die Kombination aus der Naturgefahr und der gesellschaftlichen Vulnerabilität, schwierig zu definieren. Auch wenn nur wenig zur Verhinderung der natürlich auftretenden Naturgefahr unternommen werden kann, können Maßnahmen zur Verringerung der gesellschaftlichen Vulnerabilität gegenüber Trockenheit getroffen werden. Die gesellschaftliche Vulnerabilität einer bestimmten Region oder eines bestimmten Sektors kann mit Hilfe der Sensitivität und den daraus resultierenden potenziellen Auswirkungen sowie der Anpassungsfähigkeit bewertet werden. Beide Komponenten hängen von sozio-ökologischen und sozio-ökonomischen Faktoren ab. Vergangene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Befragung von Akteuren wesentlich dazu beiträgt, diese Faktoren zu identifizieren und besser zu verstehen.

Auch viele Regionen in Baden-Württemberg sind immer häufiger von Trockenheit betroffen. In der Vergangenheit kam es bei der öffentlichen Trinkwasserversorgung lokal und regional zu quantitativen und zeitweise zu qualitativen Auswirkungen. In der vorliegenden Arbeit wurden im Zuge einer Online-Umfrage über 800 Wasserversorger in Baden-Württemberg zum Umgang mit Trockenheit befragt. Ziel dieser Umfrage war, mit Hilfe der erhobenen Daten, sowohl neue Erkenntnisse zum Umgang der Wasserversorger mit Trockenheit zu gewinnen, als auch eine Analyse der Vulnerabilitätsfaktoren durchzuführen.

Die Auswertung der Umfrageergebnisse zeigt ein homogenes, stark vernetztes Untersuchungsgebiet. Insgesamt haben sich die Wasserversorger in Baden-Württemberg sehr gut aufgestellt. Es kann daher von einer geringen Vulnerabilität der öffentlichen Trinkwasserversorgung gegenüber Trockenheit ausgegangen werden. Auch wenn in diesem Zusammenhang eine klassische Vulnerabilitätsanalyse keinen geeigneten Ansatz darstellt, um die Vulnerabilität des Sektors der öffentlichen Trinkwasserversorgung zu erfassen, kann eine solche Online-Umfrage als geeignetes Werkzeug gesehen werden, um Wissen direkt bei den Betroffenen abzufragen und um deren Umgang mit Trockenheit quantitativ zu erheben.

Schlüsselbegriffe: Trockenheit, Risiko, Naturgefahr, Vulnerabilität, öffentliche Trinkwasserversorgung, Baden-Württemberg, Online Umfrage.

Abstract

Almost any region in the world can be affected by drought, making it one of the most lethal and costly natural hazards. Due to its manifold impacts, the risk of drought (i.e. the combination of natural hazard and societal vulnerability) is difficult to define. Although little can be done to prevent this naturally occurring hazard, measures can be put in place to reduce the societal vulnerability to drought. The societal vulnerability of a particular region or sector can be evaluated in terms of sensitivity and its resulting potential impacts, as well as adaptive capacity. Both of these variables depend on socio-ecological and socio-economic factors. Previous investigations have shown that surveying stakeholders is extremely helpful in identifying these factors and gaining a better understanding of them.

Drought conditions are becoming more frequent across many regions of Baden-Württemberg. This has previously affected the quantity and occasionally the quality of the public water supply at both local and regional levels. For this paper, over 800 water suppliers in Baden-Württemberg were asked to complete an online survey about their handling of drought conditions. Using this compiled data, the objective of the survey was to obtain new insights into the ways in which water suppliers deal with drought and to analyse the factors affecting vulnerability.

Evaluation of the results shows a strong, homogeneous network across the study area. Overall, the water suppliers in Baden-Württemberg are well organised. In the event of drought, therefore, it can be assumed that the vulnerability of the public water supply is low. In this context, classical vulnerability analysis is not a suitable starting point to gauge the vulnerability of the public water supply sector. An online survey is an appropriate tool to obtain knowledge directly from those affected and evaluate their handling of drought in quantitative terms.

Key words: drought, risk, natural hazard, vulnerability, public water supplies, Baden-Württemberg, online survey.

1. Einleitung

1.1. Stand der Forschung

Trockenheit ist eine der tödlichsten und kostspieligsten Naturgefahren, trotzdem lässt sie sich nur sehr schwer erfassen (WILHITE et al. 2007, WILHITE 2011, LLOYD-HUGHES 2014, BLAUHUT et al. 2015, VAN LANEN et al. 2016). Sie unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von anderen Naturgefahren. Einerseits ist sie eine schleichende Gefahr, die sich langsam und oft unbemerkt entwickelt und keinen genauen Eintritts- und Endzeitpunkt hat (WILHITE & GLANTZ 1985, TALLAKSEN & VAN LANEN 2004). Andererseits gibt es keine eindeutige Definition von Trockenheit (WILHITE & GLANTZ 1985, LLOYD-HUGHES 2014). Nach WILHITE & GLANTZ (1985) kann zwischen konzeptionellen und operationellen Definitionen unterschieden werden. Konzeptionelle Definitionen haben das Ziel, die Grenzen des Trockenheitsbegriffs abzustecken. Zum Beispiel definiert KNUTSON et al. (1998) Trockenheit als ein Niederschlagsdefizit im Verhältnis zu normalen oder zu erwartenden Verhältnissen, welches, ausgedehnt über eine Saison oder einen längeren Zeitraum, unzureichend ist, um den Wasserbedarf zu decken. Diese Arten von Definitionen erweisen sich für eine Beschreibung des Phänomens als nützlich, können jedoch nicht angewandt werden, um das Auftreten von Trockenheit zu detektieren (WILHITE 2000). Operationelle Definitionen heben bestimmte Trockenheitsauswirkungen hervor und können nach WILHITE & GLANTZ (1985) in meteorologische, landwirtschaftliche, hydrologische und sozio-ökonomische Trockenheit unterteilt werden (Abbildung 1.1).

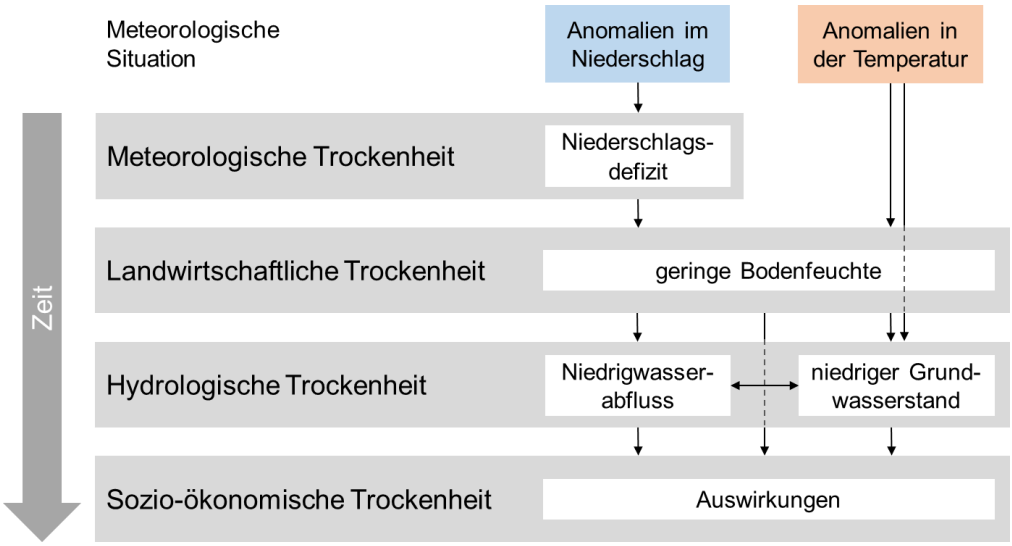


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung verschiedener Kategorien von Trockenheit und deren Entwicklung (verändert nach VAN LOON 2015).

Ein Trockenheitsereignis wird durch eine bestimmte meteorologische Situation verursacht (VAN LOON 2015). Die meteorologische Trockenheit äußert sich in längerem Ausbleiben von Niederschlägen, gegebenenfalls kombiniert mit hohen potentiellen Evapotranspirationsraten. Die dadurch bedingte Abnahme der Bodenfeuchte hat starke Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Die Folgen sind unter anderem Ertragseinbußen oder Intensivierung der Bewässerung. Sowohl Niedrigwasserstände in Oberflächengewässern als auch abgesenkte Grundwasserstände treten bei der hydrologischen Trockenheit auf. Negative gesellschaftliche Auswirkungen der drei oben genannten Trockenheitsarten äußern sich in einer sozio-ökonomischen Trockenheit (VAN LOON 2015). Mit zunehmender Dauer des Trockenheitsereignisses intensivieren sich diese negativen Auswirkungen. Während die meteorologische Trockenheit nur wenige Tage oder Wochen andauern kann, erstrecken sich die Auswirkungen der sozio-ökonomischen Trockenheit auf Gesellschaft und Umwelt mitunter auf einen Zeitrahmen von vielen Jahren (WILHITE & GLANTZ 1985). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es keine universelle, für alle Sektoren gleichermaßen anwendbare Definition von Trockenheit geben kann (WILHITE & GLANTZ 1985). Für ein besseres Verständnis von Trockenheit, muss daher der Bezug zu den regionalen Verhältnissen hergestellt werden (KNUTSON et al. 1998, IPCC 2012). Dabei stellen Auswirkungen ein gutes Instrument dar, um Trockenheit zu erfassen und führen somit zu einem besseren Verständnis (LLOYD-HUGHES 2014, BLAUHUT et al. 2015). Trockenheit ist entweder durch ihre physikalischen Eigenschaften (meteorologisch, landwirtschaftlich oder hydrologisch) (WILHITE & GLANTZ 1985) oder durch ihre negativen Auswirkungen auf sozio-ökonomische und ökologische Systeme definiert (BLAUHUT et al. 2015). Die vorliegende Arbeit basiert auf letzterer Definition.

Auswirkungen von Trockenheit sind vielfältig und beeinflussen unterschiedliche Gruppen und Sektoren (WILHITE & GLANTZ 1985, TALLAKSEN & VAN LANEN 2004, WILHITE 2011, BACHMAIR et al. 2015, BLAUHUT et al. 2015, NAUMANN et al. 2015, VAN LOON 2015). Sie können die Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft direkt, aber auch indirekt betreffen (Tabelle 1.1) (TALLAKSEN & VAN LANEN 2004, BLAUHUT et al. 2015, BACHMAIR et al. 2016). Die Umwelt ist zum Beispiel unmittelbar durch physikalische Größen wie Bodenfeuchte, Grundwasserstand, Seespiegel, Quellschüttung und Abfluss von Trockenheit betroffen. Trockenheit hat jedoch nicht nur direkte Auswirkungen auf die Wassermenge, sondern auch indirekt Auswirkungen auf die Wasserqualität. Dabei steigt die Konzentration der meisten Wasserinhaltsstoffe bei zunehmender Trockenheit an (TALLAKSEN & VAN LANEN 2004). Folgen sind ein erhöhter

Stress für aquatische Gemeinschaften und Einschränkungen der Wassernutzung. Weitere indirekte Auswirkungen auf die Umwelt können zum Beispiel Pflanzenwachstum, Lebensraum und Waldbrände sein. Direkte Auswirkungen, die die Wirtschaft betreffen, sind zum Beispiel Grundwasserentnahme, Oberflächenwasserentnahme und Ernteertrag. Indirekte wirtschaftliche Auswirkungen stellen beispielsweise Bewässerungs- und Haushaltswasser, Schiffbarkeit sowie Energiegewinnung durch Wasserkraft dar. Die Gesellschaft spürt Auswirkungen direkt bei der Trinkwasserversorgung und indirekt durch Konflikte zwischen Wassernutzern oder durch Gesundheitsrisiken auf Grund von Hitzestress. Trockenheit hat dann negative Auswirkungen, wenn die Werte der oben genannten Variablen niedriger, kleiner oder reduziert sind. Hierbei ausgenommen sind die indirekten gesellschaftlichen Auswirkungen.

Tabelle 1.1: Beispiele von Auswirkungen durch Trockenheit (nach TALLAKSEN & VAN LANEN 2004).

	Auswirkungen[1)]	
	direkt	indirekt
Umwelt	Bodenfeuchte Grundwasserstand Seespiegel Quellschüttung Abfluss	Wasserqualität Pflanzenwachstum Lebensraum Waldbrände
Wirtschaft	Grundwasserentnahme Oberflächenwasserentnahme Ernteertrag	Bewässerungswasser Haushaltswasser Schiffbarkeit Energiegewinnung durch Wasserkraft
Gesellschaft	Trinkwasserversorgung	Konflikte zwischen Wassernutzern Gesundheitsrisiken

[1)] Trockenheit hat dann negative Auswirkungen, wenn der Wert der Variablen niedriger, kleiner oder reduziert ist, ausgenommen die indirekten gesellschaftlichen Auswirkungen.

Trockenheit als eine Naturgefahr muss im Zusammenhang mit Risiko betrachtet werden (Abbildung 1.2) (TALLAKSEN & VAN LANEN 2004).

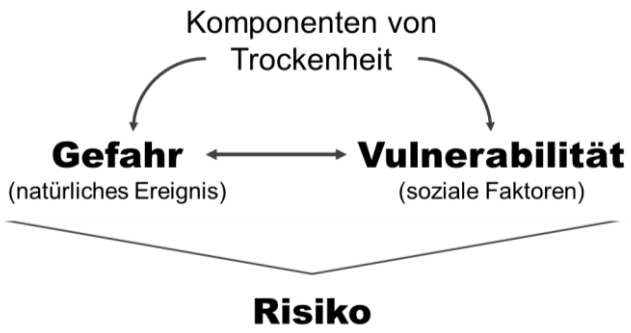


Abbildung 1.2: Komponenten von Trockenheit (verändert nach WILHITE 2000).

Risiko im Kontext von Trockenheit ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das natürliche oder menschenveränderte hydrologische System in einer Region ausfällt und dadurch die Nachfrage nach Wasser nicht gedeckt werden kann (TALLAKSEN & VAN LANEN 2004). Nach BIRKMANN et al. (2013) ist das Risiko eine kombinierte Funktion aus der Gefahr und der Vulnerabilität (Abbildung 1.2). Auch wenn Trockenheit oft als ein natürliches oder physisches Ereignis betrachtet wird, sollte diese jedoch nicht losgelöst vom gesellschaftlichen Kontext betrachtet werden (WILHITE & GLANTZ 1985). Trockenheit hat sowohl eine natürliche als auch eine soziale Komponente (Abbildung 1.2). Das mit der Trockenheit verbundene Risiko, beschreibt folglich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schäden, beziehungsweise jene negativen Auswirkungen, die sich aus dem Zusammenspiel von Trockenheitsereignissen und vulnerablen Verhältnissen ergeben (WILHITE 2000, TALLAKSEN & VAN LANEN 2004, UNISDR 2009, IPCC 2012, BIRKMANN et al. 2013). Vulnerabilität ist das immanente und dynamische Merkmal eines gefährdeten Elements (z.B. Gemeinde, Region, Infrastruktur, Umwelt), welches mögliche negative Auswirkungen durch Naturgefahren beschreibt und oft selbst davon betroffen ist (THYWISSEN 2006). Vulnerabilität ist räumlich und zeitlich dynamisch und wird sowohl durch physikalische als auch soziale, ökonomische und ökologische Faktoren beeinflusst (THYWISSEN 2006). Daher werden aufeinander folgende Trockenperioden in der gleichen Region unterschiedliche Wirkungen haben, auch wenn sie hinsichtlich Intensität, Dauer und räumlichen Eigenschaften identisch sind (WILHITE & GLANTZ 1985). Regionen mit einer hoher Trockenheitswahrscheinlichkeit, aber einer geringen Vulnerabilität, weisen ein geringes Risiko auf, wohingegen Regionen mit einer hohen Trockenheitswahrscheinlichkeit und einer hohen Vulnerabilität ein hohes Risiko aufweisen (TALLAKSEN & VAN LANEN 2004). Die Auswirkungen von Trockenheit hängen von komplexen Wechselwirkungen zwischen dem natürlichen Ereignis und den sozio-ökonomischen Faktoren ab.

Bei der Reaktion auf ein Trockenheitsereignis kann im Allgemeinen nach ROSSI (2000) zwischen dem reaktiven und dem proaktiven Ansatz unterschieden werden. Im Rahmen des reaktiven Ansatzes (bzw. des akuten Risikomanagement) werden Maßnahmen konzipiert und umgesetzt, sobald ein Trockenheitsereignis eintritt und dessen Auswirkungen wahrgenommen werden. Dabei umfasst dieser Ansatz die Maßnahmen während und nach einem Trockenheitsereignis, um die Auswirkungen von Trockenheit zu minimieren. Oft wird der reaktive Ansatz als Krisenmanagementansatz bezeichnet, da er nicht auf konkreten, im Voraus erstellten Plänen beruht. Obwohl der reaktive Ansatz nach wie vor die häufigste Reaktion auf Trockenheitsereignisse darstellt, besteht ein zunehmendes Bewusstsein für dessen Schwächen. Beispielsweise

beinhaltet der Ansatz Entscheidungen, die in letzter Minute getroffen werden und die in der Regel zu kostenintensiven Maßnahmen mit nicht nachhaltigen, ökologischen und sozialen Auswirkungen führen. Im Gegensatz zum reaktiven Ansatz besteht der proaktive Ansatz (bzw. die langfristige Risikovorsorge) aus Maßnahmen, die nach einer Planungsstrategie und nicht in einem Notfallrahmen konzipiert und aufbereitet werden. Solche Maßnahmen werden vor, während und nach einer Trockenheit, beispielsweise auf der Grundlage eines Trockenheitsplanes, konzipiert und umgesetzt. In diesem Zusammenhang ist das Risikomanagement und die Risikovorsorge Voraussetzung für die Kommunikation von Risiken. Sie ist außerdem vor allem notwendig, um negative Auswirkungen durch Trockenheit abzuschwächen und vorbeugende Maßnahmen zu planen (IPCC 2012, FEKETE et al. 2014).

Als Werkzeug, um das Risiko von Trockenheit zu minimieren und Planungsstrategien zu entwickeln, kann die Analyse und Bewertung der Vulnerabilität angesehen werden (WILHELMI & WILHITE 2002, FEKETE et al. 2014, DE STEFANO et al. 2015). Nach FEKETE et al. (2014) ist die Vulnerabilität der Schlüssel zum Verständnis von Naturkatastrophen. Auch wenn nur wenig zur Verhinderung der natürlich auftretenden Naturgefahr unternommen werden kann, können Maßnahmen zur Verringerung der gesellschaftlichen Vulnerabilität gegenüber Trockenheit und somit zur Stärkung der Resilienz getroffen werden (BACHMAIR et al. 2015). Resilienz beschreibt die Fähigkeit eines Systems (z. B. einer Gemeinde, Region oder Infrastruktur), das Gefahren ausgesetzt ist, standzuhalten, abzufedern, sich den Auswirkungen einer Gefährdung rechtzeitig und effizient anzupassen und sich davon zu erholen, einschließlich der Erhaltung und Wiederherstellung grundlegender Strukturen und Funktionen (UNISDR 2009).

Für die Beurteilung der Vulnerabilität einer bestimmten Region oder eines bestimmten Sektors wurden in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Konzepten entwickelt (IPCC 2012). Sie sind in unterschiedlichen Bereichen verankert, wie zum Beispiel in der Sozialökologie, in der Wirtschaft, im Risikomanagement und in der Risikovorsorge sowie in der Anpassung an den Klimawandel. Das „pressure and realease (PAR)“-Modell (WISNER et al. 2004) ist vor allem bei der sozialwissenschaftlichen Vulnerabilitätsforschung verbreitet; sozialökologische Konzepte betonen die Notwenigkeit, sich auf gekoppelte Systeme zwischen Mensch und Umwelt zu konzentrieren (TURNER et al. 2003) und das MOVE-Modell unterstreicht die multidimensionale und ganzheitliche Perspektive der Vulnerabilität (BIRKMANN et al. 2013).

Eines der bekanntesten Konzepte beschreibt Vulnerabilität als eine Funktion der Exposition (exposure), der Sensitivität (sensitivity) und der Anpassungsfähigkeit (adaptive capacity) (Abbildung 1.3) (SMIT & WANDEL 2006, IPCC 2007, BHATTACHARYA & DAS 2007, FONTAINE

& STEINEMANN 2009, IONESCU et al. 2009). Dabei bestimmen die Exposition und die Sensitivität die potenziellen Auswirkungen, welche wiederum, zusammen mit der Anpassungsfähigkeit, die Vulnerabilität gegenüber Trockenheit definieren. Dieses Konzept schließt externe Umwelteinflüsse mit ein. Dabei ist die Größe und Häufigkeit der potenziellen Auswirkungen in der Vulnerabilität zu berücksichtigen. Bei dieser Sichtweise liegt der Fokus auf langfristigen Entwicklungen und Belastungen und nicht etwa auf aktuellen Gefahrenvorhersagen.

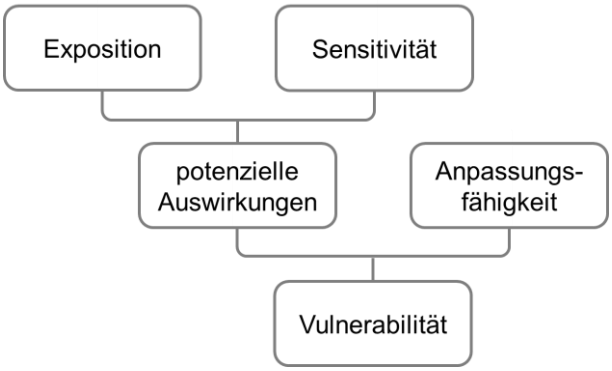


Abbildung 1.3: Komponenten der Vulnerabilität (verändert nach IPCC 2007, FONTAINE & STEINEMANN 2009).

Die drei Vulnerabilitätskomponenten können nach SMIT & WANDEL (2006), BHATTACHARYA & DAS (2007), IPCC (2012) und BIRKMANN et al. (2013) wie folgt definiert werden:

- Die Exposition basiert auf der Häufigkeit und dem Schweregrad der Trockenheit. Der Schweregrad umfasst Größe, Dauer und räumliche Ausdehnung. Diese wird größtenteils als Schnittstelle zwischen der Vulnerabilität und der Naturgefahr, bzw. als dritte Größe neben der Vulnerabilität und der Naturgefahr angesehen. Dementsprechend wird die Exposition teilweise der Vulnerabilität oder teilweise der Naturgefahr zugeordnet.
- Die Sensitivität wird durch Faktoren erfasst, die wesentliche, sozio-ökonomische und ökologische Eigenschaften beleuchten. Diese beschreiben den aktuellen Zustand des Systems und können nicht kurz- oder mittelfristig geändert werden.
- Die Anpassungsfähigkeit wird dagegen durch Faktoren erfasst, die auch kurz- und mittelfristig modifiziert werden können. Diese beschreiben die Fähigkeit, potentielle Schäden, bzw. negative Auswirkungen zu bewältigen und abzufangen, verursachte Schäden aktueller oder vergangener Ereignisse zu kompensieren und aus der Vergangenheit zu lernen, um eine höhere Widerstandsfähigkeit zu entwickeln, um die Vulnerabilität zu reduzieren.

Da die Faktoren, die die Vulnerabilität gegenüber Trockenheit ausmachen, jedoch je nach Region und Sektor sehr unterschiedlich sein können, ist es schwierig, ein einheitliches Konzept für die Analyse der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit festzulegen. Trotz der vielfältigen Vulnerabilitätsdefinitionen und -konzepte, die in der Risikoforschung verwendet werden, besteht ein Konsens darin, dass zwei Komponenten für die Analyse der Vulnerabilität zu berücksichtigen sind (ZEBISCH et al. 2005, IPCC 2012, BIRKMANN et al. 2013). Zum einen die Sensitivität eines Systems (z. B. einer Gemeinde, Region oder Infrastruktur) und den daraus resultierenden potenziellen Auswirkungen und zum anderen die Anpassungsfähigkeit. Beide Komponenten hängen von sozio-ökologischen und sozio-ökonomischen Faktoren und Veränderungen in der Umwelt ab und werden in der vorliegenden Arbeit näher untersucht. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den Eigenschaften des durch Trockenheit betroffenen Systems und nicht auf der Betrachtung der Trockenheitsereignisse oder der Naturgefahr.

Wie bereits anfangs erwähnt, ist Trockenheit eine der tödlichsten und kostspieligsten Naturgefahren. Sie ist allgegenwärtig, denn fast alle Regionen der Welt können von außergewöhnlicher Trockenheit betroffen sein (BRYANT 2005). Obwohl sich der Klimawandel in Mitteleuropa nicht so stark bemerkbar macht wie in anderen Regionen der Welt, ist auch Deutschland von Klimaveränderungen betroffen (KASPAR et al. 2017). Wie vulnerabel Deutschland gegenüber Klimaveränderungen ist, zeigen Extremereignisse am deutlichsten (MUDELSEE 2017). Studien belegen, dass in Zukunft Extremereignisse, wie Starkniederschläge und Trockenperioden, in Deutschland häufiger und extremer auftreten werden (JONAS et al. 2005, BECK et al. 2007). Trotz der Unsicherheiten bei der zukünftige Entwicklung von Hochwasserereignissen und Starkniederschlägen, ist der Temperaturtrend in Deutschland umso deutlicher: Der Sommer in Deutschland ist in den letzten 130 Jahren im Schnitt 1,2 Grad Celsius wärmer geworden (KASPAR et al. 2017). Auch Hitzewellen dauern heute dreimal so lange an. Ihre Anzahl könnte bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu fünf Ereignisse pro Jahr in Norddeutschland und um bis zu dreißig Ereignisse pro Jahr in Süddeutschland zunehmen (DEUTSCHLÄNDER & MÄCHEL 2017). Untersuchungen haben bestätigt, dass das in Süddeutschland liegende Bundesland Baden-Württemberg immer häufiger von Hitzewellen und damit einhergehenden Trockenheit betroffen ist (HENNEGRIFF et al. 2008, BRASSEUR et al. 2017). In manchen Regionen in Baden-Württemberg war 2015 der trockenste und 2003 der zweittrockenste Sommer seit fünfzig Jahren (HENNEGRIFF et al. 2008, STÖLZLE & STAHL 2011). Solche Extremereignisse führten dazu, dass sich ein zunehmendes Bewusstsein für Trockenheit und deren negativen Auswirkungen entwickelt hat (STÖLZLE & STAHL 2011, EEA 2012). Um dieses Bewusstsein weiter zu stärken

und die Trockenheitsforschung zu verbessern, wurden in den letzten zehn Jahren verschiedenen Monitoring- und Informationssysteme entwickelt (WILHITE & KNUTSON 2008, FEKETE et al. 2014, BLAUHUT et al. 2015). Die Überwachung von Trockenheit wird in Europa auf verschiedenen Skalen durchgeführt (FEKETE et al. 2014). Folgende Monitoring- und Informationssysteme können beispielhaft für Europa genannt werden:

- Trockenheitsinformationen: *European Drought Center, Trockenheit Schweiz*
- Trockenheitsmonitoring: *European Drought Observatory, German Drought Monitor, Trockenheitsmonitor Schweiz*
- Trockenheitsauswirkungen: *European Drought Impact Report Inventory*

Für die vorliegende Arbeit ist vor allem das „European Drought Impact Report Inventory" (EDII) von Interesse. Dabei wurde Wissen über historische und gegenwärtigere Auswirkungen von Trockenheit in Europa zusammengestellt (STAHL et al. 2015) sowie 15 Auswirkungskategorien und über 100 Auswirkungstypen definiert (BLAUHUT et al. 2015). Das Ziel des EDII ist vor allem eine sektorenübergreifende Forschung zu Vulnerabilität und Risiko (STAHL et al. 2015, STAHL et al. 2016). Nicht nur auf europäischer Ebene besteht die Notwenigkeit, einer gemeinsamen Forschung zum Thema Trockenheit, sondern auch verstärkt in Deutschland (FEKETE et al. 2014). Dieses Jahr wurde zum Beispiel in Baden-Württemberg auf Initiative des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst das „Netzwerk Wasserforschung Baden-Württemberg" gegründet. Dabei soll die Wasserforschung von 14 Hochschulen im Land interdisziplinär und standortübergreifend miteinander vernetzt werden. Eines der drei geförderten Netzwerke ist das Forschungsnetzwerk DRIeR (Auswirkungen, Prozesse und Widerstandsfähigkeit im Zusammenhang mit Trockenperioden). Eines der Ziele soll dabei sein die bislang oft unsichtbaren Trockenheitsereignisse und deren Auswirkungen sichtbar zu machen.

Viele Regionen in Baden-Württemberg sind immer häufiger von Trockenheit betroffen (HENNEGRIFF et al. 2008). Laut EDII waren in Baden-Württemberg im Jahr 2015 vor allem der Sektor Landwirtschaft und Viehzucht und der Sektor öffentliche Trinkwasserversorgung von negativen Auswirkungen durch Trockenheit betroffen. Geringe Quellschüttungen führten unter anderem zu Wasserversorgungsdefiziten. Dabei mussten kommunale Wasserspeicherreservoire mit Tanklastwagen aufgefüllt werden (VAN LANEN et al. 2016). In der Vergangenheit kam es sowohl lokal als auch regional zu quantitativen und zeitweise auch zu qualitativen Engpässen bei der Wasserversorgung (MINKE 2014, STAUDER et al. 2015, VAN LANEN et al. 2016).

Da Trinkwasser ein unverzichtbares Lebensmittel darstellt und die Wichtigkeit der Problematik durch Klimaveränderungen immer weiter zunimmt, wurde in der vorliegenden Arbeit der Sektor der öffentlichen Trinkwasserversorgung näher untersucht. Ein weiterer Grund für die Auswahl dieses Sektors, stellt die geringe Anzahl an Studien dar, die sich in der jüngsten Vergangenheit mit der Wasserversorgung in Baden-Württemberg bezüglich des Umgangs mit Trockenheit und deren Vulnerabilität beschäftigt haben. Mehrere Studien haben bereits Teilgebiete des Bundeslandes in Bezug auf die Vulnerabilität der Wasserversorgung untersucht, wie zum Beispiel STAUDER et al. (2015) für den südlichen Schwarzwald und SIEHR & MAHLER (2014) für die Region Stuttgart. Für ganz Baden-Württemberg wurde jedoch noch keine Untersuchung zum Umgang mit Trockenheit und der Analyse der Vulnerabilität der Wasserversorger für Trockenheit durchgeführt. Außerdem wurden bislang vor allem die Strukturen der Wasserversorgung auf Klimaveränderungen untersucht. Mehrere Studien zeigen jedoch, dass die Befragung von Akteuren wesentlich dazu beiträgt, negative Auswirkungen auf Grund von Trockenheit besser zu verstehen (KRUSE et al. 2010, STÖLZLE & STAHL 2011, KRUSE & SEIDL 2015). Daher ist es sinnvoll die Sicht der Betroffenen mit in die Trockenheitsforschung einzubinden (STÖLZLE & STAHL 2011). Um diese Forschungslücken zu schließen, untersucht die vorliegende Arbeit im Rahmen des neuen Forschungsnetzwerks DRIeR den Umgang der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg mit Trockenheit. Die in diesem Zusammenhang durchgeführte Befragung der Wasserversorger soll Grundlage für eine Analyse der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit schaffen.

1.2. Forschungsfragen und Zielsetzung

Aus den aufgezeigten Forschungslücken können folgende Forschungsfragen für die öffentliche Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg in Bezug auf Trockenheit abgeleitet werden:

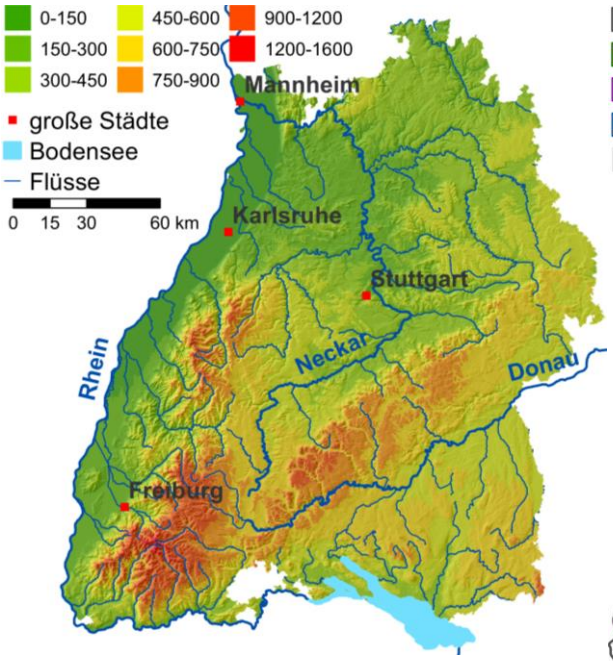
- Wie stark waren Wasserversorger in den letzten 16 Jahren von negativen Auswirkungen auf Grund von Trockenheit betroffen?
- Haben negative Auswirkungen auf Grund von Trockenheit Wasserversorger veranlasst, sowohl reaktive Maßnahmen zum akuten Risikomanagement, als auch proaktive Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge zu ergreifen?
- Welche Aussagen können mit Hilfe der Umfrage hinsichtlich der Vulnerabilität, beziehungsweise der Komponenten der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit getroffen werden?

Zur Überprüfung der genannten Forschungsfragen, wurde eine Online-Umfrage bei allen Wasserversorgern in Baden-Württemberg durchgeführt. Ziel dieser Umfrage war, sowohl die Gewinnung neuer Erkenntnisse zum Umgang der Wasserversorger in Baden-Württemberg mit Trockenheit, als auch die Spezifizierung der Vulnerabilität durch Trockenheit mit Hilfe des Sensitivitäts-Anpassungsfähigkeits-Ansatzes. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen schlussendlich genutzt werden, um die angewandte Methode der Analyse von Vulnerabilität zu bestätigen und zu prüfen, ob diese Methode für den Sektor der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg geeignet ist.

2. Untersuchungsgebiet

2.1. Räumliche Gliederung

Im Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg leben auf knapp 36.000 Quadratkilometern rund 10,88 Millionen Menschen (STATISTISCHES LANDESAMT BW 2016). Damit ist Baden-Württemberg sowohl von der Fläche als auch von der Bevölkerungszahl das drittgrößte Bundesland Deutschlands. Neben den vier größten Städten, Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe und Freiburg (Karte 2.1), gibt es in Baden-Württemberg einen ausgeprägten, ländlichen Raum. Über 53% der baden-württembergischen Kommunen haben weniger als 5.000 Einwohner (STATISTISCHES LANDESAMT BW 2016). Das Bundesland ist in fünf hierarchisch geordneten Ebenen gegliedert (Karte 2.2). Diese unterteilen sich in vier Regierungsbezirke (Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg und Tübingen), zwölf Regionen, 35 Land- und 9 Stadtkreise sowie 1101 Kommunen. Außer den genannten administrativen Ebenen gibt es zahlreiche interkommunale Kooperationen in Form von Gemeinde- und Zweckverbänden.

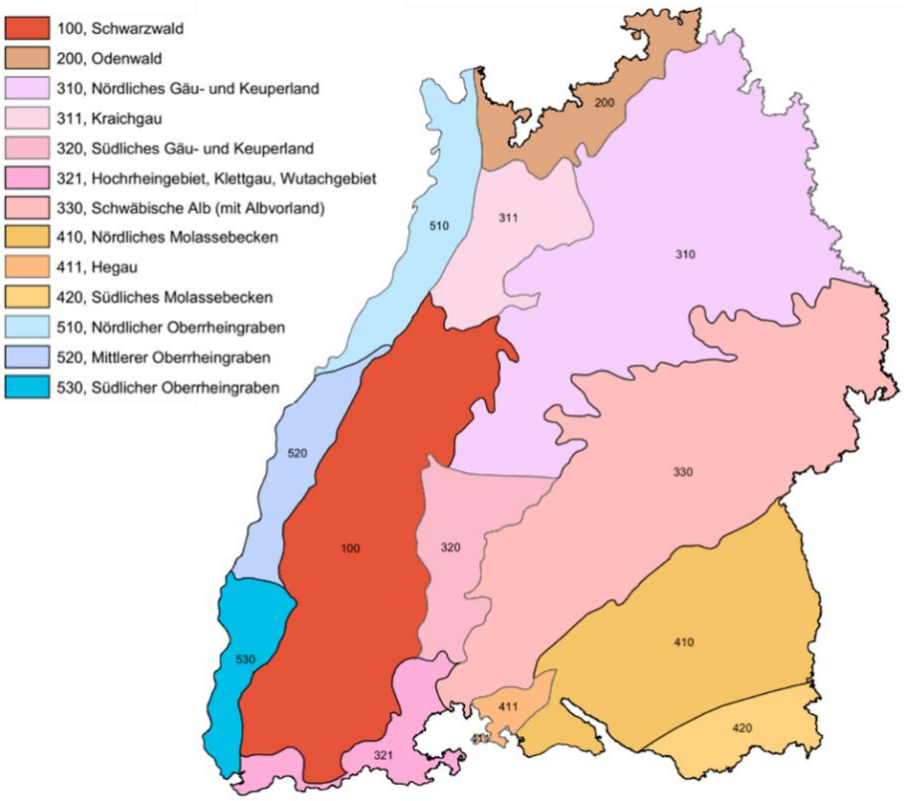


Karte 2.1: Orohydrographische Karte Baden-Württembergs (Topographie [m ü. NN] und die wichtigsten fließenden und stehenden Gewässer) zusammen mit den vier größten Städten (WABOA 2012).

Karte 2.2: Administrative Einheiten von Baden-Württemberg (LGL 2015).

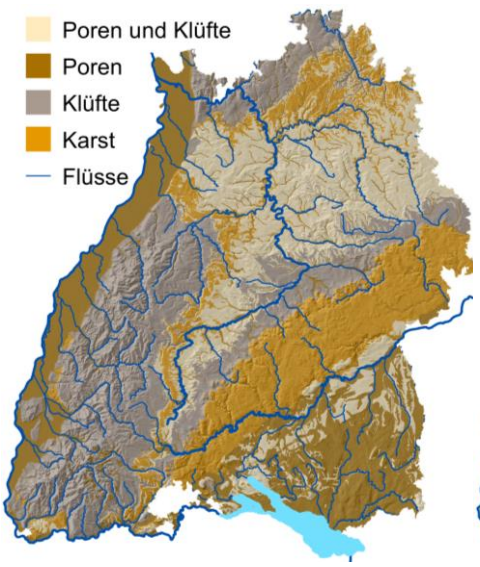
Die orohydrographische Karte Baden-Württembergs (Karte 2.1) stellt das oberirdische Gewässernetz mit seinen wichtigsten fließenden und stehenden Gewässern und die Topographie dar. Die bedeutendsten Fließgewässer sind Rhein, Neckar und Donau. Seen, die zur Trinkwasserversorgung genutzt werden, sind der Bodensee und die Talsperre Kleine Kinzig bei Freudenstadt. Im Untersuchungsgebiet kann zwischen acht farblich differenzierte Höhenstufen von unter 150 bis über 1200 m ü. NN differenziert werden (Karte 2.1) (WABOA 2012). Die höchste Erhebung des Landes ist der Feldberg (1493 m ü. NN) im Hochschwarzwald. Der tiefste Punkt liegt am Rhein an der Landesgrenze zu Hessen und Rheinland-Pfalz (90 m ü. NN) (WABOA 2012). Die Oberrheinische Tiefebene und die Höhenzüge des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb stellen die markantesten Erscheinungen dar (Karte 2.1).

Baden-Württemberg kann auf Grund der verschiedenen Gesteinseinheiten räumlich gegliedert werden. Diese Gliederung gibt die lithostratigraphische Karte wieder (Karte 2.3). Zusammengefasst kann Baden-Württemberg in die Einheiten Oberrheingraben, Schwarzwald, Odenwald, Kraichgau, Gäu- und Keuperland, Schwäbische Alb und das am Alpenrand liegende Molassebecken unterteilt werden.

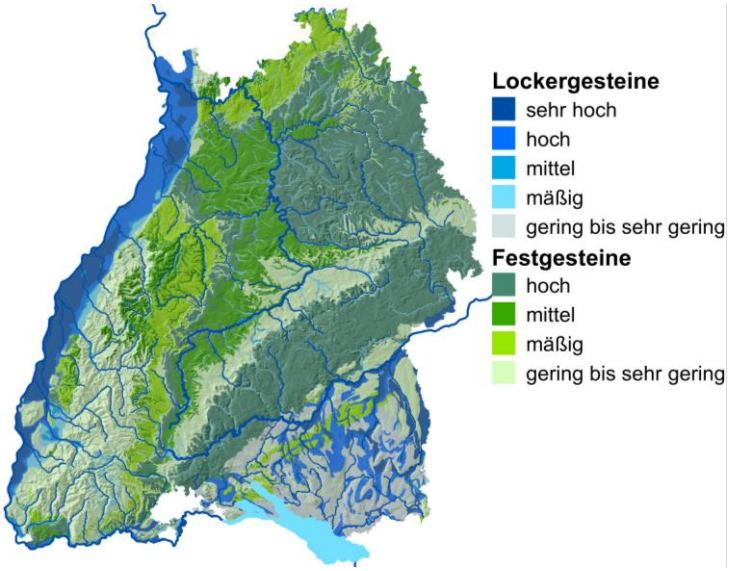


Karte 2.3: Lithostratigraphische Regionen Baden-Württembergs (Nummer, Region) (LGRB 2004).

Die hydrogeologische Karte (Karte 2.4) gibt Auskunft über die Art der Hohlräume im Gestein, die für die Grundwasserbewegung relevant sind. Es wird zwischen Poren-, Kluft- und Karsthohlräumen unterschieden. Die Grundwasserleiter der Locker- und Festgesteine (Karte 2.5) weisen für Baden-Württemberg unterschiedliche Arten von Ergiebigkeit auf. Der Oberrhein ist mit tertiären und quartären Flussschottern aufgefüllt und hat eine hohe bis sehr hohe Grundwasserergiebigkeit. Weniger ergiebige Grundwasserleiter stellen zum Beispiel der Schwarzwald, die nördlichen Ränder der Schwäbischen Alb und Teile des Molassebeckens sowie die Gebiete mit Kluft-Karstgrundwasserleitern dar.



Karte 2.4: Hydrogeologie Baden-Württembergs (WABOA 2012).



Karte 2.5: Grundwasserergiebigkeit Baden-Württembergs (WABOA 2012).

2.2. Struktur der öffentlichen Trinkwasserversorgung

In Deutschland gibt es fast 6000 öffentliche Trinkwasserversorger (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015a). Allein 1325 Wasserversorger (22%) haben ihren Sitz in Baden-Württemberg. Im Jahr 2013 haben die Menschen in Baden-Württemberg rund 116 Liter pro Einwohner und Tag verbraucht. Damit liegt der Verbrauch in Baden-Württemberg unter dem bundesweiten Tageswert (121 Liter pro Einwohner). In Baden-Württemberg wurden 2013 über 608 Millionen Kubikmeter Wasser durch öffentliche Wasserversorger gewonnen (Abbildung 2.1). Die Wassergewinnung setzt sich über die Hälfte aus Grundwasser, knapp ein Viertel aus See- und Talsperrenwasser und über ein Fünftel aus Quellwasser zusammen. Uferfiltrat und angereichertes Grundwasser spielen dabei eine unbedeutende Rolle.

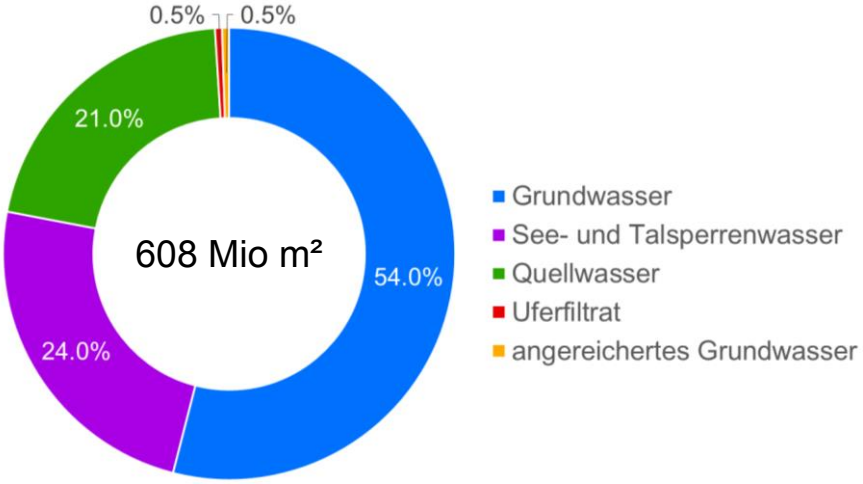


Abbildung 2.1: Wassergewinnung durch öffentliche Wasserversorger in Baden-Württemberg (regionale Gliederung nach Standort der Gewinnungsanlage) (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015b).

Folgende Definitionen des STATISTISCHES BUNDESAMT (2015a) wurden für die vorliegende Arbeit verwendet:

- Grundwasser gilt als das unterirdisch anstehende Wasser, ohne Uferfiltrat und angereichertes Grundwasser.
- Quellwasser ist der örtlich begrenzte natürliche Grundwasseraustritt, auch nach künstlicher Fassung, allerdings ohne Überlaufwasser.
- Uferfiltrat ist Wasser, das den Wassergewinnungsanlagen durch das Ufer eines Flusses oder Sees im Untergrund nach Bodenpassage zusickert und sich mit dem anstehenden Grundwasser vermischt.
- Angereichertes Grundwasser besteht überwiegend aus planmäßig versickertem Oberflächenwasser, echtem Grundwasser und gegebenenfalls Uferfiltrat.

Die Wasserversorger lassen sich auf Grund der Art des Wasseraufkommens in drei Gruppen unterteilen (Abbildung 2.2 a). Das Wasseraufkommen ist die Summe aus Eigengewinnung plus Fremdbezug, die einem Wasserversorger zur Verfügung steht. Ein Viertel der Wasserversorger gewinnt Wasser ausschließlich aus Eigengewinnung, bzw. aus ortsnahen Wasservorkommen. Über ein Drittel der Wasserversorger bezieht Wasser ausschließlich aus Fremdbezug, das heißt von einem anderen Wasserversorger. Ein Großteil der Wasserversorger gewinnt, bzw. bezieht Wasser sowohl aus Eigengewinnung als auch aus Fremdbezug. Fast drei Viertel des Wasseraufkommens geben die Wasserversorger ausschließlich zum Letztgebrauch ab (Abbildung 2.2 b),

d.h. das Wasser wird an Endkunden abgegeben und nicht an andere Wasserunternehmen weiterverteilt. Nur knapp ein Fünftel geben die Wasserversorger ausschließlich zur Weiterleitung

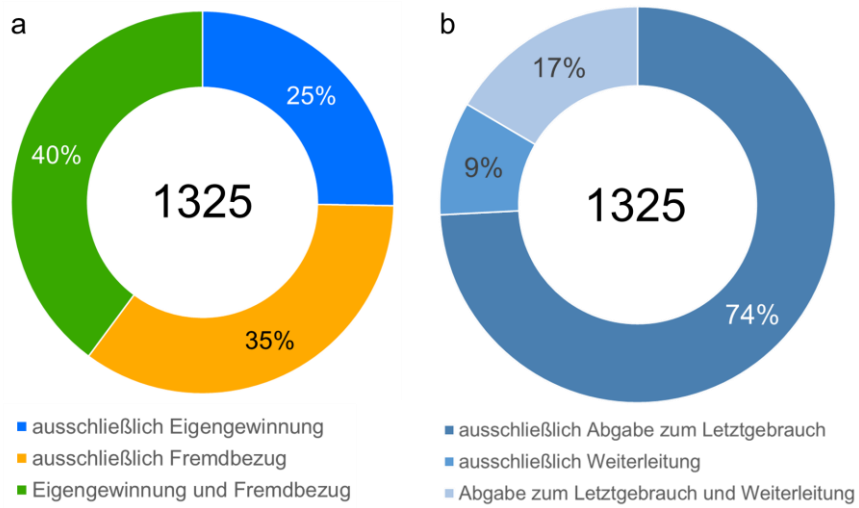


Abbildung 2.2: Anzahl der Wasserversorger nach (a) der Art des Wasseraufkommens und nach (b) der Art der Wasserabgabe (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015b).

und weniger als ein Zehntel zum Letztgebrauch und zur Weiterleitung ab. Die öffentlichen Wasserversorger haben in Baden-Württemberg im Jahr 2013 rund 450 Millionen Kubikmeter Trinkwasser an Haushalte und Kleingewerbe zum Letztgebrauch abgegeben. Haushalte und Kleingewerbe umfassen private Haushalte, Kleingewerbe und sonstige Kleinabnehmer, wie zum Beispiel Bäckereien, Metzgereien, Arztpraxen oder Rechtsanwaltskanzleien (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015b). Die Versorgung von privaten Haushalten mit Trinkwasser ist die Hauptaufgabe der öffentlichen Wasserversorger (Abbildung 2.3).

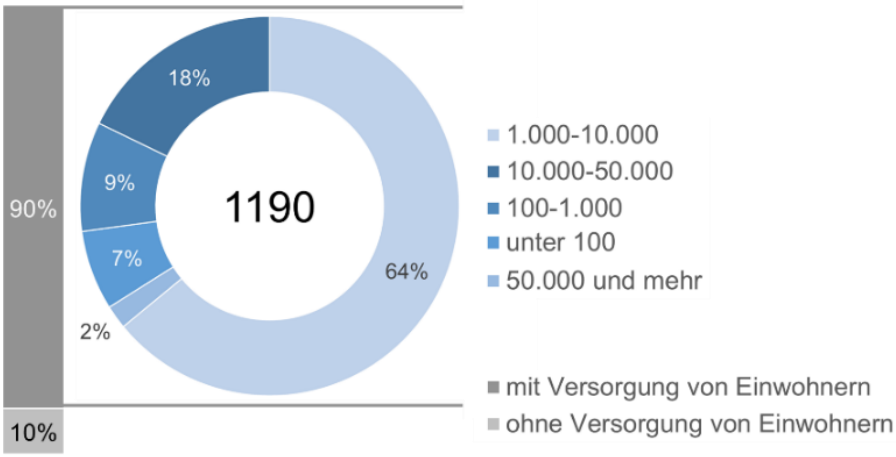
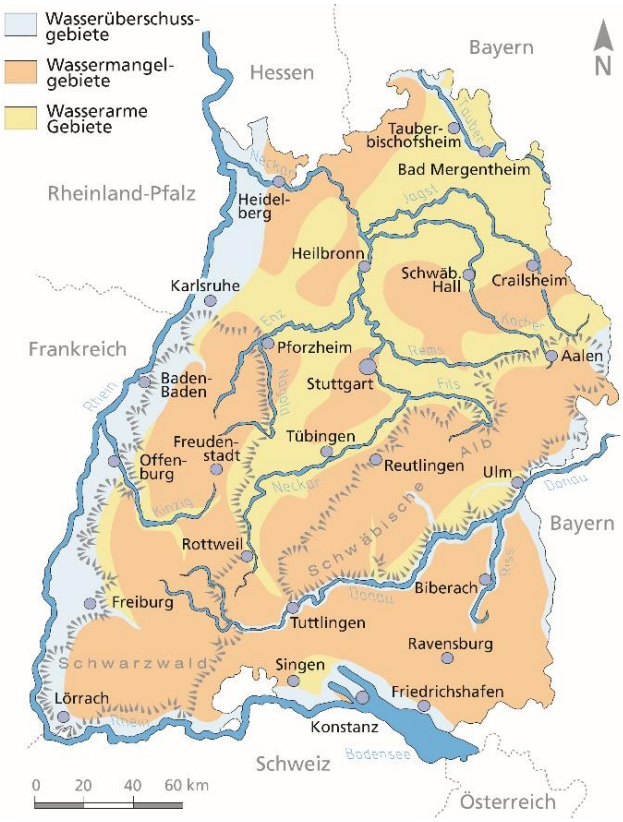


Abbildung 2.3: Wasserversorger ohne und mit Versorgung von Einwohnern. Mit Versorgung von Einwohnern: nach Größenklassen sortiert [von… bis unter…] (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015b).

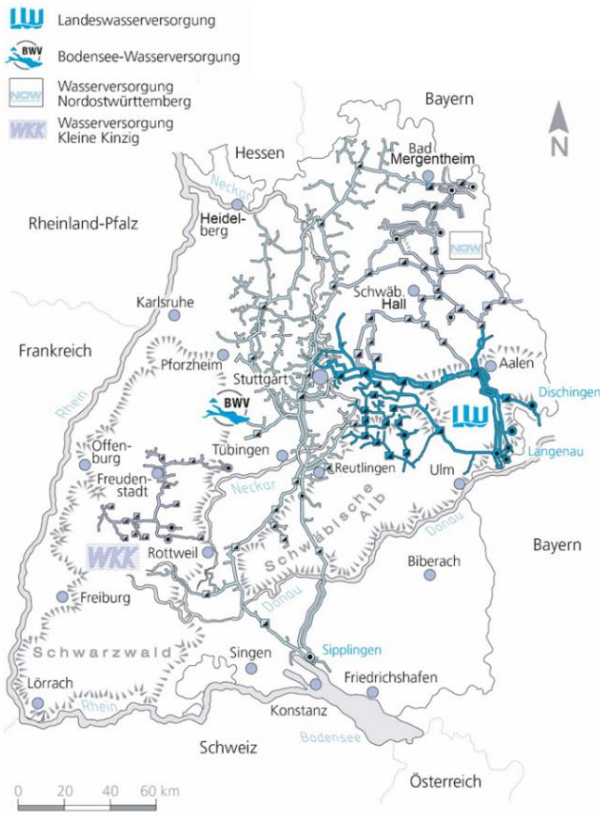
Nur ein sehr geringer Anteil der Wasserversorger versorgt keine privaten Haushalte, sondern ausschließlich gewerbliche oder industrielle Wasserverbraucher. In der vorliegenden Arbeit werden nur Wasserversorger betrachtet, die Einwohner, bzw. Haushalte und Kleingewerbe, mit Trinkwasser versorgen. Fast zwei Drittel der Wasserversorger in Baden-Württemberg versorgt eine Anzahl von 1.000 bis 10.000 Einwohnern (Abbildung 2.3). Knapp ein Fünftel versorgen 10.000-50.000 Einwohner und nur eine geringe Anzahl von Wasserversorgern versorgen unter 100, 100-1.000 oder 50.000 und mehr Einwohner.

Auch wenn Baden-Württemberg ein wasserreiches Land ist und nur ein geringer Anteil der verfügbaren Wasserressourcen für die öffentliche Trinkwasserversorgung genutzt wird (MINKE 2014), sind diese räumlich sehr ungleich verteilt. Dabei kann Baden-Württemberg in Wassermangel- und Wasserüberschussgebiete unterteilt werden (Karte 2.6). Wasserreiche Gebiete kommen vor allem entlang des Rheins, der Donau und des Bodensees vor. Wohingegen Wassermangelgebiete vor allem auf der Schwäbischen Alb, im Schwarzwald und im mittleren Neckarraum auftreten. Um einen Ausgleich in den Wassermangelgebieten zu schaffen, hat sich langfristig ein weit verzweigtes Wasserversorgungsnetz entwickelt. Im Jahr 2013 waren insgesamt 99,6% der Bevölkerung an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015a). Dieses Versorgungsnetz lässt sich in drei Säulen gliedern. Die kommunal geführten Wasserversorger stellen die erste Säule der Trinkwasserversorgung dar. Dabei wird die Hälfte des Wasserbedarfs von über 1000 kommunalen Wasserversorgern durch ortsnahe Wasservorkommen abgedeckt (HOFMANN 2009). Vor allem in Wassermangelgebieten wird die Wasserversorgung durch interkommunale Kooperationen, in Form von Gruppenwasserversorgern, Gemeinde- und Zweckverbänden und durch überregionale Fernwasserversorger ergänzt. Die Gruppenwasserversorger decken ein Fünftel des Wasserbedarfs ab, die Fernwasserversorger fast ein Drittel. Im Folgenden wird der Begriff ‚Gruppenwasserversorger' stellvertretend für alle interkommunalen Kooperationen verwendet.

In Baden-Württemberg gibt es vier Fernwasserversorger: die Bodenseewasserversorgung, die Landeswasserversorgung, die Wasserversorgung Nordostwürttemberg und die Wasserversorgung Kleine Kinzig. Deren weit verzweigtes Leitungsnetz erstreckt sich über große Teile Baden-Württembergs (Karte 2.7). Zusammen versorgen Sie über 7,8 Millionen Einwohner mit Trinkwasser.



Karte 2.6: Wasserreiche und wasserarme Gebiete in Baden-Württemberg (ZVLW 2016).



Karte 2.7: Leitungsnetz der vier Fernwasserversorger in Baden-Württemberg (ZVLW 2016).

Bei der Untersuchung der öffentlichen Trinkwasserversorgung müssen außerdem folgende rechtliche Grundlagen beachtet werden:

- Die öffentliche Trinkwasserversorgung ist nach § 50 Abs. 1 des Wasserhaushaltgesetzes eine Aufgabe der Daseinsvorsorge.
- Die öffentliche Trinkwasserversorgung ist traditionell eine kommunale Aufgabe im Bereich der kommunalen Selbstverwaltung (Art. 28 Abs. 2 des Grundgesetzes).
- Der Wasserbedarf der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist nach § 50 Abs. 2 des Wasserhaushaltgesetzes vorrangig aus ortsnahen Wasservorkommen zu decken.
- Der Schutz der Wasservorkommen ist durch Wasserschutzgebiete nach § 51 des Wasserhaushaltgesetzes geregelt. In Baden-Württemberg gibt es über 2600 Wasserschutzgebiete, die über ein Viertel der Landesfläche ausmachen (WABOA 2012).

3. Methoden

3.1. Komponenten der Vulnerabilität

Wie und ob der Sektor der öffentlichen Trinkwasserversorgung gegenüber negativen Auswirkungen von Trockenheit vulnerabel ist, hängt grundsätzlich von der Sensitivität und den daraus resultierenden potenziellen Auswirkungen sowie von der Fähigkeit, sich an veränderte Bedingungen anzupassen ab (vgl. 1.1). Für ein besseres Verständnis dieser beiden Komponenten wurden Wasserversorger in Baden-Württemberg befragt und somit in die Trockenheitsforschung miteingebunden (vgl. STÖLZLE & STAHL 2011). Im folgenden Absatz wird beispielhaft gezeigt, welche Faktoren zur Erfassung der Sensitivitätskomponente und der Anpassungsfähigkeitskomponente verwendet wurden.

Die Sensitivität wurde mit Faktoren erfasst, die den Zustand der öffentlichen Trinkwasserversorgung beleuchten. Diese Faktoren können nicht kurz- oder mittelfristig geändert werden. Dazu gehören unter anderem die Struktur des Wasserversorgers (Eigenwasser und/oder Fremdbezug), Zusammensetzung des Trinkwassers (Grundwasser, Quellwasser, Oberflächenwasser), jährliche Wasserabgabe und Anzahl der versorgten Einwohner. Die daraus resultierenden potenziellen Auswirkungen wurden mit der Frage, ob die Wasserversorger zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgreifen mussten, abgefragt. Dabei wurde nach dem Zeitraum des ‚Umschaltens' gefragt und ob dies auf Grund von Wasserquantitäts- oder Wasserqualitätsgründen geschah. Die Anpassungsfähigkeit wurde dagegen mit Faktoren erfasst, die auch kurz- und mittelfristig modifiziert werden können. Diese beschreiben die Fähigkeit, negative Auswirkungen auf die Wasserversorgung auf Grund von Trockenheit zu bewältigen und abzufangen. Zu dieser Kategorie gehören zum Beispiel Maßnahmen zur Risikovorsorge und zum Risikomanagement, Nutzung von Informations- und Monitoringsystemen (u. a. Nutzung von (internen) Grenzwerten) und Risikobewusstsein gegenüber Trockenheit.

Die Zuordnung der Faktoren ist jedoch nicht immer eindeutig. Zum Beispiel stellt das ‚Umschalten' auf eine andere Wasserressource zwar eine potenzielle Auswirkung dar, da die Wasserversorger auf Grund von Trockenheit ‚umschalten' mussten. Es kann jedoch auch als Faktor der Anpassungsfähigkeit angesehen werden, da die Möglichkeit besteht, bzw. diese zur Vorsorge geschaffen wurde, um ‚umschalten' zu können und so potenziellen Auswirkungen zu

vermindern. Faktoren, die der Anpassungsfähigkeit zugeschrieben werden, können andererseits auch als potenzielle Auswirkungen gesehen werden. Beispielsweise die Maßnahmen zur Risikovorsorge, wie Aktivierung von Notfassressourcen oder Aufrufen zur Wassereinsparung.

3.2. Datenerhebung

Zunächst wurden die Wasserversorger für eine quantitative Datenerhebung identifiziert. Anschließend wurde eine Online-Umfrage mit dem Ziel konzipiert, lokales Wissen der Wasserversorger zum Umgang mit Trockenheit zu gewinnen. Für eine möglichst große und repräsentative Befragung, wurde daraufhin eine Gesamterhebung durchgeführt, das heißt alle identifizierten Wasserversorger wurden im Zuge der Online-Umfrage angeschrieben. Vor der Auswertung der Daten wurden diese aufbereitet.

3.2.1 Identifizierung der Wasserversorger

Mit dem Ziel, eine vollständige Liste aller öffentlichen Wasserversorger Baden-Württembergs zusammenzustellen, wurde zustächst eine Internetrecherche durchgeführt und mehrere Behörden zu diesem Anliegen befragt.

Das Statistische Bundesamt erhebt alle drei Jahre Strukturdaten zur Wasserwirtschaft und zur öffentlichen Wasserversorgung (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015a, 2015b). Die Daten werden jedoch nach dem Erhalt anonymisiert. Das Statistische Bundesamt verpflichtet sich nach dem Bundesstatistikgesetz (§ 16) der Geheimhaltung. Daher ist eine Übermittlung von Einzelangaben mit Namen und Anschrift ausgeschlossen.

Die ‚Grundwasserdatenbank Wasserversorgung' ist Bestandteil des Grundwasserüberwachungsprogramms Baden-Württembergs. Dabei stellen Wasserversorger, die Grund- und Quellwasser für die Trinkwasserversorgung nutzen, jährlich Analysedaten zu rund 800 Messstellen zur Verfügung (GWD-WV 2016). Jedoch werden zum einen nur die beteiligten Kommunen genannt und nicht die erforderlichen Namen der Wasserversorger (z. B. wird Freiburg im Breisgau als beteiligter Wasserversorger genannt und nicht die bnNETZE GmbH). Und zum anderen sind nur die Wasserversorger aufgeführt, die Grund- und Quellwasser beziehen. Alle Wasserversorger mit anderen Trinkwasserressourcen werden in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt.

Die Untersuchungen des Trinkwassers werden in Baden-Württemberg von 38 Gesundheitsämtern überwacht. Dabei muss jedes Gesundheitsamt über eine vollständige Liste der

Wasserversorger verfügen, die in deren Land-, bzw. Standkreis liegen. In einem Anschreiben wurden alle Gesundheitsämter gebeten, für wissenschaftliche Zwecke eine Auflistung der Wasserversorger zur Verfügung zu stellen. Ein Fünftel der Gesundheitsämter ist der Bitte nachgekommen. Der Großteil der Gesundheitsämter verwies jedoch in Hinblick auf personelle Ressourcen und Datenschutzgründen auf die Regierungsbezirke und das Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR).

Eine Anfrage beim Regierungspräsidium Freiburg ergab, dass dieses nur über eine Liste der geförderten Wasserversorger verfügt. Beispielsweise zielt eine Förderung der kommunalen Wasserversorgung darauf ab, landesweite ausgewogene Wasserpreise zu erreichen (RP BW 2016). Daraufhin wurde mit Hilfe des Regierungspräsidiums Freiburg ein Antrag beim Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg gestellt. Aus Datenschutzgründen konnte jedoch keine Liste mit den Kontaktdaten der Wasserversorger übermittelt werden, sondern nur eine Liste der Namen der Wasserversorger. Zusammen mit den Namen der Wasserversorger wurde außerdem die Anzahl der versorgten Einwohner und die jährliche Abgabemenge an Trinkwasser übermittelt.

Die vom MLR übermittelte Liste der Namen von rund 800 Wasserversorgern wurde in einem letzten zeitintensiven Schritt mit Kontaktdaten, wie E-Mail-Adresse, Telefonnummer, Kontaktperson und Internetpräsenz, vervollständigt. Außerdem wurde der Sitz des Wasserversorgers mit Adresse sowie Koordinaten ergänzt. Die Koordinaten wurden mit Hilfe der Adressen in *Google Earth* (Version 7.1.7.2606) erzeugt. Dabei wurden Ortsmarkierungen gesetzt und diese als klm-Datei für die weitere Verwendung im Programm *ArcGIS* (siehe 3.3) abgespeichert.

3.2.2 Konzeption der Umfrage

Zunächst wurde ein Online-Fragebogen konzipiert (siehe Anhang A, S. 56). Der Fragebogen setzte sich aus vier Teilen zusammen. In diesem wurden Informationen (1) zu den Wasserversorgern, (2) zu Bezugsressourcen während Trockenperioden, (3) zu Maßnahmen und zu den genutzten Informations- und Monitoringsystemen sowie (4) zum Risikobewusstsein gegenüber Trockenheit abgefragt. Die Fragen bestanden hauptsächlich aus ein- oder mehrfachen Auswahlmöglichkeiten. Teilweise wurde nach zusätzlichen Informationen, wie zum Beispiel prozentuale Anteile, jährliche Wasserabgaben oder Zeitspannen gefragt. Offene Antwortmöglichkeiten wurden vor allem bei weiteren Optionen und der Kommentarspalte verwendet. Um später eine exakte räumliche Zuordnung der Wasserversorger zu ermöglichen, wurde auf eine Anonymisierung der Befragten verzichtet.

Die Umsetzung der Online-Befragung erfolgte mit Hilfe des Internet-Tools *SoSci Survey*. Dieses Tool ist für wissenschaftliche Befragungen ohne kommerziellen Hintergrund kostenlos und verfügt über eine Vielzahl hilfreicher Funktionen, wie zum Beispiel frei programmierbare Filterfragen, Durchführung eines Pretests, Versand von personalisierten Links, Rücklauf-Kontrolle und Datenübernahme, beispielsweise in das Statistikprogramm *RStudio*.

Vor dem Start der Erhebung wurde der fertige Fragebogen einem technischen Funktionstest unterzogen, um Fehler, die möglicherweise bei der Erstellung des Fragebogens entstanden sein könnten, auszuschließen. Dabei wurde vor allem darauf geachtet, dass Filterfragen einwandfrei reagierten, Fragen sauber dargestellt und Daten korrekt heruntergeladen wurden sowie der Import in das zur Auswertung verwendete Statistikprogramm erwartungsgemäß funktionierte.

Nicht nur bei der Erstellung, sondern auch beim Verständnis der Fragen kann es zu Problemen kommen. Daher wurde nach dem technischen Funktionstest bei zwei Wasserversorgern, einem privatrechtlichen Unternehmen und einem Gruppenwasserversorger, ein Face-to-Face Pretest durchgeführt. Dabei wurden persönliche Treffen vereinbart, bei denen die zuständigen Personen den Fragbogen ausgefüllt und dabei laut gedacht haben. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass die Personen unklare oder mehrdeutige Fragen identifizierten. Die Anmerkungen wurden schriftlich festgehalten. Einzelne Fragen wurden daraufhin verbessert und Bezeichnungen spezifiziert.

3.2.3 Durchführung der Umfrage

806 Wasserversorger wurden im Zuge der Online-Umfrage angeschrieben. Dabei wurden Serienmails mit personalisierten Links zum Fragebogen verschickt. Die Befragung der Wasserversorger fand zwischen dem 17. August und dem 30. September 2016 statt. Nach zwei Wochen wurde den Wasserversorgern, die den Fragebogen noch nicht geöffnet hatten, eine erste Erinnerungsmail versendet. Eine zweite Erinnerungsmail wurde nach viereinhalb Wochen versandt. Auf Grund der Sommerferien wurde die zu Anfangs angedachten vier Befragungswochen auf sechs Wochen verlängert. Neben den kommunalen Wasserversorgern und Gruppenwasserversorgern wurden außerdem die Fernwasserversorger zum Umgang mit Trockenheit telefonisch befragt. Da in den folgenden Kapiteln der Schwerpunkt auf den kommunalen Wasserversorgern und Gruppenwasserversorgern liegt, wird an dieser Stelle kurz auf die Situation der Fernwasserversorger eingegangen. Diese sehen Trockenheit nicht als Risiko, sondern vielmehr als Chance an. Für sie bedeutet Trockenheit eine höhere Wasserabnahme und somit eine Umsatzsteigerung. Der Zweckverband Wasserversorgung

Kleine Kinzig konnte beispielsweise für das Jahr 2015 seinen Planwert mit fast 5% deutlich übertreffen (WKK 2016). Bei keinem der Fernwasserversorger wurde bisher während langanhaltender Trockenperioden die maximale Auslastung erreicht. Die Wasserversorgung Nordostwürttemberg, deren Aufgabe in der Vergangenheit hauptsächlich die Verteilung von Trinkwasser war, setzt verstärkt auf örtliche Wasservorkommen, um den Eigenwasseranteil zu erhöhen. Zwischen 1998 und 2015 konnte in Zusammenarbeit mit dem Land und den Kommunen der Eigenwasseranteil von 1% auf 30% erhöht werden (NOW 2016).

3.2.4 Datenaufbereitung

Vor der Auswertung der Daten wurde der Datensatz aufbereitet. Dabei wurden (1) nur die Fragebögen verwendet, die bis zur letzten Frage ausgefüllt wurden, (2) drei doppelt ausgefüllte Fragebögen aussortiert, (3) die beiden Fragebögen des Pretests dem Datensatz hinzugefügt, (4) die im Tool *SoSci Survey* erstellten Fragebezeichnungen umbenannt, sodass für die Analyse in *RStudio* eine schnellere Zuordnung der Fragen möglich war sowie (5) die Tabelle der Umfragedaten für die Auswertung in *RStudio* und *ArcGIS* in das richtige Format (.txt) gebracht. Außerdem wurden die MLR-Daten zu versorgten Einwohnern zusätzlich für die Auswertung der Daten verwendet. Mit Hilfe der MLR-Daten zur Wasserabgabe (m^3/a) wurden die im Fragebogen angegebenen Daten zur durchschnittlichen jährlichen Wasserabgabe korrigiert. Dies war notwendig, da durch die ungünstig gewählte Einheit (Mio. m^2) rund 5% der Wasserversorger nicht plausible Werte angaben.

3.3. Datenauswertung

Für die Auswertung der Daten wurde der aufbereitete Datensatz mit dem Statistikprogramm *RStudio* (Version 0.99.903) und mit dem Geoinformationssystem *ArcGIS* (Version 10.0) zum einen deskriptiv und explorativ analysiert und zum anderen räumlich ausgewertet. Das Ziel der deskriptiven (beschreibenden) Analyse besteht darin, empirische Daten mit Hilfe von Tabellen, Abbildungen und Karten darzustellen und anhand einzelner Merkmale zu beschreiben (STELAND 2007, DORMANN 2013). Diese Methode ist vor allem für einen ersten Überblick der Daten sinnvoll. In diesem Zusammenhang wurden unter anderem Häufigkeitsverteilungen sowie Verteilungsparameter betrachtet. Die Häufigkeitsverteilungen wurden beispielsweise mit Hilfe von Kreis-, Balkendiagrammen oder Boxplots graphisch dargestellt. Neben der graphischen Darstellung wurden außerdem verschiedene Verteilungsparameter, wie zum Beispiel Lage- und

Streuungsmaße berechnet. Die explorative (erkundende) Analyse zielt zusätzlich darauf ab, Zusammenhänge, Unterschiede und Strukturen im Datensatz ausfindig zu machen (STELAND 2007, DORMANN 2013). Signifikante Zusammenhänge, bzw. Unterschiede wurden mit Hilfe einer ANOVA (Varianzanalyse), bzw. statistischer Tests geprüft, wie zum Beispiel dem Wilcox-Test (für nicht normalverteilte Daten). Während dieser systematischen Beschreibung der Daten wurden außerdem Fehler identifiziert und korrigiert. Korrigierte Daten wurden gekennzeichnet.

4. Ergebnisse

325 Trinkwasserversorger (40% der angeschriebenen Wasserversorger) haben den Online-Fragebogen beantwortet (s. Anhang B, S. 61). Im folgenden Kapitel sind mit ‚geantwortete Wasserversorger' und ‚Wasserversorger' diejenigen Wasserversorger gemeint, deren Fragebögen für die Auswertung der Ergebnisse verwendet wurden.

4.1. Sensitivitätsfaktoren

4.1.1 Charakterisierung der Wasserversorger

Zur Charakterisierung der Wasserversorger wurden diese in drei Gruppen unterteilt (vgl. 2.2 und Abbildung 2.2 a, S. 15): Wasserversorger (Kommunen und Gruppenwasserversorger (GWV)) mit ausschließlich Eigengewinnung, mit Eigengewinnung und Fremdbezug und mit ausschließlich Fremdbezug (Tabelle 4.1, Karte 4.1, Abbildung 4.1).

Tabelle 4.1: Gruppierung der geantworteten Wasserversorger (WV).

● Kommune ◆ GWV	mit Eigengewinnung
● Kommune ◆ GWV	mit Eigengewinnung und Fremdbezug
● Kommune ◆ GWV	mit Fremdbezug

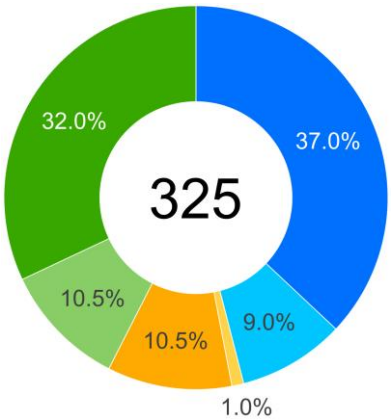
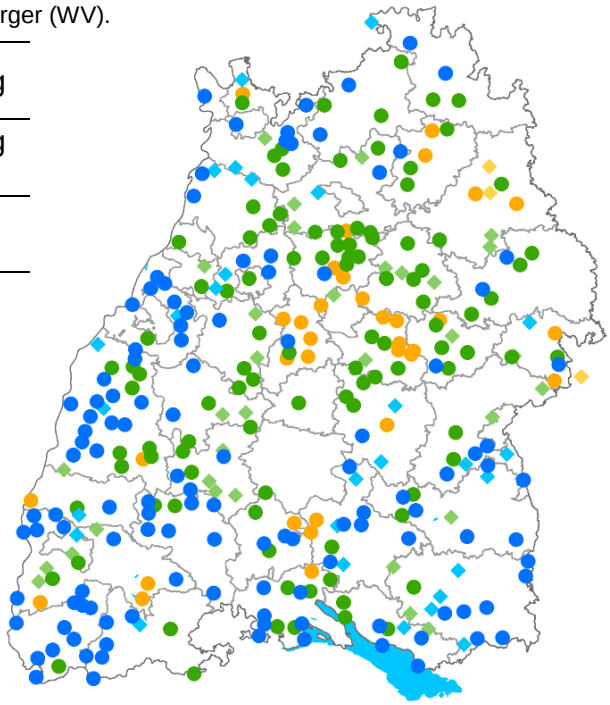


Abbildung 4.1: Anteile der gruppierten WV.

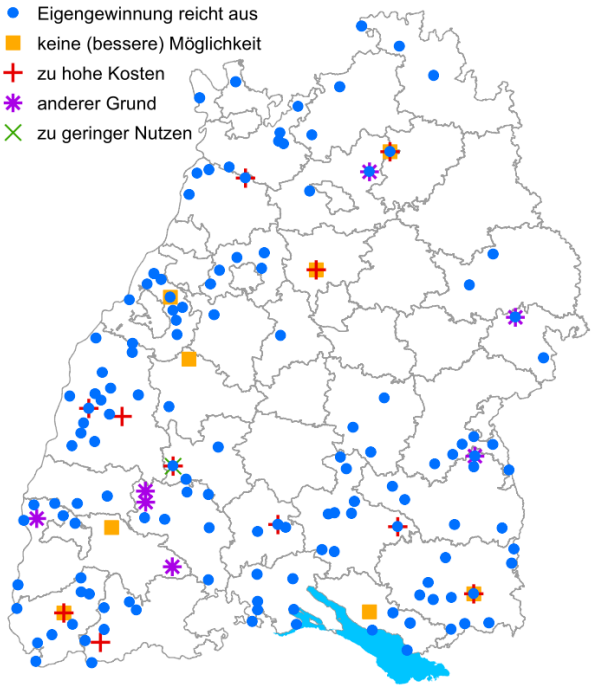


Karte 4.1: Räumliche Verteilung der WV.

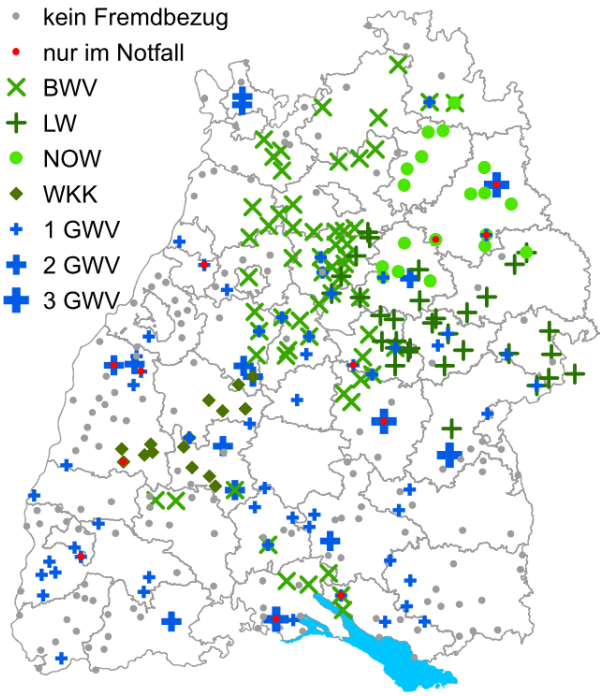
Fast die Hälfte der geantworteten Wasserversorger (46%) konnte der Gruppe Wasserversorger mit ausschließlich Eigengewinnung zugeordnet werden, etwas weniger Wasserversorger

(42,5%) bezogen, neben der Eigengewinnung, zusätzlichen Fremdbezug und ein eher geringerer Anteil (11,5%) der Wasserversorger hatte ausschließlich Fremdbezug. Kommunen vertraten die einzelnen Gruppen stärker, wohingegen die Gruppenwasserversorger den geringeren Anteil ausmachten (Abbildung 4.1). Die geantworteten Wasserversorger waren auf ganz Baden-Württemberg relativ gleichmäßig verteilt (Karte 4.1). Alle Stadt- und Landkreise, abgesehen vom Zollernalbkreis, wurden durch Wasserversorger vertreten. Einer der Trinkwasserversorger hat seinen Sitz in Bayern. Dieser wurde in der Auswertung berücksichtigt, da er auch Kommunen in Baden-Württemberg versorgt.

Die Kommunen und Verbände, die Trinkwasser ausschließlich durch Eigengewinnung bezogen, wurden nach dem Grund gefragt, warum sie an keinen Gruppen- oder Fernwasserversorger angeschlossen sind (Karte 4.2). Fast alle der geantworteten Wasserversorger (91%) gaben an,



Karte 4.2: Antworten auf die Frage warum die Wasserversorger ohne Fremdbezug nicht an einen Fern- oder Gruppenwasserversorger angeschlossen sind.



Karte 4.3: Fremdbezug der Wasserversorger (BWV: Bodenseewasserversorgung, LW: Landeswasserversorgung, NOW: Wasserversorgung Nordostwürttemberg, WKK: Wasserversorgung Kleine Kinzig, GWV: Gruppenwasserversorger).

dass die Eigengewinnung ausreichend sei. Nur eine geringe Anzahl der Wasserversorger gab als einen Grund ‚zu hohe Kosten' (8%), ‚keine (bessere) Möglichkeit' (5%) (auf Grund von Topographie, Entfernung, Qualität) oder ‚anderen/weiteren Grund' (5%) (z.B. Unabhängigkeit) an. Nur ein Wasserversorger gab als Grund einen ‚zu geringen Nutzen' an. Mehrfachantworten

waren möglich. Alle Wasserversorger mit Fremdbezug wurden außerdem nach der Herkunft des Fremdbezugs befragt (Karte 4.3). Davon waren fast zwei Drittel an einem, bzw. mehreren Fernwasserversorger und über ein Drittel an einem, bzw. mehreren Gruppenwasserversorger angeschlossen. Fast die Hälfte der Wasserversorger, die Wasser von einen Fernwasserversorger bezogen, waren an die Bodenseewasserversorgung angeschlossen, ein Viertel an die Landeswasserversorgung und ein Viertel zu etwa gleichen Teilen an die Wasserversorgung Nordostwürttemberg und an die Wasserversorgung Kleine Kinzig. Wasserversorger mit Fremdbezug durch Gruppenwasserversorger bezogen hauptsächlich Wasser von einem Gruppenwasserversorger, nur etwa ein Fünftel der Wasserversorger war an zwei oder drei Gruppenwasserversorger angeschlossen (Karte 4.3, blaue Kreuze). Eine sehr geringe Anzahl (4%) der Wasserversorger gab an, diesen Fremdbezug nur im Notfall zu nutzen (Karte 4.3, rote Punkte).

Die Wasserversorger wurden zudem nach dem Anteil des Fremdbezugs gefragt. Außer den Anteilen des zweiten und dritten Gruppenwasserversorgers streuten die Anteile durch Fern- und Gruppenwasserversorger bei fast allen Wasserversorgern über die gesamte Bandbreite (Abbildung 4.2). Die Hälfte der Anteile der Bodenseewasserversorgung lag zwischen 30 und 70% (Median: 54%), die der Landeswasserversorgung zwischen 36 und 98% (Median: 58%) und die der Wasserversorgung Nordostwürttemberg zwischen 31 und 100%. Der Median lag hier mit 82% deutlich höher als bei der Bodensee-, bzw. Landeswasserversorgung. Die Verteilungen

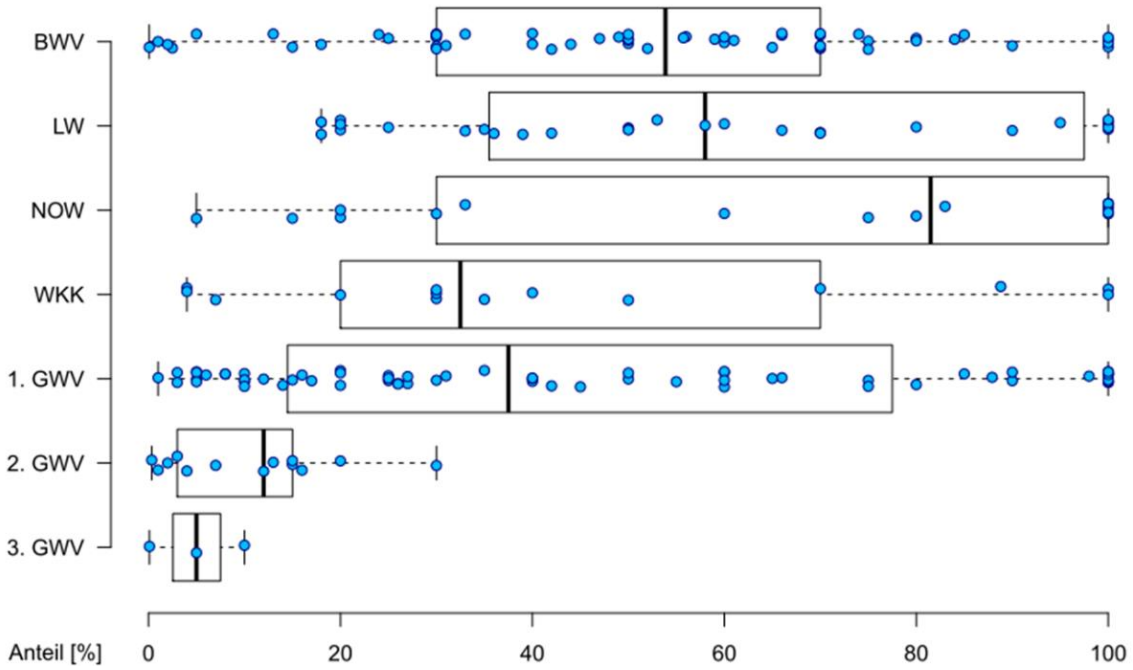
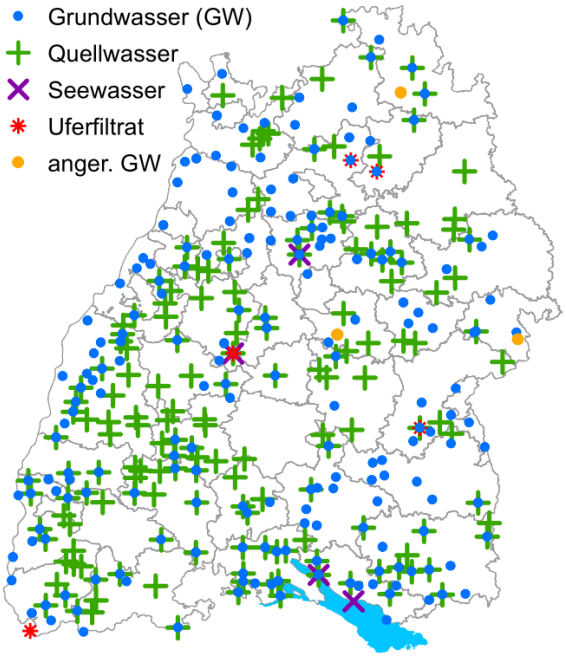


Abbildung 4.2: Anteile des Fremdbezugs durch Fern- und Gruppenwasserversorger (BWV: Bodenseewasserversorgung, LW: Landeswasserversorgung, NOW: Wasserversorgung Nordostwürttemberg, WKK: Wasserversorgung Kleine Kinzig, GWV: Gruppenwasserversorger).

der eben genannten Fernwasserversorger können als linksschief angesehen werden. Die Hälfte der Anteile der Wasserversorgung Kleine Kinzig lag zwischen 23 und 65% und war somit deutlich geringer als die der restlichen Fernwasserversorger. Der Median lag hier bei 33%. Diese Verteilung ist zusammen mit den Anteilen der Gruppenwasserversorger rechtsschief.

4.1.2 Zusammensetzung des Trinkwassers

Alle Wasserversorger mit Eigengewinnung wurden nach der durchschnittlichen Zusammensetzung des Trinkwassers befragt (Karte 4.4 und Abbildung 4.3). Grund- und Quellwasser stellten dabei die Hauptgewinnungsarten dar. Nur ein sehr geringer Anteil der Wasserversorger gab an, Eigenwasser aus anderen Ressourcen, wie zum Beispiel aus Seewasser, Uferfiltrat oder angereichertem Grundwasser zu gewinnen. Jeweils ein Viertel der Wasserversorger, die Grundwasser zum Eigenwasser zählten, gab einen Anteil von 100%, bzw. einen Anteil zwischen über 60% und unter 100% an. Der Median lag bei einem Anteil von 100%, wodurch die Verteilung als linksschief betrachtet werden kann. Die Anteile des Quellwassers am Eigenwasser ergaben, dass die Hälfte der Wasserversorger zwischen 40% und 100% Quellwasser als Eigenwasser nutzte. Auch hier ist die Verteilung linksschief. Der Median lag bei einem Anteil von 90%. Die Anteile der Eigengewinnung durch Seewasser lagen zwischen 26% und 100% und die durch Uferfiltrat zwischen 5% und 100%, wohingegen Eigengewinnung durch angereichertes Grundwasser von drei Wasserversorgern mit 100% angegeben wurde (Abbildung 4.3).



Karte 4.4: Zusammensetzung des Wassers durch Eigengewinnung.

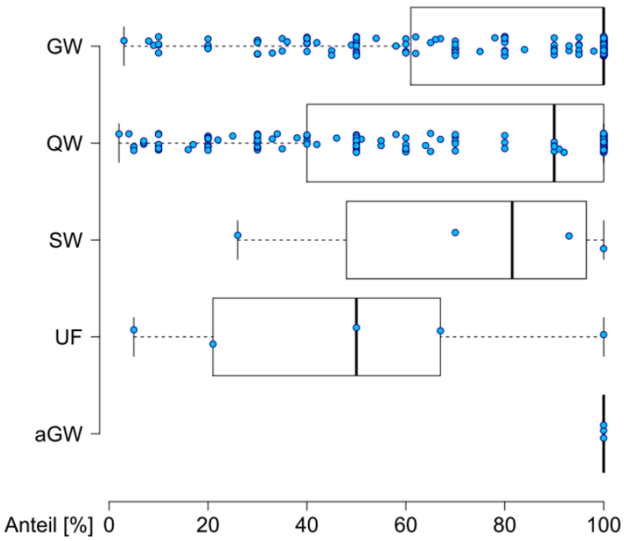


Abbildung 4.3: Anteile des Wassers durch Eigengewinnung (GW: Grundwasser, QW: Quellwasser, SW: Seewasser, UF: Uferfiltrat, aGW: angereichertes GW).

4.1.3 Jahreswasserabgabe und versorgte Einwohner

Die durchschnittlichen Jahreswasserabgaben lagen je nach Größe des Wasserversorgers zwischen knapp 3.000 und 23 Millionen Kubikmetern (Abbildung 4.4). Die Hälfte der Wasserversorger hat eine Jahreswasserabgabe zwischen 186 und 700 Tausend Kubikmetern. Der Median betrug 320 Tausend Kubikmeter. Zusammen versorgten die geantworteten Wasserversorger knapp über 4 Millionen Einwohner mit fast 270 Millionen Kubikmeter pro Jahr. In Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5 wurden Wasserversorger, die zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgreifen mussten, rot markiert. Dabei ist erkennbar, dass dieses ‚Umschalten' nicht Wasserabgabenspezifisch war, das heißt, sowohl Wasserversorger mit niedrigen, als auch Wasserversorger mit mittleren oder hohen jährlichen Wasserabgaben, mussten auf Grund von Trockenheit während dem genannten Zeitraum auf eine andere oder zusätzliche Wasserressource zurückgreifen (Abbildung 4.4).

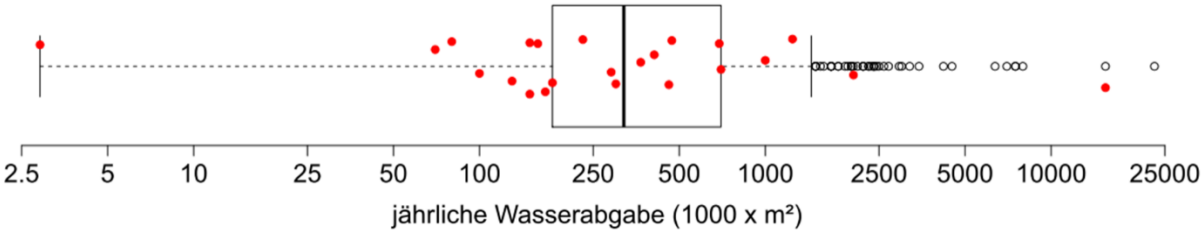


Abbildung 4.4: Logarithmierter Boxplot der jährlichen Wasserabgaben (rote Punkte: Wasserversorger, die zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgreifen mussten; siehe Kapitel 4.1.4 und Karte 4.5, S. 30).

Für eine höhere Auflösung der jährlichen Wasserabgaben in Bezug auf die verschiedenen Wasserversorgergruppen wurden die Daten der Jahreswasserabgabe zusammen mit (a) allen Wasserversorgern dargestellt sowie unterteilt nach (b) Wasserversorgern mit ausschließlich Eigengewinnung, (c) mit Eigengewinnung und Fremdbezug und (d) mit ausschließlich Fremdbezug (Abbildung 4.5). Dabei fiel auf, dass die Gruppe der Wasserversorger mit ausschließlich Fremdbezug (Abbildung 4.5d) eine nicht so große Spannbreite in den jährlichen Wasserabgaben aufwies als die anderen Gruppen. Außerdem musste in dieser Gruppe nur ein Wasserversorger auf eine andere oder zusätzliche Wasserressource ‚umstellen'. Das lässt schließen, dass Wasserversorger mit Eigengewinnung öfters von negativen Auswirkungen betroffen waren als Wasserversorger mit ausschließlich Fremdbezug. Aus Abbildung 4.5 kann zusätzlich

entnommen werden, dass kommunale Wasserversorger öfters von negativen Auswirkungen betroffen waren als Gruppenwasserversorger. Bei diesen Annahmen muss sowohl die geringe Anzahl der betroffenen Wasserversorger berücksichtigt werden als auch die geringere Anzahl an Gruppenwasserversorgern. Fast alle Wasserversorger gaben außerdem an, zusätzlich andere Kommunen mit Trinkwasser zu versorgen. Nur ein verschwindend kleiner Anteil nutzt Trinkwasser ausschließlich für die eigene Kommune. Zwischen der Anzahl der versorgten Einwohner und der Jahreswasserabgabe besteht außerdem ein positiver linearer Zusammenhang (Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0.94$) (Abbildung 4.6).

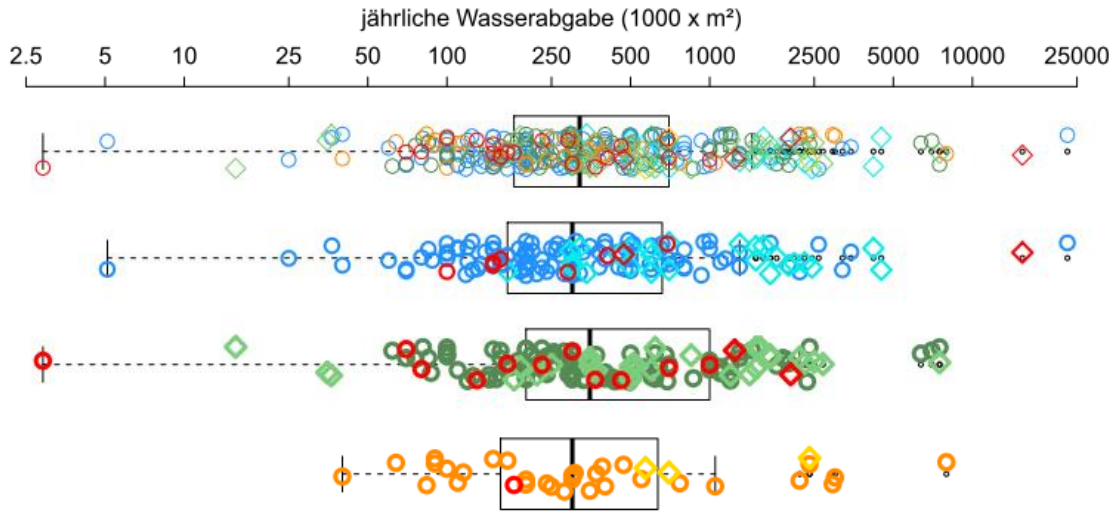


Abbildung 4.5: Logarithmierter Boxplot der jährlichen Wasserabgaben (Farbschema vgl. Tabelle 4.1, S. 24) mit (a) allen Wasserversorgern (WV), (b) WV mit ausschließlich Eigengewinnung (blau: Kommune, türkis: Gruppenwasserversorger (GWV)), (c) mit Eigengewinnung und Fremdbezug (dunkelgrün: Kommune, hellgrün: GWV) und (d) mit ausschließlich Fremdbezug (orange: Kommune, gelb: GWV) (rote Symbole: WV, die zwischen den Jahren 2000 und 2015 auf Grund von Trockenheit auf andere Wasserressourcen zurückgreifen mussten).

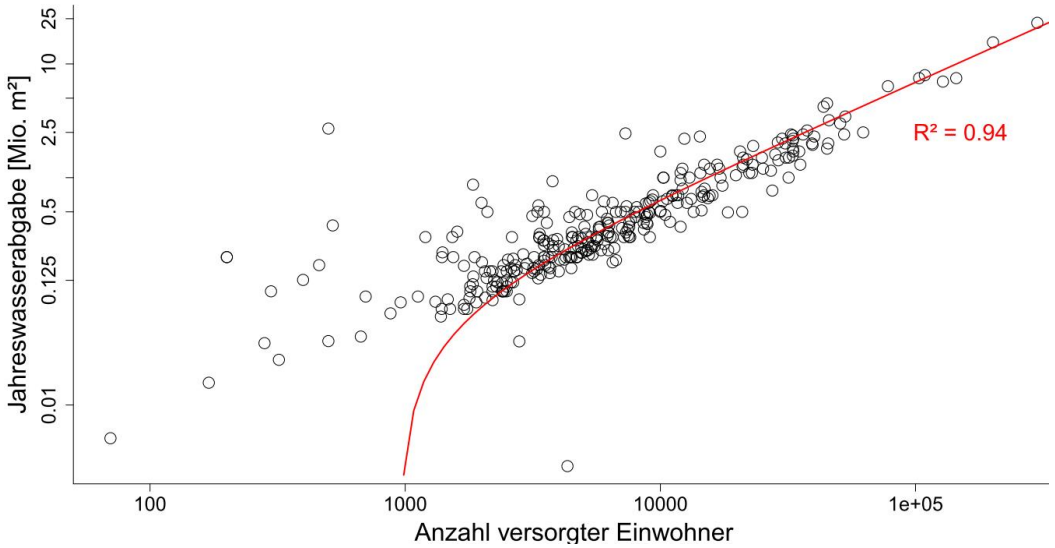
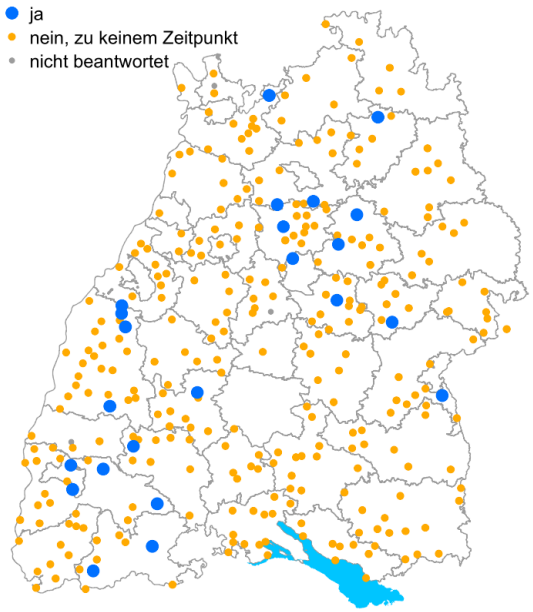


Abbildung 4.6: Zusammenhang zwischen der Anzahl versorgter Einwohner und der jährlichen Wasserabgabe [Mio. m²] mit logarithmierter x- und y-Achse (rote Linie: Regressionsgerade mit dem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0.94$).

4.1.4 Potenzielle Auswirkungen

Wie bereits in vorherigen Unterkapitel (4.1.3, S. 28) erwähnt, wurde gefragt, ob die Wasserversorger zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgreifen mussten. Fast alle Wasserversorger mussten dies zu keinem Zeitpunkt tun (Karte 4.5). 7% der Wasserversorger gaben jedoch an, dass sie in dem genannten Zeitraum auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen auf Grund von Trockenheit zurückgreifen mussten. Davon lagen über zwei Drittel (70%) im Schwarzwald oder im Gäu- und Keuperland (vgl. Karte 2.3, S. 12).



Karte 4.5: Antworten auf die Frage, ob zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgegriffen werden musste.

Diejenigen Wasserversorger, die in dem genannten Zeitraum auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen auf Grund von Trockenheit zugreifen mussten, wurden außerdem nach dem Zeitraum des ‚Umschaltens' gefragt und ob dies auf Grund von Wasserquantitäts- oder Wasserqualitätsgründen geschah (Abbildung 4.7). Dabei konnten die Wasserversorger bis zu fünf Fällen angeben, in den diese ‚umschalten' mussten. Für den betrachteten Zeitraum wurden sowohl in allen Monaten als auch in allen Jahren, außer 2001, 2002 und 2005, Fälle angegeben. Die zwei längsten angegebenen Zeiträume, waren von Juni 2010 bis Juli 2011 und das gesamte Jahr 2004. 80% der Fälle lag jedoch zwischen einem und vier Monaten. Daraus lässt sich schließen, dass die Wasserversorger vor allem während kürzeren Zeiträumen von negativen Auswirkungen betroffen waren. Die Jahre 2015 (19 Fälle) und 2003 (7 Fälle) waren dabei am

stärksten vertreten. Die Jahre 2007, 2011 und 2013 wiesen vier, beziehungsweise drei Fälle auf. Im Zeitraum Juni bis November traten die meisten Fälle auf, in denen es zu einem Umschalten der Ressourcen kam. Dabei konnte beobachtet werden, dass Trockenheit oft noch bis in den Herbst und teilweise sogar bis in den Winter Auswirkungen verursachte. Negative Auswirkungen auf Grund von Wasserquantität können als signifikant höher eingestuft werden, als auf Grund von Wasserqualität (Wilcox-Test: $p = 3{,}849*10^{-5}$, n=23). Das heißt, dass auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen deutlich öfters in Bezug auf Wasserquantität, als Wasserqualität zurückgegriffen wurde. Es wurden 38 Fälle auf Grund von Quantität (Abbildung 4.7, rot) und fünf Fälle auf Grund der Qualität (Abbildung 4.7, blau) gezählt. Wasserqualitätsprobleme traten während des ganzen Jahres auf, wohingegen Wasserqualitätsprobleme vor allem in den Sommermonaten auftraten. Regionale Muster im Jahresverlauf konnten in diesem Zusammenhang nicht festgestellt werden.

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
2000							1	1					2000
2001													2001
2002													2002
2003				1	2	4	7	7	4	4	2	1	2003
2004	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2004
2005													2005
2006			1										2006
2007						2	1	2	3	3	1	1	2007
2008								1					2008
2009											1		2009
2010						1	1	1	1	1	1	1	2010
2011	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2011
2012							1						2012
2013							2	2	1				2013
2014							1						2014
2015			1	1	2	5	12	14	11	10	6	2	2015
	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	

Abbildung 4.7: Zeiträume, in denen Wasserversorger ‚umschalten' mussten zusammen mit deren Anzahl (rot markiert wurden Wasserversorger, die auf Grund von Wasserquantitätsgründen ‚umschalten' mussten (umso dunkler die Farbe, desto höher die Anzahl der Wasserversorger), blaue Kästen markieren Fälle auf Grund von Wasserqualitätsgründen).

Von diesen ‚Umstellungen' der Bezugsressourcen waren ungefähr ein Zehntel der versorgten Einwohner der geantworteten Wasserversorger und 3% der gesamten Einwohner Baden-Württembergs betroffen (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Anzahl versorgter Einwohner durch die öffentliche Trinkwasserversorgung bezogen auf: Baden-Württemberg, Fernwasserversorger, die geantworteten Wasserversorger und Wasserversorger, die ‚umschalten' mussten.

	versorgte Einwohner [Mio.]
Baden-Württemberg	10,88
Fernwasserversorger	7,8
geantwortete Wasserversorger	4,0
Wasserversorger, die ‚umschalten' mussten	0,4

4.2. Anpassungsfähigkeitsfaktoren

4.2.1 Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge

Zunächst wurde nach Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge gefragt, bzw. ob diese schon einmal angewandt wurden (Abbildung 4.8 und Karte 4.6).

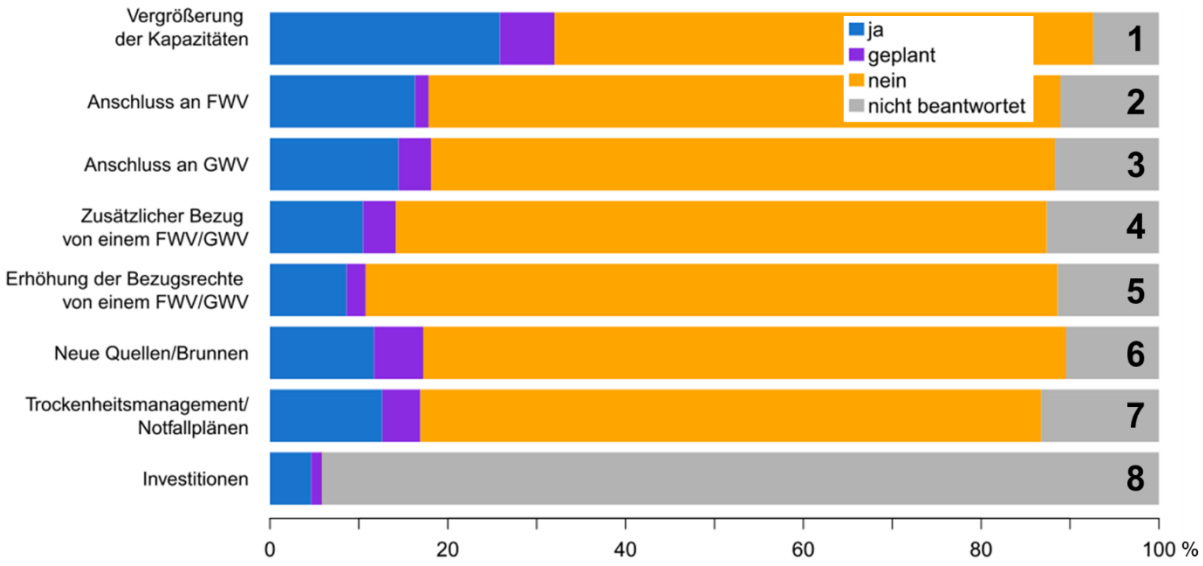
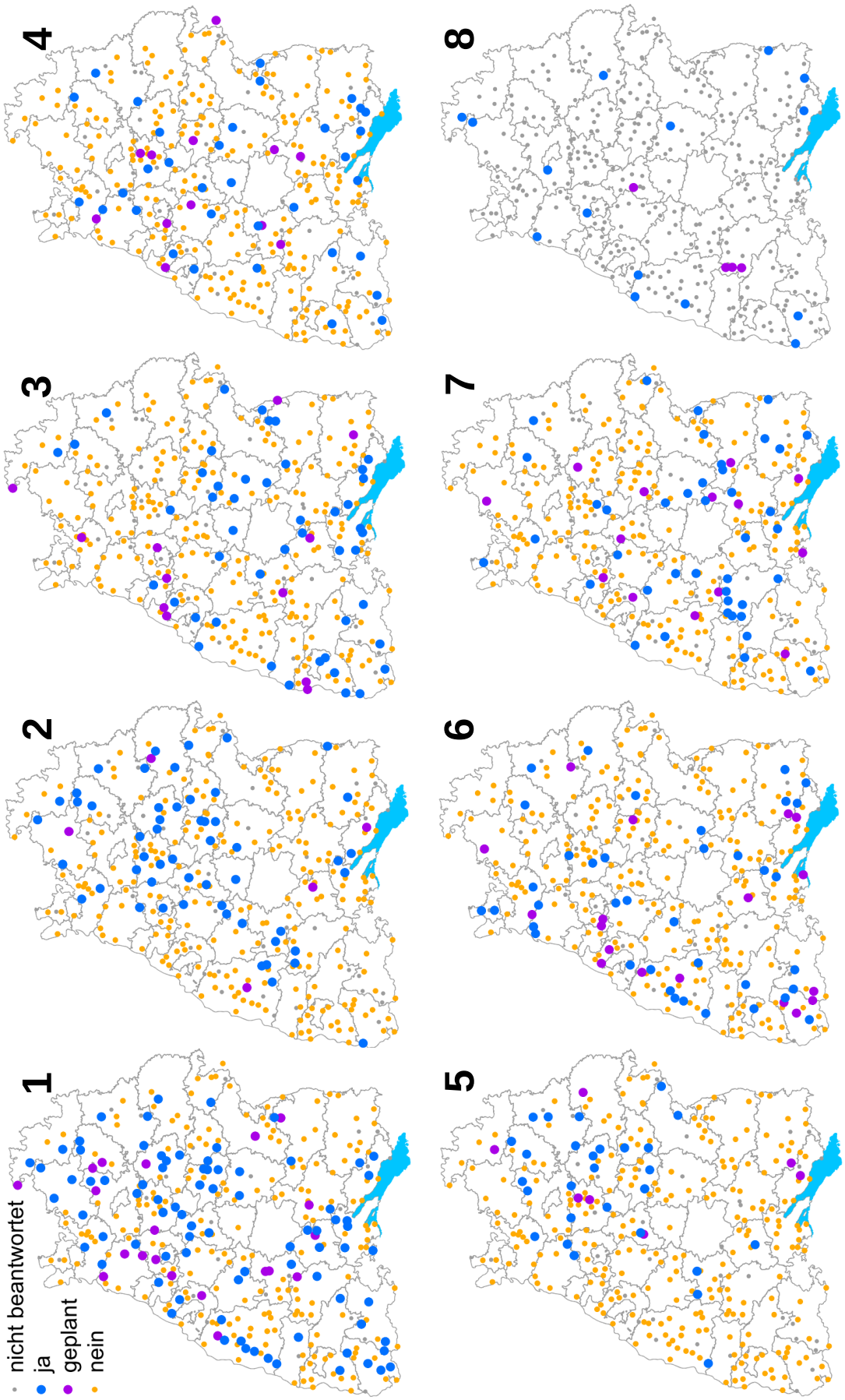


Abbildung 4.8: Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge (1) bis (8) (FWV: Fernwasserversorger, GWV: Gruppenwasserversorger) (8) wurde aus Freitextantworten zusammengefasst.

Zwischen 61% und 78% der Wasserversorger gaben an, genannte Optionen (1) bis (7) zur langfristigen Risikovorsorge gegenüber Trockenheit nicht angewandt zu haben. Gut ein Viertel der Wasserversorger gab an, bereits eine Vergrößerung der Kapazitäten (1), beispielsweise durch einen Neu- oder Umbau von Hochwasserbehältern, durchgeführt zu haben. 6% der Wasserversorger haben diese Maßnahme geplant. An einen oder mehrere der vier großen Fernwasserversorger (2) haben sich zur langfristigen Risikovorsorge gegenüber Trockenheit 16% der Wasserversorger angeschlossen und ein paar wenige (2%) haben dies geplant. An einen Gruppenwasserversorger (3) haben sich bereits 14% der Wasserversorger auf Grund von Trockenheit angeschlossen und ein paar wenige (4%) haben es geplant. Einen zusätzlichen Bezug oder eine Erhöhung der Bezugsrechte von einem Fern- oder Gruppenwasserversorger (4) wurden mit 10%, bzw. 9% bereits angewandt, geplant haben dies 4%, bzw. 2%. Erschließung neuer Quellen oder Brunnen (6) haben 12% mit ‚ja‘ und 6% mit ‚geplant‘ beantwortet. 13% gaben an, ein Trockenheitsmanagement, Notfall-, Maßnahmen- oder Bewirtschaftungspläne (7) entwickelt zu haben, 4% haben dies geplant. Als weitere Optionen gaben 5% der Wasserversorger an, Investitionen (8) durchgeführt zu haben. Dazu zählen ein neues Leitsystem, eine zweite Trinkwasserleitung sowie Sanierungen des Rohrsystems oder der Quellfassung. Außerdem gaben knapp 3% der Wasserversorger als weitere Option Schaffung eines Verbundnetzes, Anschluss an eine Kommune oder Einrichtung einer Notversorgungsleitung an.

Die räumliche Verteilung der Antworten zu Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge sind in der Karte 4.6 (1) bis (8) abgebildet. Vergrößerung der Kapazitäten (1) wurde in ganz Baden-Württemberg, ohne erkennbares Muster, vorgenommen. Die Antworten zum Anschluss an einen der vier Fernwasserversorger (2) konzentrieren sich entlang dem bereits vorhandenen Leitungsnetz der Fernwasserversorger. Wohingegen die Antworten zum Anschluss an einen Gruppenwasserversorger (3) tendenziell in den Gebieten anzutreffen sind, in denen keiner der vier Fernwasserversorger zur Verfügung steht. Auch die Maßnahme, von einem Fern- oder Gruppenwasserversorger zusätzliche Bezüge anzufordern (4), wurde in ganz Baden-Württemberg und ohne erkennbare Muster angewandt. Erhöhung der Bezugsrechte von einem Fern- oder Gruppenwasserversorger (5) bezieht sich überwiegend auf Fernwasserversorger. Die Antworten zur Erschließung neuer Quellen oder Brunnen (6) weisen auf keine auffällige räumliche Verteilung hin. Bei den Antworten zur Entwicklung von Trockenheitsmanagement oder Notfallplänen (7), ist ein Cluster im Schwarzwald-Baar-Kreis im Südwesten Baden-Württembergs zu erkennen. Der Grund hierfür lag an der gemeinsamen Betriebsführung der Wasserversorgung dieser Gemeinden. In Karte 4.9 war dies ebenso erkennbar.



Karte 4.6: Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge: (1) Vergrößerung der Kapazitäten, (2) Anschluss an FWV, (3) Anschluss an GWV, (4) zusätzlicher Bezug eines FWV/GWV, (5) Erhöhung der Bezugsrechte eines FWV/GWV, (6) Erschließung neuer Quellen/Brunnen, (7) Entwicklung von Trockenheitsmanagement / Notfallplänen, (8) Investitionen (FWV: Fernwasserversorger, GWV: Gruppenwasserversorger).

4.2.2 Akute Maßnahmen zum Risikomanagement

Des Weiteren wurde nach akuten Maßnahmen zum Risikomanagement gefragt und ob diese schon einmal angewandt wurden (Abbildung 4.9 und Karte 4.7). Auch bei diesem Fragenblock haben fast alle (zwischen 83 und 89%) Wasserversorger geantwortet, dass die genannten Optionen zum akuten Risikomanagement nicht angewandt wurden. Mit 8% waren Umstellung der Bezugsressourcen (1), beispielsweise von Quellwasser auf Grundwasser, und Umschalten auf einen anderen Wasserverbund (5) die Antworten, die am meisten mit ‚ja' beantwortet wurden. Aber auch die Maßnahmen ‚Aufrufen zur Wassereinsparung' (4) (7%) und ‚Aktivierung von Notfallressourcen' (2) (6%), zum Beispiel Inbetriebnahme vorhandener Brunnen, die sonst nicht genutzt werden, wurden schon einmal angewandt und sind mit 3%, bzw. 4% geplant. Zuspeisung von durch das Gesundheitsamt zugelassenen Notfallbrunnen (3) und Organisation von Selbsthilfegruppen (6), welche sich im Notfall gegenseitig unterstützen, wurde mit 2%, bzw. 1% schon einmal angewandt und sind mit 1% geplant. Zwei Wasserversorger gaben bei weiteren Optionen an, einzelne Gebäude, die nicht an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen sind, mit Tankfahrzeugen versorgt zu haben. Die räumliche Verteilung der Antworten zu akuten Maßnahmen zum Risikomanagement sind in der Karte 4.7 (1) bis (6) abgebildet. Ein klarer räumlicher Zusammenhang ist hierbei nicht erkennbar. Allerdings wurde im Landkreis Bodensee und Konstanz vermehrt zum Wassereinsparen aufgerufen (Karte 4.7 (4)) und im Landkreis Lörrach und Waldshut verstärkt auf einen anderen Wasserverbund umgeschaltet (Karte 4.7 (5)).

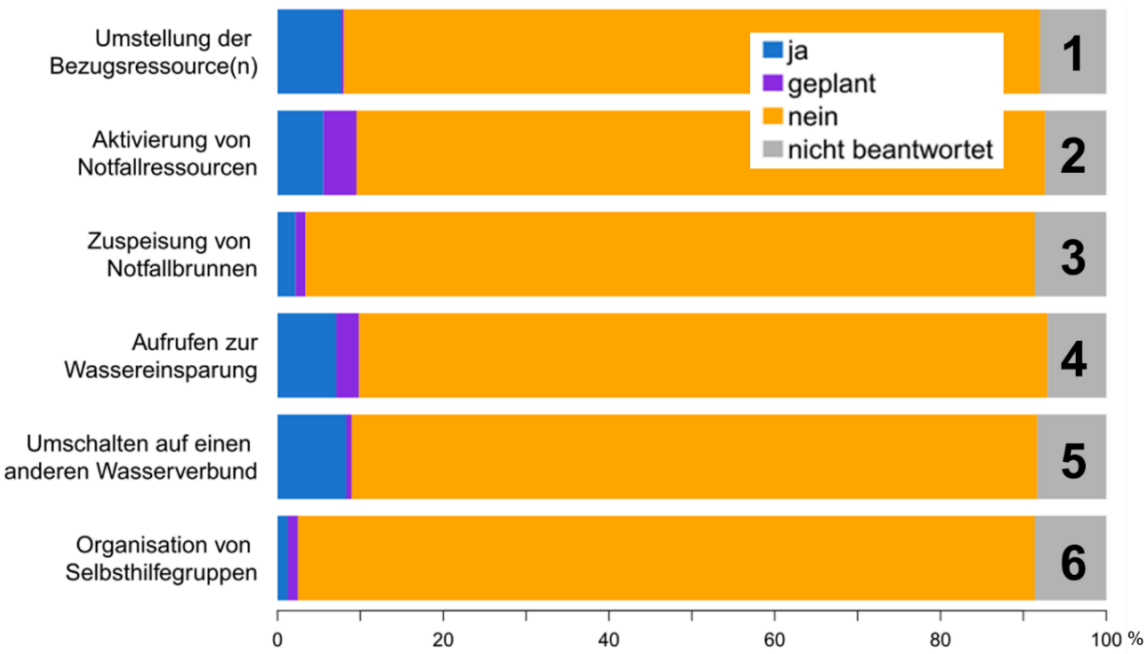
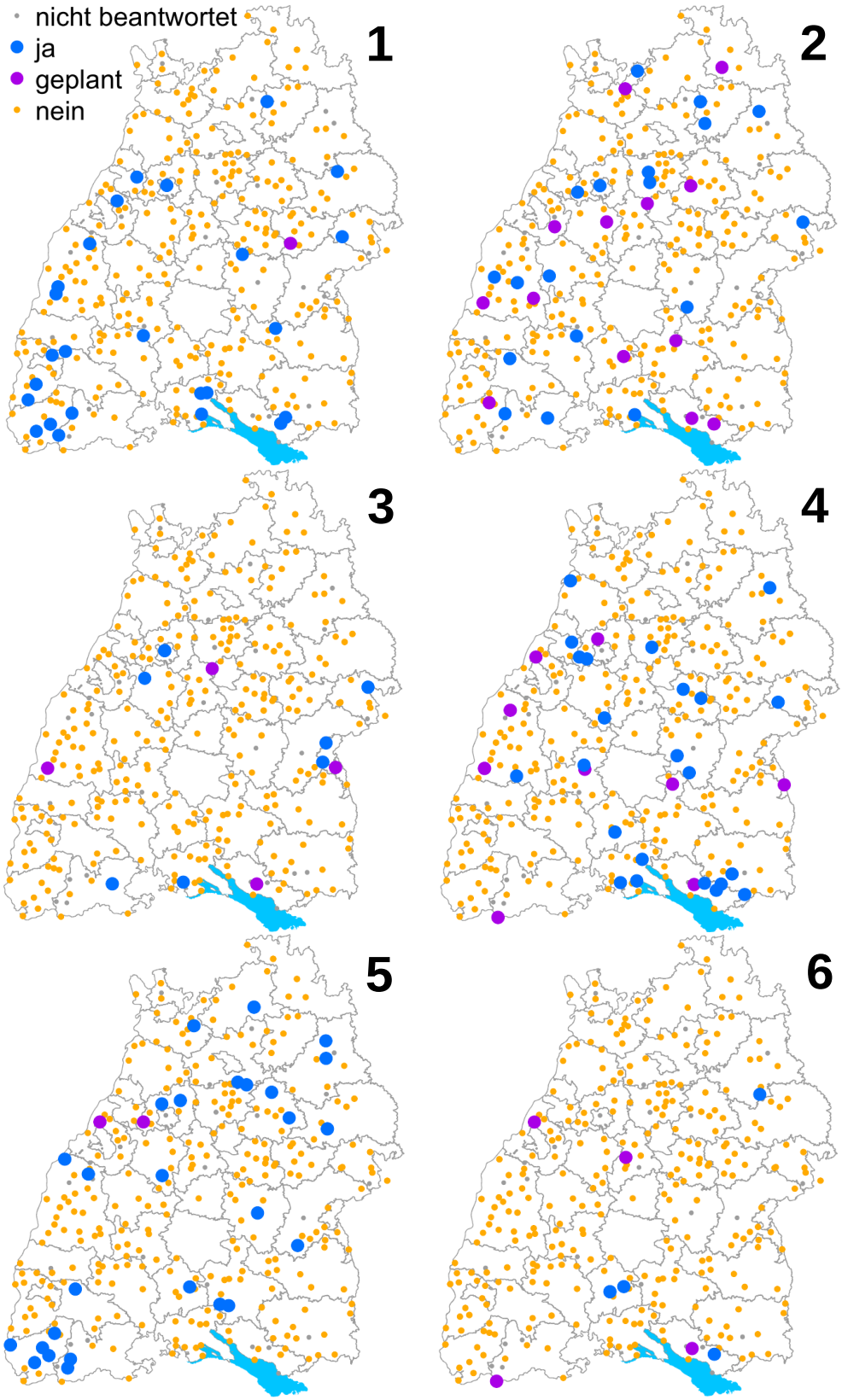


Abbildung 4.9: Akute Maßnahmen zum Risikomanagement (1) bis (6).



Karte 4.7: Akute Maßnahmen zum Risikomanagement: (1) Umstellung der Bezugsressource(n), (2) Aktivierung von Notfallressourcen, (3) Zuspeisung von Notfallbrunnen, (4) Aufrufen zur Wassereinsparung, (5) Umschalten auf einen anderen Wasserverbund, (6) Organisation von Selbsthilfegruppen.

4.2.3 Informations- und Monitoringsysteme

In diesem Fragenblock wurde nach der Nutzung von Informations- und Monitoringsystemen zur Früherkennung von Trockenheit gefragt. Insgesamt wurden nur wenige Informations- und Monitoringsysteme genutzt (Abbildung 4.10). Über ein Drittel (37%) bis die Hälfte der Wasserversorger gaben an, die genannten Informations- und Monitoringsysteme nie zu nutzen. Informationen zu (internen) Grenzwerten (1) wurden zur Früherkennung von Trockenheit am Häufigsten verwendet. 18% der Wasserversorger nutzten diese jede Woche, 7% jeden Monat, 5% wenige Male im Jahr und 12% nur im Notfall. (Interne) Informationsquellen (2), wie zum Beispiel Verbundszeitungen oder Mitteilungsblätter, wurden dagegen weniger häufig verwendet. Nur jeweils 1% der Wasserversorger nutzte diese jede Woche, bzw. jeden Monat. 7% der Wasserversorger gaben an, (interne) Informationsquellen wenige Male im Jahr und 14% nur im Notfall zu nutzen. Auch (interne) Informationen durch die Behörden (3) werden eher selten genutzt. 1% der Wasserversorger gab an, diese jede Woche, 2% jeden Monat, 8% wenige Male im Jahr und 21% nur im Notfall zu nutzen. Zur Früherkennung von Trockenheit stimmten sich 1% der Wasserversorger jede Woche, 4% jeden Monat, 10% wenige Male im Jahr und 17% nur im Notfall untereinander ab (4). Monitoring-Systeme wurden von den geantworteten Wasserversorgern dagegen gar nicht zur Früherkennung von Trockenheit verwendet. Knapp über die Hälfte der Wasserversorger (51%) gab an, Monitoring-Systeme, wie den *German Drought Monitor* (5), das *European Drought Observatory* (6) oder anderer Globale Trockenheits- oder Monitoring-Plattformen (7) nie zu nutzen.

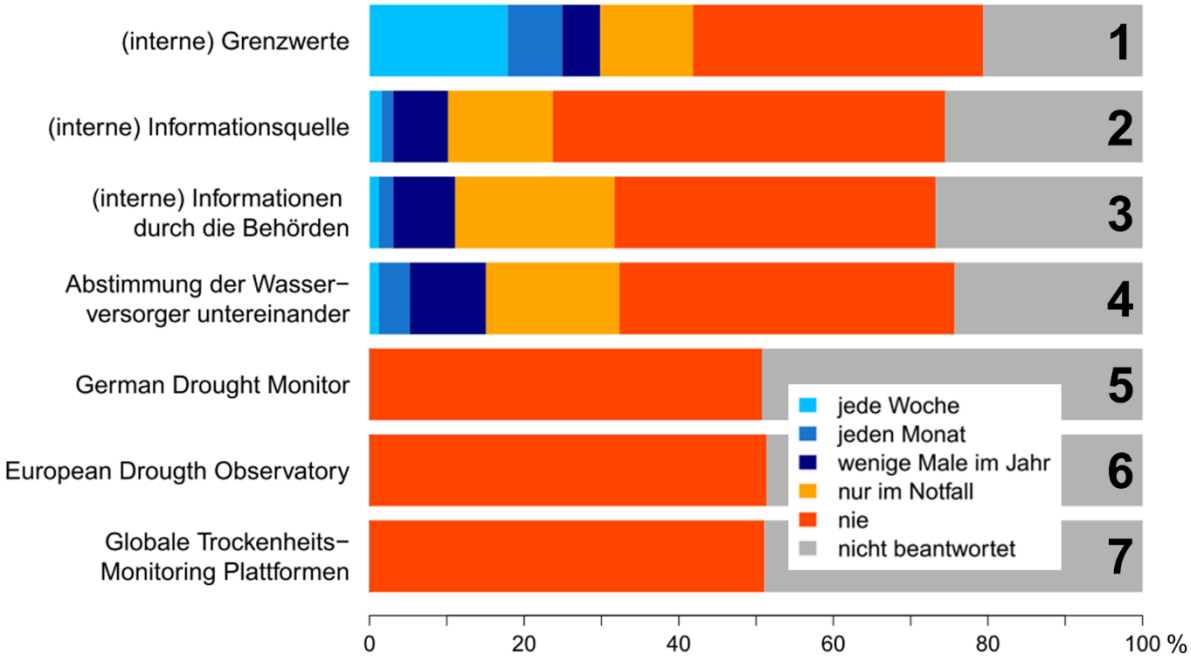
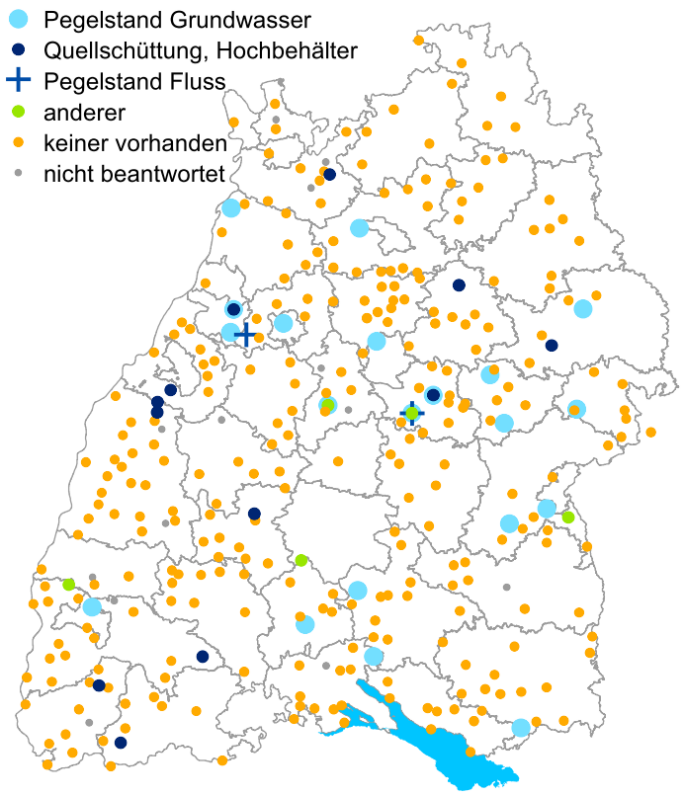


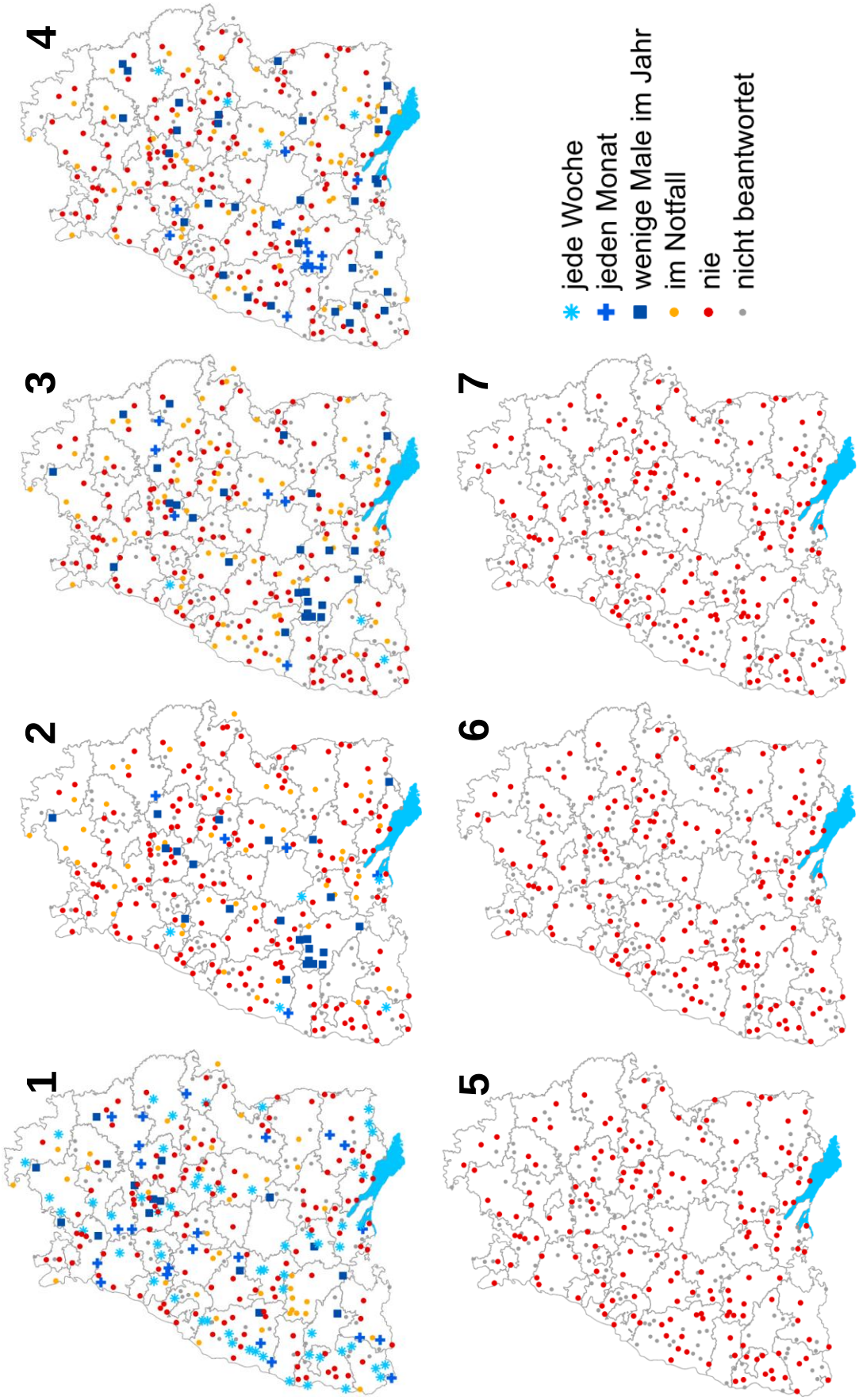
Abbildung 4.10: Informations- und Monitoringsysteme zur Früherkennung von Trockenheit.

Unter weiteren Optionen zu Informations- und Monitoringsystemen wurden Informationen wie zum Beispiel Pegel- oder Brunnenwasserstände, Quellenzulauf oder hausinterne Abstimmung genannt. Bei diesem Fragenblock sind nicht beantwortete Fragen deutlich stärker vertreten als bei den restlichen Fragen und machen zwischen einem Viertel (Option 1-4) und der Hälfte (Option 5-7) der Wasserversorger aus. Die räumliche Verteilung der Antworten zu Informations- und Monitoringsysteme sind in der Karte 4.9 (1) bis (7) abgebildet. Abgesehen von dem bereits erwähnten Cluster im Schwarzwald-Baar-Kreis sind keine klaren räumlichen Zusammenhänge erkennbar.

Eine Frage konzentrierte sich außerdem auf (interne) Grenzwerte, ab denen auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zugegriffen wurde. Dabei war die Art der vorhandenen (internen) Grenzwerte von Interesse. Die Mehrheit gab an, keine (internen) Grenzwerte zu haben (Karte 4.8). Bei einem Zehntel der Wasserversorger ist ein oder sind mehre (interne) Grenzwerte vorhanden. Davon gaben über die Hälfte (59%) einen Grundwasserpegelstand als Grenzwert an. Über ein Drittel (35%) nannte Quellschüttungen oder Wasserstände in Hochbehältern als Grenzwerte. Ein geringer Anteil gab einen Flusspegelstand (6%) oder einen anderen Grenzwert (15%), wie zum Beispiel Entnahmerechte, an. Mehrfachnennungen waren möglich.



Karte 4.8: Antworten zur Art der genutzten (internen) Grenzwerte.



Karte 4.9: Nutzung von Informations- und Monitoringsystemen: (1) (interne) Grenzwerte, (2) (interne) Informationsquellen, (3) (interne) Informationen durch die Behörden, (4) Abstimmung der Wasserversorger untereinander, (5) German Drought Monitor, (6) European Drougth Observatory, (7) globale Trockenheits- oder Monitoring-Plattformen.

4.2.4 Risikobewusstsein

In einem letzten Themenblock wurden Einschätzungsfragen in Bezug auf das Risikobewusstsein gegenüber Trockenheit gestellt, bzw. inwiefern die Wasserversorger mit bestimmten Aussagen übereinstimmten.

Fast drei Viertel der Wasserversorger stimmte (eher) zu, dass Trockenheit in Baden-Württemberg in Zukunft häufiger auftreten wird als bisher (1) und zwei Drittel der Wasserversorger stimmte (eher) zu, dass Trockenheit in Baden-Württemberg in Zukunft länger auftreten wird als bisher (2). Etwa ein Zehntel stimmte diesen Aussagen (eher) nicht zu. Ungefähr ein Viertel der Wasserversorger stimmte (eher) zu, dass ihr Unternehmen in Zukunft öfters von Trockenheit und negativen Auswirkungen betroffen sein wird (3 und 4). Über die Hälfte stimmten diesen Aussagen (eher) nicht zu. Zwei Drittel der Wasserversorger stimmten der Aussage (eher) zu, dass die genutzten und zur Verfügung stehenden Informationen ausreichend seien, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden, bzw. negative Auswirkungen durch Trockenheit vermeiden (5 und 6) weniger als einem Zehntel stimmten diesen Aussagen (eher) nicht zu. Handlungsbereitschaft, Maßnahmen zu ergreifen, um negative Auswirkungen durch Trockenheit zu minimieren besteht bei 40% der Wasserversorger (7). Bei etwa genauso vielen Wasserversorgern besteht (eher) kein Bedarf. Bei der Frage nach dem Bedarf nach einem gesetzlich verankerten Trockenheitsmanagement (ähnlich wie Hochwassergefahrenkarten) stimmte weniger als ein Zehntel (7%) der Wasserversorger (eher) zu, wohingegen der Großteil (78%) der Wasserversorger (eher) nicht zustimmte. Zum Schluss wurde danach gefragt, ob Interesse bestünde, sich in Zukunft regelmäßig(er) mit anderen Wasserversorger bzw. der Wasserbehörde auszutauschen um negative Auswirkungen zu vermeiden. 45% der Wasserversorger stimmten dieser Aussage (eher) zu, 43% der Wasserversorger (eher) nicht. Zwischen einem Zehntel und einem Viertel hat diesen Fragenblock nicht beantwortet.

Die räumliche Verteilung der Antworten zur persönlichen Einschätzung sind in der Karte 4.10 (1) und (2) und in der Karte 4.11 (3) bis (9) abgebildet. Starke räumliche Zusammenhänge können jedoch nicht festgestellt werden.

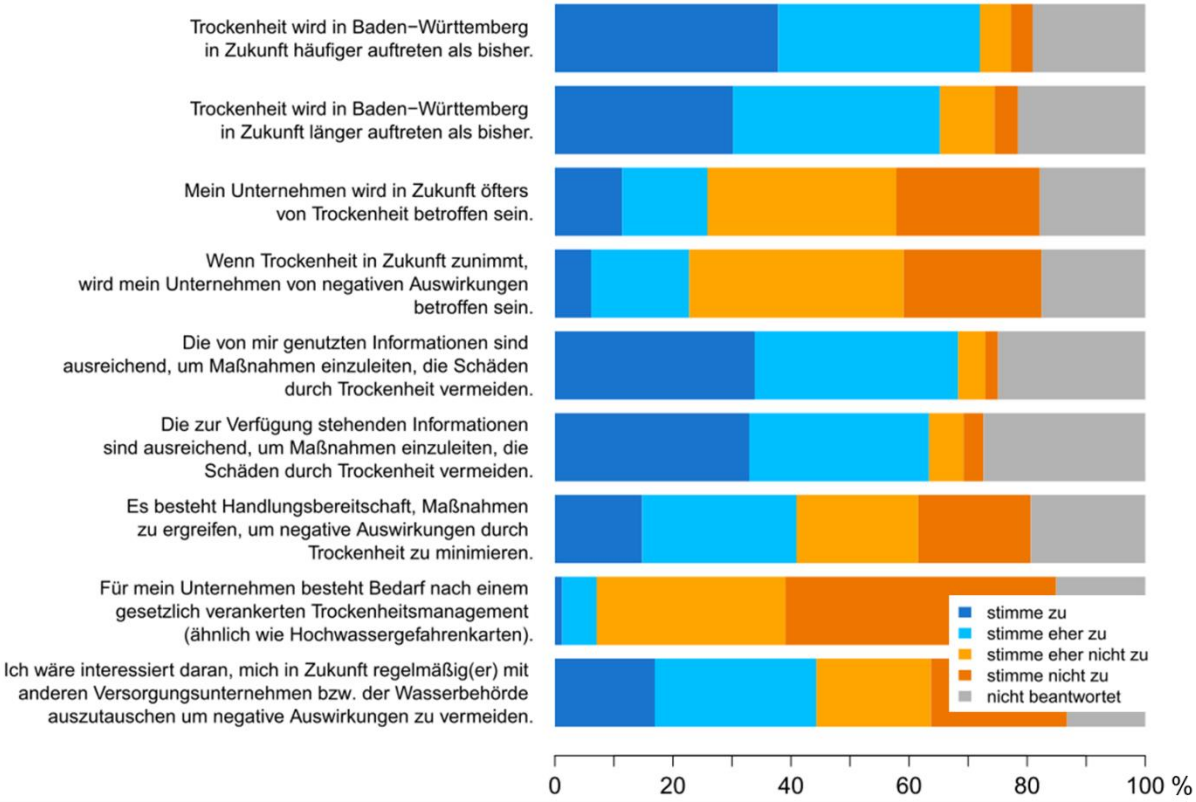
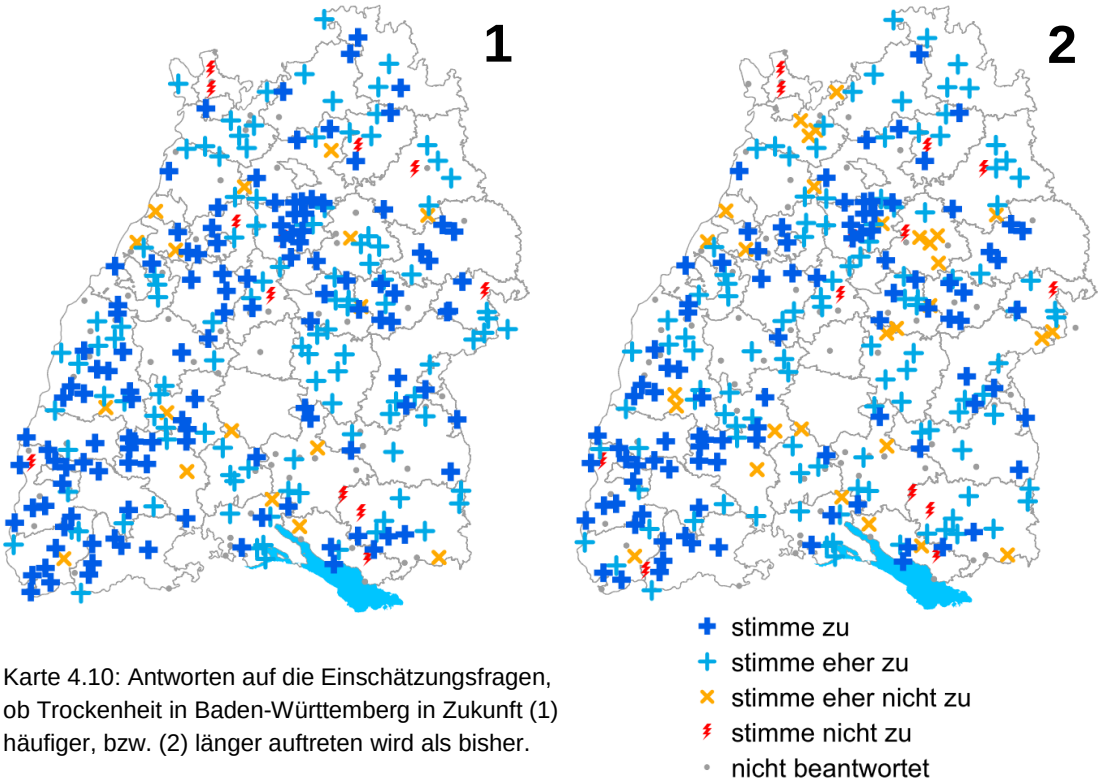
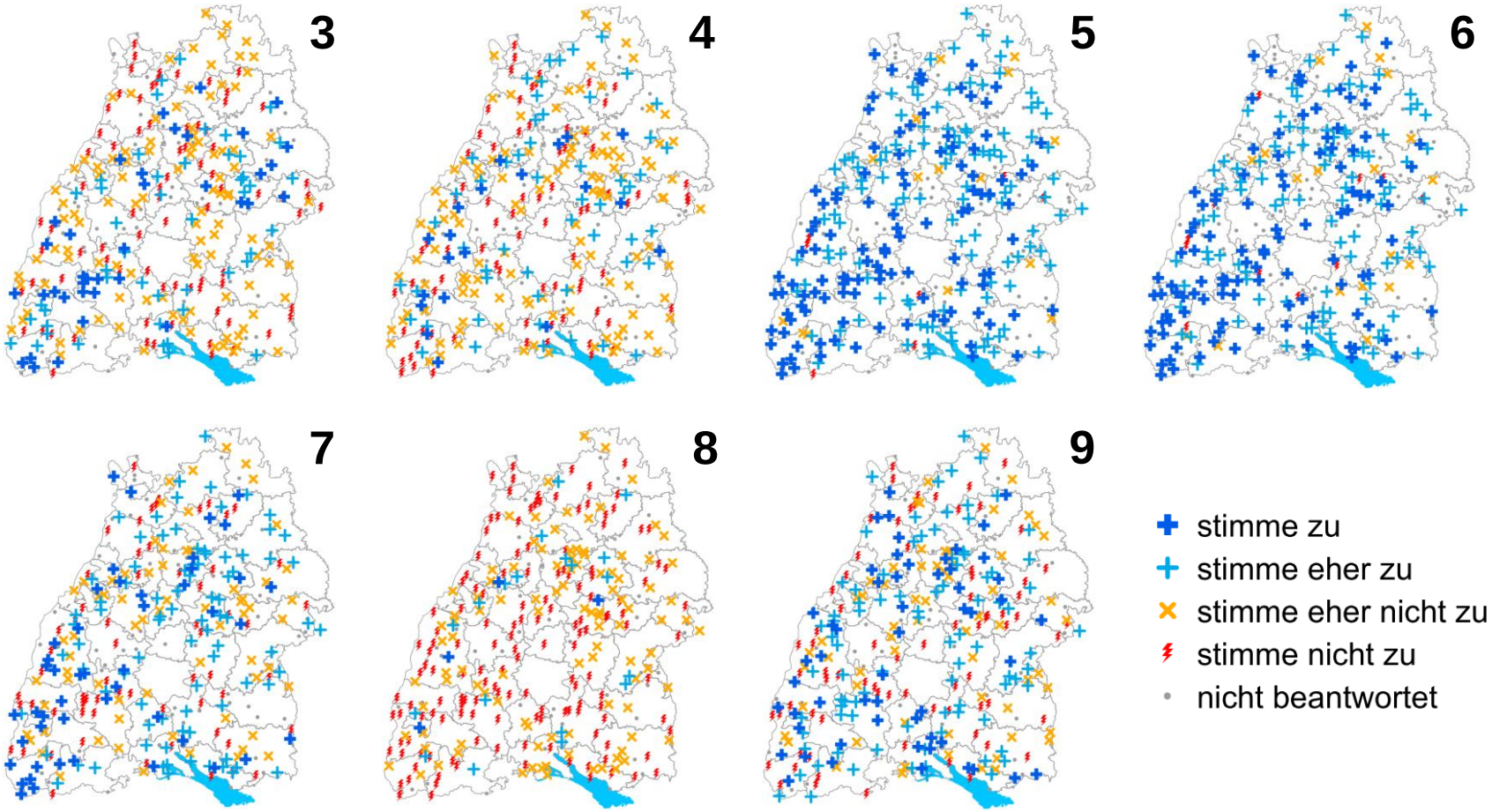


Abbildung 4.11: Einschätzungsfragen in Bezug auf das Risikobewusstsein durch Trockenheit.



Karte 4.10: Antworten auf die Einschätzungsfragen, ob Trockenheit in Baden-Württemberg in Zukunft (1) häufiger, bzw. (2) länger auftreten wird als bisher.



Karte 4.11: Fortsetzung der Antworten auf die Einschätzungsfragen: (3) Mein Unternehmen wird in Zukunft öfters von Trockenheit betroffen sein. (4) Wenn Trockenheit in Zukunft zunimmt, wird mein Unternehmen von negativen Auswirkungen betroffen sein. (5) Die von mir genutzten Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden. (6) Die zur Verfügung stehenden Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden. (7) Es besteht Handlungsbereitschaft, Maßnahmen zu ergreifen, um negative Auswirkungen durch Trockenheit zu minimieren. (8) Für mein Unternehmen besteht Bedarf nach einem gesetzlich verankerten Trockenheitsmanagement (ähnlich wie Hochwassergefahrenkarten). (9) Ich wäre interessiert daran, mich in Zukunft regelmäßig(er) mit anderen Versorgungsunternehmen bzw. der Wasserbehörde auszutauschen um negative Auswirkungen zu vermeiden.

5. Diskussion

5.1. Beurteilung der Umfrageergebnisse

Nur ein sehr geringer Anteil der geantworteten Wasserversorger musste sich während der letzten 16 Jahren mit Auswirkungen auf Grund von Trockenheit auseinandersetzten. Diese geringe Anzahl an potenziellen Auswirkungen erklärt vermutlich auch die wenigen Maßnahmen, die in der Vergangenheit bezüglich Risikovorsorge und Risikomanagement schon einmal angewandt wurden. Nichtsdestotrotz kann aus den angewandten Maßnahmen geschlossen werden, dass sich die Wasserversorger in der Vergangenheit mit dem Thema Trockenheit auseinandergesetzt haben, aus Vorsorge- oder akuten Gründen. Teilweise sind Wasserversorger mit zwei oder auch drei verschiedenen Wasserversorgern vernetzt. Dabei sind die Anteile des Fremdbezugs relativ niedrig angesetzt und können vermutlich nach Bedarf erhöht werden. In einzelnen Fällen wurde diese Vernetzung nur für den Notfall geschaffen. Informations- und Monitoringsysteme wurden bisher kaum von den Wasserversorgern zur Früherkennung von Trockenheit genutzt. Dabei spielen (interne) Informationsquellen eine wichtigere, wenn auch nicht stark vertretene, Rolle. Diese wurden überwiegend nur im Notfall genutzt. Wohingegen Monitoringsysteme nicht zur Früherkennung von Trockenheit genutzt wurden. Möglicherweise liegt es daran, dass die genutzten und zur Verfügung stehenden Informationen ausreichend sind, um Maßnahmen einzuleiten. Andererseits könnte es auch daran liegen, dass bis jetzt noch kein geeignetes Informations- oder Monitoringsystem für den Sektor der öffentlichen Trinkwasserversorgung entwickelt wurde. Des Weiteren besitzt die Mehrheit der Wasserversorger keine Grenzwerte, ab denen auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zugegriffen wurde. Für die Mehrheit der Wasserversorger besteht außerdem kein Bedarf an einem gesetzlich verankerten Trockenheitsmanagement. Dennoch waren fast die Hälfte der Wasserversorger an einem regelmäßigen Austausch mit anderen Wasserversorgern oder der Wasserbehörde interessiert.

Die naturräumliche Gliederung des Untersuchungsgebiets spielt eine wesentliche Rolle in der Betrachtung von Trockenheit (Kruse et al. 2010, Stölzle & Stahl 2011), trotzdem zeigt die räumliche Verteilung der Umfrageergebnisse keine klaren Zusammenhänge oder Unterschiede. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass der hier verwendete Sitz der Wasserversorger nicht aussagekräftig genug ist, um auf hydrogeologische Begebenheiten zu schließen. Die meisten Wasserressourcen, egal ob Grund-, Quell- oder Oberflächenwasser, die von Wasserversor-

gern gewonnen werden, können nicht direkt der Lage des Sitzes des Wasserversorgers zugeordnet werden. Eine solche Auswertung macht bei vielen anderen Sektoren, wie zum Beispiel der Landwirtschaft, deutlich mehr Sinn (WILHELMI & WILHITE 2002, SWAIN & SWAIN 2011). Beim Sektor der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist jedoch nicht gewährleistet, dass der Sitz des Wasserversorgers die hydrogeologischen Merkmale widerspiegelt. Aus diesem Grund sollte auch die Beobachtung, dass hauptsächlich die Regionen Schwarzwald und Gäu- und Keuperland von potentiellen Auswirkungen betroffen waren, mit Vorsicht bewertet werden. Da ein Großteil der Wasserversorger zusätzliche Kommunen mit Eigenwasser versorgt, macht eine Zuordnung der Wasserressourcen zu einem bestimmten Gebiet mit bestimmten hydrogeologischen Merkmalen fast unmöglich. Ein korrektes Vorgehen würde Kenntnisse des gesamten Versorgungsnetzes mit allen Ressourcen erfordern. Solche gesammelten Informationen liegen für ganz Baden-Württemberg jedoch nicht vor.

Aus den Umfrageergebnissen konnten viele neue Erkenntnisse zum Umgang mit Trockenheit gewonnen werden. Insgesamt haben sich die Wasserversorger in Baden-Württemberg sehr gut aufgestellt. Fast alle Wasserversorger verfügen über mehrere Standbeine, auf die während Trockenheit zurückgegriffen werden kann und diejenigen, die nur über eine Bezugsressource verfügen, sagten aus, dass diese ausreichend sei. Außer bei einem Wasserversorger, der für mehrere Kommunen die Betriebsführung übernommen hat, ist keine einheitliche Strategie bezüglich des Umgangs mit Trockenheit erkennbar. Zusammenfassend kann aus den Umfrageergebnissen geschlossen werden, dass in Baden-Württemberg insgesamt eine geringe Vulnerabilität der öffentlichen Trinkwasserversorgung gegenüber Trockenheit besteht und dass es keinen festgelegten Umgang, sondern vielmehr eine individuelle Planung in Bezug auf Trockenheit gibt.

5.2. Analyse der Vulnerabilität

Eine klassische Analyse der Vulnerabilität sieht vor, die erhobenen Sensitivitäts- und Anpassungsfähigkeitsfaktoren zu operationalisieren, das heißt Bewertungen vorzunehmen, mit denen ein Index gebildet werden kann (vgl. FONTAINE & STEINEMANN 2009, BLAUHUT et al. 2015, DE STEFANO et al. 2015). Demzufolge könnten Wasserversorger in extrem vulnerable bis minimal vulnerable Kategorien eingeteilt werden. Die Bewertung der Faktoren basiert jedoch auf vielen Entscheidungen, die in diesem Zuge getroffen werden müssten. Bei der durchgeführten Umfrage handelt es sich dagegen viel mehr um eine quantitative als um eine qualitative Datenerhebung. Aus diesem Grund wurden bei dieser Umfrage keine Experteninterviews

durchgeführt, wie das zum Beispiel bei FONTAINE & STEINEMANN (2009) der Fall war, mit deren Hilfe eine gerechtfertigte Bewertung der Faktoren vorgenommen werden konnte.

Eine solche Vulnerabilitätsanalyse setzt außerdem Unterschiede im Untersuchungsgebiet voraus. Viele durchgeführte Studien betrachten die Vulnerabilität auf staatlicher (WILHELMI & WILHITE 2002, FONTAINE & STEINEMANN 2009) oder nationaler Ebene (BROOKS et al. 2005) oder für ganz Europa (BLAUHUT et al. 2015) oder ganz Afrika (NAUMANN et al. 2014). Dabei wurden deutliche Unterschiede in der Vulnerabilität festgestellt. Außerdem wurde ein Großteil der Vulnerabilitätsanalysen in Ländern durchgeführt, die in der Vergangenheit stärker von Trockenheit betroffen waren, wie zum Beispiel Indien (BHATTACHARYA & DAS 2007, SWAIN & SWAIN 2011), China (LIU et al. 2013), Bangladesch (HABIBA et al. 2013) und der Iran (ZARAFSHANI et al. 2012).

In Baden-Württemberg herrscht jedoch eine völlig andere Situation. Erste Einschätzungen der Ergebnisse zeigen ein homogenes, stark vernetztes und wenig vulnerables Untersuchungsgebiet. Eine klassische Vulnerabilitätsanalyse stellt diesbezüglich keinen geeigneten Ansatz dar, um die Vulnerabilität des Sektors der öffentlichen Trinkwasserversorgung zu erfassen. Im Folgenden wurde keine klassische Analyse der Vulnerabilität vorgenommen, sondern mittels mehrere Faktoren beispielhaft eine Bewertung der Sensitivität und Anpassungsfähigkeit durchgeführt. In diesem Zusammenhang sollen Aussagen getroffen werden, inwieweit die erhobenen Faktoren für eine Analyse der Vulnerabilität geeignet waren.

Einer der erhobenen Sensitivitätsfaktoren stellt die Struktur der Wasserversorger dar. Die drei Optionen, denen die Wasserversorger in Baden-Württemberg zugeordnet werden können, geben die Vulnerabilität nur in gewissem Maße wieder. Beispielsweise Wasserversorger, die ausschließlich Eigenwasser beziehen könnten als vulnerabler als Wasserversorger mit Eigenwasser und Fremdbezug, einschätzt werden. Wenn das Eigenwasser jedoch ausreichend den Wasserbedarf deckt, wie das über 90% der Wasserversoger angegeben haben, wäre das eine falsche Schlussfolgerung. Wasserversorger mit ausschließlich Fremdbezug sind wiederum von den Wasserversorgern abhängig, die sie versorgen. Daher müssten diese für die Beurteilung der Vulnerabilität herangezogen werden. Für eine solch komplexe Bewertung bedarf es jedoch weiterer Untersuchungen, die gezielt diese Fragestellung angehen sollten.

Nach CUTTER et al. (2008) erhöht die Entwicklung und Umsetzung von proaktiven Maßnahmen, wie zum Beispiel Trockenheitsmanagementpläne, die Anpassungsfähigkeit und verringert somit die Vulnerabilität gegenüber Trockenheit. Auch KOSSIDA et al. (2012) bestätigen, dass

Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind, um die Vulnerabilität zu verringern. Alle Wasserversorger, die keine Maßnahmen zur Risikovorsorge, wie die Entwicklung von Trockenheitsmanagementpläne, angewandt haben, wären demnach vulnerabel. Umso weniger proaktive Maßnahmen gegenüber Trockenheit getroffen wurden, desto stärker vulnerable würden die Wasserversorger eingeordnet werden. Demnach wäre die Mehrzahl der Wasserversorger hoch vulnerabel. Diese Schlussfolgerungen treffen für ein Land wie Baden-Württemberg jedoch nicht zu. Vielmehr liegt die geringe Anzahl an angewandten Maßnahmen zur Risikovorsorge an der (noch) nicht vorhandenen Notwenigkeit, diese zu ergreifen. Eine andere Möglichkeit wäre dennoch, dass die Wasserversorger die Maßnahmen bräuchten, diese jedoch aus verschiedenen Gründen noch nicht umgesetzt haben. In Folge dessen ist es relativ schwierig, aus den bereits angewandten Maßnahmen die Vulnerabilität der Wasserversorger in Baden-Württemberg abzuleiten. Auch die Nutzung von Informations- und Monitoringsystemen zur Früherkennung von Trockenheit sind wichtige Werkzeuge, um die Vulnerabilität zu verringern. Aber auch diese sind für die Bewertung der Vulnerabilität für Baden-Württemberg eher ungeeignet. Da nur ein sehr geringer Anteil der Wasserversorger Information einholt und keiner der Wasserversorger bereits bestehende Monitoringsysteme zur Früherkennung von Trockenheit nutzt. Eine Differenzierung, bzw. Einordnung der Wasserversorger in die verschiedenen Vulnerabilitätskategorien, ist hierbei nicht möglich, bzw. würde zu keinem sinnvollen Ergebnis führen.

Diese beispielhafte Bewertung der Sensitivität und der Anpassungsfähigkeit macht deutlich, dass eine klare Klassifizierung, bzw. Indexierung für ein Land wie Baden-Württemberg mit dem klassischen Vulnerabilitätskonzept keine geeignete Möglichkeit darstellt. Bestimmte Entscheidungen würden zu falschen Schlussfolgerungen führen. Es müssten noch weitere Informationen für eine aussagekräftige Bewertung der Vulnerabilität herangezogen werden. Denn aus den Umfrageergebnissen geht nicht genau hervor, ob die Wasserversorger die Maßnahmen nicht benötigen oder diese dringend bräuchten, aber aus verschiedenen Gründen noch nicht umgesetzt haben. Nichtsdestotrotz haben die Umfrageergebnisse dazu beigetragen, neue Erkenntnisse zum Umgang der Wasserversorger in Baden-Württemberg mit Trockenheit zu gewinnen. Um mit Hilfe von Umfragen auf geeignete Vulnerabilitätsfaktoren schließen zu können, sollten daher zusätzliche Untersuchungen, wie zum Beispiel Experteninterviews durchgeführt werden.

5.3. Unsicherheiten

Der Rücklauf der Online-Umfrage kann mit 40% als hoch eingeschätzt werden. Trotzdem muss dabei berücksichtigt werden, dass es insgesamt 1190 Wasserversorger in Baden-Württemberg gibt, die Einwohner, bzw. Haushalte und Kleingewerbe mit Trinkwasser versorgen. Davon wurden 68% mit der Liste vom MLR abgedeckt. Folglich repräsentieren die geantworteten Wasserversorger 27% aller Wasserversorger in Baden-Württemberg. Diese waren auf ganz Baden-Württemberg relativ gleichmäßig verteilt. Nur ein Landkreis wurde durch keine Wasserversorger dargestellt. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass die Situation durch die geantworteten Wasserversorger gut abgebildet wurde.

Die nach der Art des Wasseraufkommens eingeteilten Gruppen sind alle durch Wasserversorger vertreten. Trotzdem vertritt zum Beispiel die Gruppe der Wasserversorger mit ausschließlich Eigenwasser die gesamten Wasserversorger in Baden-Württemberg stärker (BW: 25%; Umfrage: 46%). Die Wasserversorger mit ausschließlich Fremdbezug werden dagegen unterrepräsentiert (BW: 35%; Umfrage: 12%). Ein Grund hierfür könnte sein, dass sich die Gruppe der Wasserversorger mit ausschließlich Eigenwasser bei der Umfrage zum Thema Trockenheit eher angesprochen gefühlt hat. Wasserversorger mit ausschließlich Fremdbezug haben möglicherweise ein eher geringeres Interesse an diesem Thema. Das könnte daran liegen, dass ein solches Anliegen an Wasserversorger, durch die sie versorgt werden, weitergeben wird. Außerdem wird häufig bei kleineren Kommunen die technische Leitung auf größere Wasserversorger übertragen. Aus einigen Fällen ist hervorgegangen, dass in einem solchen Fall der Link zur Online-Umfrage an die betreffenden Personen weitergeleitet wurde.

In dieser Studie wurde nur die öffentliche Trinkwasserversorgung untersucht. In Bezug auf Trockenheit sollten Eigenwasserversorger jedoch nicht unberücksichtigt bleiben. Wie bereits erwähnt sind 99,6% der Einwohner Baden-Württembergs an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen. Die restlichen (ungefähr 46.100 Einwohner) beziehen Trinkwasser aus eigenen Quellen oder Brunnen. Möglicherweise könnten Eigenwasserversorger weitere Erkenntnisse zu Trockenheit in Baden-Württemberg liefern und vulnerable Regionen aufzeigen. Auch wenn im Rahmen dieser Studie der Fokus auf der öffentlichen Wasserversorgung lag, sollte in weiteren Studien unbedingt ein Augenmerk auf Eigenwasserversorger gelegt werden.

Da die Umfrage hauptsächlich während der Sommerferien durchgeführt wurde, konnten die zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Personen einen gewissen Einfluss auf die Umfrageergebnisse gehabt haben. In wenigen Fällen wurde die Umfrage von stellvertretenden

Personen durchgeführt. Diese gaben jedoch an, mit bestem Wissen und Gewissen, die Umfrage ausgefüllt zu haben. Außerdem wurden für das Trockenereignis im Jahr 2015 mehr Fälle angegeben als für das vergleichbare Trockenheitsereignis im Jahr 2003. Dies könnte möglicherweise daran gelegen haben, dass das Jahr 2015 wesentlich präsenter war als das Jahr 2003. Ein weiterer Grund könnte die geringere Anzahl an Personen sein, die während des Trockenereignisses im Jahr 2003 angestellt waren. Mit der Anmerkung bei bestimmten Fragen weitere Personen zu Rate zu ziehen, wurde versucht, diesen Einfluss so gering wie möglich zu halten.

Die Werte zur jährlichen Wasserabgabe wiesen bei einem geringen Anteil der Wasserversorger nicht plausible Werte aus. Dies war wahrscheinlich der ungünstig gewählten Einheit geschuldet. Dabei ist womöglich der Eindruck entstanden, dass die Umfrage nur auf größere Wasserversorger abziele. In dieser Studie sollte es jedoch hauptsächlich um die Wasserversorger gehen, die zwischen 1.000 und unter 10.000 Einwohner versorgen, da diese fast zwei Drittel der Wasserversorger ausmachen.

Bei der quantitativen Datenerhebung muss beachtet werden, dass diese Methode nur die Daten erhebt, die in der Befragung festgelegt wurden. Auch durch die festgelegten Antwortmöglichkeiten waren nur die von vornherein festgelegten Gesichtspunkte möglich. Mit Hilfe der offenen Fragen wurde ein gewisser Spielraum für die Befragten geschaffen. Dennoch konnte bei der quantitativen Datenerhebung nicht individuell auf jeden einzelnen Wasserversorger eingegangen werden. Hierfür wären weiterführende Experteninterviews ein geeignetes Instrument, welches den Umfang der vorliegenden Arbeit allerdings überschritten hätte.

Außerdem muss beachtet werden, dass Trockenheit von vielen weiteren Faktoren abhängt, die im Rahmen dieser Arbeit nicht erhoben wurden. In dieser Untersuchung wurde nur ein kleiner Teil dieser komplexen Naturgefahr beleuchtet. Auch die Entwicklung der Bevölkerung und die damit verbundenen gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen sowie der technische und wissenschaftliche Fortschritt sind dabei von Bedeutung.

6. Schlussfolgerungen

Die Umfrageergebnisse zeigen ein homogenes, stark vernetztes und wenig vulnerables Untersuchungsgebiet. Auch wenn eine klassische Vulnerabilitätsanalyse keinen geeigneten Ansatz darstellt, um die Vulnerabilität des Sektors der öffentlichen Trinkwasserversorgung zu erfassen, kann eine solche Online-Umfrage als geeignetes Werkzeug gesehen werden, um Wissen direkt bei den Betroffenen abzufragen und um deren Umgang mit Trockenheit quantitativ zu erheben.

Vielmehr sollte bei solchen sehr homogenen Untersuchungsgebieten bei der Betrachtung nur eines Sektors, nach einem ersten erhobenen Überblick zum Umgang mit Trockenheit, Experteninterviews für tiefergreifende Informationen durchgeführt werden. Zum einen könnte dabei gefragt werden, wie effektiv die angewandten Maßnahmen waren und warum Maßnahmen in Bezug auf Trockenheit noch nicht angewandt wurden. Auch ein zeitlicher Bezug wäre interessant. In diesem Zusammenhang könnte danach gefragt werden, wann die Maßnahmen durchgeführt wurden und so Rückschlüsse darüber gezogen werden, ob diese erst kürzlich oder bereits vor vielen Jahren umgesetzt wurden. Möglicherweise könnte man dadurch, mit einer geringeren Anzahl an Experteninterviews, detailliertere Informationen zum Umgang mit Trockenheit erhalten und somit die Vulnerabilität besser einschätzen. Diesbezüglich wäre es sehr interessant, in einer nachfolgenden Untersuchung die Wasserversorger, die bereits ein Trockenheitsmanagement entwickelt oder Maßnahmen umgesetzt haben, zu befragen. Womöglich würde diese Untersuchung Rückschlüsse erlauben, aus welchen speziellen Gründen Wasserversorger diese Entscheidungen getroffen haben.

Ausblick

In Europa gibt es verschieden Beispiele, wie mit der Naturgefahr Trockenheit in Zukunft umgegangen werden soll und an welchen sich Deutschland orientieren könnte. Erst kürzlich, am 17. November 2016, wurde in Slowenien das Recht auf sauberes Trinkwasser mit in die Verfassung aufgenommen (BEUERBACH 2016). Im neuen Verfassungstext heißt es, dass Trinkwasser „keine Ware“ sei (BEUERBACH 2016). Dabei wird das Management der Wasserressourcen vom Land übernommen und somit Privatisierungen verhindert. Der slowenische Ministerpräsident Miro Cerar bezeichnete Wasser als das „flüssige Gold des 21. Jahrhunderts“ (BEUERBACH 2016). Auch wenn in Deutschland die Wasserversorgung größtenteils in der Hand kommunaler Unternehmen liegt, würde eine solche Gesetzesänderung dem Trinkwasser die Bedeutung zuschreiben, die es verdient.

Literaturverzeichnis

BACHMAIR, S., KOHN, I. & STAHL, K. (2015): Exploring the link between drought indicators and impacts. Natural Hazards and Earth System Science, 15 (6), 1381–1397 doi: 10.5194/nhess-15-1381-2015.

BACHMAIR, S., STAHL, K., COLLINS, K., HANNAFORD, J., ACREMAN, M., SVOBODA, M., KNUTSON, C., SMITH, K.H., WALL, N., FUCHS, B., CROSSMAN, N.D. & OVERTON, I.C. (2016): Drought indicators revisited: The need for a wider consideration of environment and society. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3 (4), 516–536 doi: 10.1002/wat2.1154.

BECK, C., RUDOLF, B., SCHÖNWIESE, C.-D., STAEGER, T. & TRÖMEL, S. (2007): Entwicklung einer Beobachtungsdatengrundlage für DEKLIM und statistische Analyse der Klimavariabilität: Abschlussbericht zum DEKLIM-Projekt VASClimO. http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/files/6234/Inst_6_mod1.pdf (Zugriff: 10.11.2016).

BEUERBACH, A. (2016): Versorger 18. Nov 2016. https://www.greenpeace-magazin.de/nachrichtenarchiv/slowenien-nimmt-das-recht-auf-sauberes-trinkwasser-die-verfassung-auf (Zugriff: 09.12.2016).

BHATTACHARYA, S. & DAS, A. (2007): Vulnerability to Drought, Cyclones and Floods in India: European Commission BASIC project, BASIC project paper, 9.

BIRKMANN, J., CARDONA, O.D., CARREÑO, M.L., BARBAT, A.H., PELLING, M., SCHNEIDERBAUER, S., KIENBERGER, S., KEILER, M., ALEXANDER, D., ZEIL, P. & WELLE, T. (2013): Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. Natural Hazards, 67 (2), 193–211 doi: 10.1007/s11069-013-0558-5.

BLAUHUT, V., STAHL, K., STAGGE, J.H., TALLAKSEN, L.M., STEFANO, L. de & VOGT, J. (2015): Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, hazard indicators and vulnerability factors. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 12: 12515–12566 doi: 10.5194/hessd-12-12515-2015.

BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Spektrum.

BROOKS, N., NEIL ADGER, W. & MICK KELLY, P. (2005): The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change, 15 (2), 151–163 doi: 10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006.

BRYANT, E. (2005): Natural hazards. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.

CUTTER, S.L., BARNES, L., BERRY, M., BURTON, C., EVANS, E., TATE, E. & WEBB, J. (2008): A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change, 18 (4), 598–606 doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013.

DE STEFANO, L., URQUIJO, J., KAMPRAGKOU E. & ASSIMACOPOULOS, D. (2015): Lessons learnt from the analysis of past drought management practices in selected European regions: Experience to guide future policies. European Water, 49: 107–117 doi: 10.1002/9781119197249.ch1.

DEUTSCHLÄNDER, T. & MÄCHEL, H. (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In: BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.). Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Spektrum, 47–56. doi: 10.1007/978-3-662-50397-3_6.

DORMANN, C.F. (2013): Parametrische Statistik: Verteilungen, maximum likelihood und GLM in R. SpringerLink Bücher. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

EEA (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: An indicator-based report. EEA report 2012. Luxembourg: Office for Official Publ. of the Europ. Union.

FEKETE, A., HUFSCHMIDT, G. & KRUSE, S. (2014): Benefits and Challenges of Resilience and Vulnerability for Disaster Risk Management. International Journal of Disaster Risk Science, 5 (1), 3–20 doi: 10.1007/s13753-014-0008-3.

FONTAINE, M.M. & STEINEMANN, A. (2009): Assessing Vulnerability to Natural Hazards: Impact-Based Method and Application to Drought in Washington State. Nat. Hazards Rev., 10: 11–18 doi: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2009)10:1(11).

GWD-WV (2016): Grundwasserdatenbank Wasserversorgung. http://www.grundwasserdatenbank.de/ (Zugriff: 23.11.2016).

HABIBA, U., SHAW, R. & HASSAN, A.W.R. (2013): Drought Risk and Reduction Approaches in Bangladesh. In: SHAW, R., MALLICK, F.H. & ISLAM, A. (Hrsg.). Disaster risk reduction approaches in Bangladesh. Disaster Risk Reduction. Tokyo, New York: Springer, 131–164. doi: 10.1007/978-4-431-54252-0_7.

HENNEGRIFF, W., IHRINGER, J. & KOLOKOTRONIS, V. (2008): Prognose von Auswirkungen des Klimawandels auf die Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 1 (6), 309–314 doi: 10.3243/kwe2008.06.003.

HOFMANN, K. (2009): Wasserversorgung in Baden-Württemberg und Förderung durch das Land: Aktuelle Fragen der Trinkwasserhygiene am 09.05.2009.

IONESCU, C., KLEIN, R.J.T., HINKEL, J., KAVI KUMAR, K.S. & KLEIN, R. (2009): Towards a Formal Framework of Vulnerability to Climate Change. Environmental Modeling & Assessment, 14 (1), 1–16 doi: 10.1007/s10666-008-9179-x.

IPCC (2007): Climate change 2007 - impacts, adaptation and vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

JONAS, M., STAEGER, T. & SCHÖNWIESE, C.-D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen: Schwerpunkt Deutschland. http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/files/6231/InstBer1_pdf.pdf (Zugriff: 10.11.2016).

KASPAR, F., MÄCHEL, H., JACOB, D. & KOTTMEIER, C. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.). Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Spektrum, 17–26. doi: 10.1007/978-3-662-50397-3_3.

KNUTSON, C.L., HAYES, M.J. & PHILLIPS, T. (1998): How to reduce drought risk.

KOSSIDA, M., KAKAVA, A., TEKIDOU, A. & MIMIKOU, M. (2012): Vulnerability to water scarcity and drought in Europe: Thematic assessment for EEA Water 2012 Report, ETC. European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine Waters, (ICM Technical Report 3/2012).

KRUSE, S. & SEIDL, I. (2015): Trockenheit im Obstbau − Befragung von Landwirten in der Nordost- und Nordwestschweiz. Agrarforschung Schweiz, 6 (2), 56–63.

KRUSE, S., SEIDL, I. & STÄHLI, M. (2010): Informationsbedarf zur Früherkennung von Trockenheit in der Schweiz: Die Sicht potenziell betroffener Nutzergruppen. Wasser Energie Luft, 102 (4), 305–308.

LGL (2015): Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg: Open Data für Geobasisdaten. Verwaltungsgrenzen. Stuttgart.

LGRB (2004): Lithostratigraphische Regionen Baden-Württembergs. www.lgrb.uni-freiburg.de (Zugriff: 23.11.2016).

LIU, X., WANG, Y., PENG, J., BRAIMOH, A.K. & YIN, H. (2013): Assessing vulnerability to drought based on exposure, sensitivity and adaptive capacity: A case study in middle Inner Mongolia of China. Chinese Geographical Science, 23 (1), 13–25 doi: 10.1007/s11769-012-0583-4.

LLOYD-HUGHES, B. (2014): The impracticality of a universal drought definition. Theoretical and Applied Climatology, 117 (3-4), 607–611 doi: 10.1007/s00704-013-1025-7.

MINKE, R. (2014): Prognostizierte Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserversorgung in Baden-Württemberg. In: STEINMETZ, H. (Hrsg.). Zukünftige Herausforderungen für die Wasserversorgung: Vom Klimawandel über die Demografie bis hin zur Organisation. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 219. München: DIV Dt. Industrieverl., 17–29.

MUDELSEE, M. (2017): Exkurs: Unsicherheiten bei der Analyse und Attribution von Hochwasserereignissen. In: BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.). Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Spektrum, 103–109. doi: 10.1007/978-3-662-50397-3_11.

NAUMANN, G., BARBOSA, P., GARROTE, L., IGLESIAS, A. & VOGT, J. (2014): Exploring drought vulnerability in Africa: An indicator based analysis to be used in early warning systems. Hydrology and Earth System Sciences, 18 (5), 1591–1604 doi: 10.5194/hess-18-1591-2014.

NAUMANN, G., SPINONI, J., VOGT, J.V. & BARBOSA, P. (2015): Assessment of drought damages and their uncertainties in Europe. Environmental Research Letters, 10 (12), 124013 doi: 10.1088/1748-9326/10/12/124013.

NOW (2016): Wasserversorgung Nordostwürttemberg. www.now-wasser.de (Zugriff: 24.11.2016).

ROSSI, G. (2000): Drought Mitigation Measures: A Comprehensive Framework. In: VOGT, J.V. & SOMMA, F. (Hrsg.). Drought and Drought Mitigation in Europe. Advances in Natural and Technological Hazards Research 14. Dordrecht: Springer, 233–246. doi: 10.1007/978-94-015-9472-1_18.

RP BW (2016): Regierungspräsidien Baden-Württemberg. www.rp.baden-wuerttemberg.de (Zugriff: 23.11.2016).

SIEHR, M. & MAHLER, J. (2014): Vulnerabilität und Resilienz der Wasserversorgung in der Region Stuttgart. In: STEINMETZ, H. (Hrsg.). Zukünftige Herausforderungen für die Wasserversorgung: Vom Klimawandel über die Demografie bis hin zur Organisation. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 219. München: DIV Dt. Industrieverl.

SMIT, B. & WANDEL, J. (2006): Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change, 16 (3), 282–292 doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008.

STAHL, K., KOHN, I., BLAUHUT, V., URQUIJO, J., DE STEFANO, L., ACÁCIO, V., DIAS, S., STAGGE, J.H., TALLAKSEN, L.M., KAMPRAGOU, E., VAN LOON, A.F., BARKER, L.J., MELSEN, L.A., BIFULCO, C., MUSOLINO, D., DE CARLI, A., MASSARUTTO, A., ASSIMACOPOULOS, D. & VAN LANEN, HENNY A. J. (2016): Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. Natural Hazards and Earth System Sciences, 16 (3), 801–819 doi: 10.5194/nhess-16-801-2016.

STAHL, K., STAGGE, J.H., BACHMAIR, S., BLAUHUT, V., REGO, F.C., DE STEFANO, L., DIAS, S., GUDMUNDSSON, L., GUNST, L., KOHN, I., VAN LANEN, H.A., REGUERA, J.U. & TALLAKSEN, L.M. (2015): Recommendations for indicators for monitoring and early-warning considering different sensitivities: pan-European scale: Technical Report No. 28.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2015a): Umwelt: Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. Öffentliche Wasserversorgung 2013.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2015b): Umwelt: Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung. Strukturdaten zur Wasserwirtschaft 2013.

STATISTISCHES LANDESAMT BW (2016): Stuttgart. www.statistik.baden-wuerttemberg.de (Zugriff: 23.11.2016).

STAUDER, S., MORHARD, A., BRAUER, F., FISCHER T. & HOCHMUT D. (2015): Vulnerabilitätsanalyse von Wasserversorgungsunternehmen im südlichen Schwarzwald hinsichtlich des Klimawandels: KLIMOPASS - Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg.

STELAND, A. (Hrsg.) (2007): Basiswissen Statistik: Kompaktkurs für Anwender aus Wirtschaft, Informatik und Technik. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

STÖLZLE, M. & STAHL, K. (2011): Wassernutzung und Trockenheitsindikatoren in Baden-Württemberg: Eine Umfrage unter betroffenen Akteuren. Standort-Zeitschrift für angewandte Geographie, 35 (3), 94–101 doi: 10.1007/s00548-011-0169-x.

SWAIN, M. & SWAIN, M. (2011): Vulnerability to Agricultural Drought in Western Orissa: A Case Study of Representative Blocks. Agricultural Economics Research Review, 24 (1), 47–56.

TALLAKSEN, L.M. & VAN LANEN, H. (2004): Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Developments in water science 48. 1st ed.: Elsevier.

THYWISSEN, K. (2006): Components of risk: A comparative glossary. Studies of the university 2. Bonn: United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS).

TURNER, B.L.2., KASPERSON, R.E., MATSON, P.A., MCCARTHY, J.J., CORELL, R.W., CHRISTENSEN, L., ECKLEY, N., KASPERSON, J.X., LUERS, A., MARTELLO, M.L., POLSKY, C.,

PULSIPHER, A. & SCHILLER, A. (2003): A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100 (14), 8074–8079 doi: 10.1073/pnas.1231335100.

UNISDR (2009): United Nations International Strategy for Disaster Reduction: Terminology on Disaster Risk Reduction.

VAN LANEN, H., LAAHA, G., KINGSTON, D.G., GAUSTER, T., IONITA, M., VIDAL, J.-P., VLNAS, R., TALLAKSEN, L.M., STAHL, K., HANNAFORD, J., DELUS, C., FENDEKOVA, M., MEDIERO, L., PRUDHOMME, C., RETS, E., ROMANOWICZ, R.J., GAILLIEZ, S., WONG, W.K., ADLER, M.-J., BLAUHUT, V., CAILLOUET, L., CHELCEA, S., FROLOVA, N., GUDMUNDSSON, L., HANEL, M., HASLINGER, K., KIREEVA, M., OSUCH, M., SAUQUET, E., STAGGE, J.H. & VAN LOON, A.F. (2016): Hydrology needed to manage droughts: the 2015 European case. Hydrological Processes, 30 (17), 3097-3104 doi: 10.1002/hyp.10838.

VAN LOON, A.F. (2015): Hydrological drought explained. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2 (4), 359–392 doi: 10.1002/wat2.1085.

WABOA (2012): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. 4. erw. Ausg. Stuttgart: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg.

WILHELMI, O.V. & WILHITE, D.A. (2002): Assessing Vulnerability to Agricultural Drought: A Nebraska Case Study. Natural Hazards, 25 (1), 37–58.

WILHITE, D.A. (2000): Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. In: WILHITE, D.A. (Hrsg.). Drought: A Global Assessment Vol. 1. London: Routledge, 3–18.

WILHITE, D.A. (2011): Quantification of Agricultural Drought for Effective Drought Mitigation and Preparedness: Key Issues and Challenges. Drought Mitigation Center Faculty Publications, (Paper 82).

WILHITE, D.A. & GLANTZ, M.H. (1985): Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International, 10 (3), 111–120 doi: 10.1080/02508068508686328.

WILHITE, D.A. & KNUTSON, C.L. (2008): Drought management planning: Conditions for success. Options Méditerranéennes, Series A (80), 141–148.

WILHITE, D.A., SVOBODA, M.D. & HAYES, M.J. (2007): Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. Water Resources Management, 21 (5), 763–774 doi: 10.1007/s11269-006-9076-5.

WISNER, B., BLAIKIE, P., CANNON, T. & DAVIS, I. (2004): At risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters. 2nd ed. London, New York: Routledge.

WKK (2016): Kurzmeldung vom 12. Januar 2016: Zweckverband Wasserversorgung Kleine Kinzig. www.zvwkk.de (Zugriff: 24.11.2016).

ZARAFSHANI, K., SHARAFI, L., AZADI, H., HOSSEININIA, G., MAEYER, P. de & WITLOX, F. (2012): Drought vulnerability assessment: The case of wheat farmers in Western Iran. Global and Planetary Change, 98: 122–130 doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.012.

ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U. & CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland: Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. http://www.umweltbundesamt.de (Zugriff: 16.07.2016).

ZVLW (2016): Zweckverband Landeswasserversorgung. Stuttgart.

Anhang

A. Online-Umfrage

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,

herzliche willkommen und vielen Dank für Ihr Interesse an unserer Umfrage.

Der Sommer 2015 hat wieder einmal die Anfälligkeit vieler Regionen in Baden-Württemberg gegenüber der Naturgefahr Trockenheit verdeutlicht. Die klimatische Situation führte unter anderem zum Versiegen von Quellen, zu niedrigen Grundwasserständen, Ernteeinbußen in der Landwirtschaft und vielen weiteren negativen Auswirkungen.

Im Rahmen des neuen Forschungsverbundes DRIeR zu Trockenheitsfolgen, untersuchen wir an der Professur für Hydrologie der Universität Freiburg solche sektorspezifische Auswirkungen von Trockenheit.

An unserer Umfrage nehmen über 800 Trinkwasserversorger in Baden-Württemberg teil. Daher bitten wir auch Sie, uns Ihr persönliches Fachwissen zu den **Auswirkungen von Trockenheit auf die Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg** zu vermitteln.

Diese wissenschaftliche Umfrage findet vertraulich statt, sämtliche Ergebnisse werden nur für dieses Forschungsprojekt verwendet. Der Fragebogen besteht aus 15 Fragen und benötigt etwa 20 Minuten Zeit. Sie können die Befragung jeder Zeit unterbrechen und sie zu einem späteren Zeitpunkt weiterführen.

WASSERNETZWERK BADEN-WÜRTTEMBERG DRIeR

Mit freundlichen Grüßen

Giuliana Falasca

Beginnen

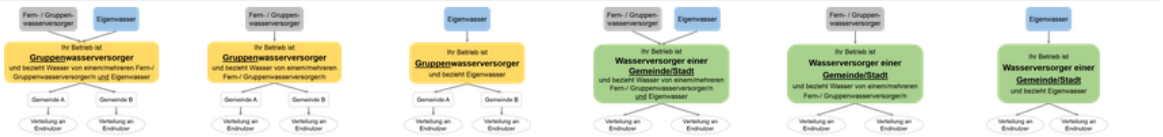
Allgemeine Angaben

1. Bitte geben Sie den Namen Ihres Wasserversorgungsunternehmens an:

Es werden Ihnen Vorschläge angezeigt. Bitte beginnen Sie mit dem Eigennamen Ihres Betriebes, bzw. mit dem Namen Ihrer Gemeinde/Stadt.

2. Wir möchten Ihre Position als Trinkwasserversorger besser verstehen. Die unten aufgeführten Schemata unterscheiden zwischen Gruppenwasserversorgern und Wasserversorgern einer Gemeinde/Stadt und deren Trinkwasserbezug.

Zum Vergrößern und Auswählen klicken Sie bitte auf ein Schema und entscheiden Sie welches auf Ihren Wasserversorger am ehesten zutrifft.



Je nach Antwort unterteilt sich hier der Fragebogen in drei Optionen:

1. Option: Wasserversorger mit Fremdbezug und Eigengewinnung:

3. Falls zutreffend, geben Sie bitte an an welche(n) der hier genannten Fernwasserversorger Sie angeschlossen sind. Um Gruppenwasserversorger anzugeben, nutzen Sie bitte unten die je nach Bedarf erscheinenden Eingabefelder.

Bitte geben Sie den Anteil der Bezüge zu Ihrer Gesamtwasserversorgung an. Falls Sie ein Netzwerk nur im Notfall nutzen, machen Sie bitte in der letzten Spalte ein Häckchen.

Fernwasserversorger	Anteil	nur im Notfall
☐ Bodensee-Wasserversorgung (BWV)	%	☐
☐ Landeswasserversorgung (LW)	%	☐
☐ Wasserversorgung Nord-Ost-Württemberg (NOW)	%	☐
☐ Wasserversorgung Kleine Kinzig (WKK)	%	☐
Gruppenwasserversorger:	%	☐

4. Aus welchen Ressourcen setzt sich Ihr Eigenwasser im Durchschnitt zusammen?

Grundwasser	%
Quellwasser	%
Uferfiltrat	%
Angereichertes Grundwasser	%
Seewasser	%
Talsperrenwasser	%
Flusswasser	%

2. Option: Wasserversorger mit ausschließlich Fremdbezug:

3. Falls zutreffend, geben Sie bitte an an welche(n) der hier genannten Fernwasserversorger Sie angeschlossen sind. Um Gruppenwasserversorger anzugeben, nutzen Sie bitte unten die je nach Bedarf erscheinenden Eingabefelder.

Bitte geben Sie den Anteil der Bezüge zu Ihrer Gesamtwasserversorgung an. Falls Sie ein Netzwerk nur im Notfall nutzen, machen Sie bitte in der letzten Spalte ein Häckchen.

Fernwasserversorger	Anteil	nur im Notfall
☐ Bodensee-Wasserversorgung (BWV)	%	☐
☐ Landeswasserversorgung (LW)	%	☐
☐ Wasserversorgung Nord-Ost-Württemberg (NOW)	%	☐
☐ Wasserversorgung Kleine Kinzig (WKK)	%	☐
Gruppenwasserversorger:	%	☐

3. Option: Wasserversorger mit ausschließlich Eigengewinnung:

3. Warum sind Sie an keinen Fern-/Gruppenwasserversorger angeschlossen?

- ☐ zu hohe Kosten
- ☐ zu geringer Nutzen
- ☐ Eigenwasser reicht aus
- ☐ Anderer/weiterer Grund:

4. Aus welchen Ressourcen setzt sich Ihr Eigenwasser im Durchschnitt zusammen?

Grundwasser	%
Quellwasser	%
Uferfiltrat	%
Angereichertes Grundwasser	%
Seewasser	%
Talsperrenwasser	%
Flusswasser	%

Hier führt der Frageboden wieder zusammen.

5. Wie hoch ist Ihre durchschnittliche Jahreswasserabgabe?

Eigenwasser plus Wasserbezug von Fern-/Gruppenwasserversorger

Mio. m³

6. Welche Gemeinden/Städte versorgen Sie mit Trinkwasser?

Bitte nehmen Sie sich für diese Frage Zeit. Ihre Antwort ist für die Untersuchung sehr wichtig.

Bitte nutzen Sie die je nach Bedarf erscheinenden Eingabefelder.

Bezugsressourcen während Trockenheit / Niedrigwasser

7. Gibt es in Ihrem Betrieb (interne) Grenzwerte, ab denen aufgrund von Trockenheit auf andere/zusätzliche Wasserbezüge zugegriffen wird?

Wir würden uns über Kommentar Ihrerseits sehr freuen.

	Kommentar
☐ Pegelstand **Fluss**	
☐ Pegelstand **Talsperre/Speichersee**	
☐ Pegelstand **Grundwasser**	
☐ anderer Grenzwert	

☐ **kein** (interner) Grenzwert vorhanden

8. Mussten Sie zwischen 2000 und 2015 außerplanmäßig aufgrund von Trockenheit auf andere/zusätzliche Wasserbezüge zurückgreifen?

○ Ja

○ Nein, zu keinem Zeitpunkt.

Falls ‚Nein, zu keinem Zeitpunkt' angekreuzt wurde, kann folgende Frage übersprungen werden:

Wir bitten Sie sich Ihre Wassergewinnungsdaten für die Beantwortung dieser Frage zur Hilfe zu nehmen. Falls Sie nicht über den ganzen Zeitraum Aussagen darüber treffen können, beziehen Sie bitte Ihre Kollegen mit ein.

9. Wann mussten Sie zwischen 2000 und 2015 außerplanmäßig aufgrund von Trockenheit auf andere/zusätzliche Wasserbezüge zurückgreifen? Geschah dies aus Wasserquantitäts- oder Wasserqualitätsgründen?

Bitte wählen Sie die fünf wichtigsten Fälle aus und tragen Sie deren Zeitspanne in folgende Felder ein.

	von		bis		Wasserquantität	Wasserqualität
Fall 1	[Monat]	[Jahr]	[Monat]	[Jahr]	☐	☐
Fall 2	[Monat]	[Jahr]	[Monat]	[Jahr]	☐	☐
Fall 3	[Monat]	[Jahr]	[Monat]	[Jahr]	☐	☐
Fall 4	[Monat]	[Jahr]	[Monat]	[Jahr]	☐	☐
Fall 5	[Monat]	[Jahr]	[Monat]	[Jahr]	☐	☐

Maßnahmen zur Risikovorsorge gegenüber Trockenheit

10. Wurden folgende Maßnahmen zur langfristigen Risikovorsorge bei Ihnen schon einmal angewandt?

ja	nein	geplant	
○	○	○	Vergrößerung der Kapazitäten (z. B. Neu-/Umbau von (Hoch)Wasserbehältern)
○	○	○	Anschluss an einen/mehrere der vier großen Fernwasserversorger (BWV, LW, NOW, WKK)
○	○	○	Anschluss an Gruppenwasserversorger
○	○	○	Zusätzlicher Bezug von einem Fern-/ Gruppenwasserversorger
○	○	○	Erhöhung der Bezugsrechte von einem Fern-/Gruppenwasserversorger
○	○	○	Erschließung neuer Quellen/Brunnen
○	○	○	Entwicklung von Trockenheitsmanagement/Notfallplänen
○	○	○	Weitere:
○	○	○	Weitere:

Maßnahmen zum Risikomanagement gegenüber Trockenheit

11. Wurden folgende akute Maßnahmen zum Risikomanagement bei Ihren schon einmal angewandt?

ja	nein	geplant	
○	○	○	Umstellung der Bezugsressource(n) (z. B. von Quellwasser auf Grundwasser)
○	○	○	Aktivierung von Notfallressourcen (z. B. Inbetriebnahme vorhandener Brunnen, die sonst nicht genutzt werden)
○	○	○	Zuspeisung von durch das Gesundheitsamt zugelassenen Notfallbrunnen
○	○	○	Umschalten auf einen anderen Wasserverbund
○	○	○	Aufrufen zur Wassereinsparung
○	○	○	Organisation von ‚Selbsthilfegruppen', welche sich im Notfall gegenseitig unterstützen
○	○	○	Weitere:
○	○	○	Weitere:

Monitoringsysteme

12. Wie häufig nutzt Ihr Betrieb folgende Informationen / Monitoringsysteme zur Früherkennung von Trockenheit / Niedrigwasser?

	jede Woche	jeden Monat	wenige Male im Jahr	im Notfall	nie	nicht bekannt
(Interne) Grenzwerte	○	○	○	○	○	○
(Interne) Informationsquellen (z. B. Verbundzeitung, Mitteilungsblatt)	○	○	○	○	○	○
(Interne) Informationen durch die Behörden	○	○	○	○	○	○
Abstimmung der Trinkwasserversorger untereinander	○	○	○	○	○	○
German Drought Monitor (Helmholtz Zentrum München)	○	○	○	○	○	○
European Drougth Observatory (European Commission)	○	○	○	○	○	○
Globale Trockenheits-Monitoring Plattformen	○	○	○	○	○	○
Weitere:	○	○	○	○	○	○
Weitere:	○	○	○	○	○	○

Fragen zu Ihrer persönlichen Einschätzung

13. Wie sehr stimmen Sie folgenden Aussagen zu?

	stimme zu	stimme eher zu	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu	nicht einschätzbar
Trockenheit wird in Baden-Württemberg in Zukunft häufiger auftreten als bisher.	○	○	○	○	○
Trockenheit wird in Baden-Württemberg in Zukunft länger auftreten als bisher.	○	○	○	○	○
Mein Unternehmen wird in Zukunft öfters von Trockenheit betroffen sein.	○	○	○	○	○
Wenn Trockenheit in Zukunft zunimmt, wird mein Unternehmen von negativen Auswirkungen betroffen sein.	○	○	○	○	○
Die von mir genutzten Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden.	○	○	○	○	○
Die zur Verfügung stehenden Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden.	○	○	○	○	○
Es besteht Handlungsbereitschaft, Maßnahmen zu ergreifen, um negative Auswirkungen durch Trockenheit zu minimieren.	○	○	○	○	○
Für mein Unternehmen besteht Bedarf nach einem gesetzlich verankerten Trockenheitsmanagement (ähnlich wie Hochwassergefahrenkarten).	○	○	○	○	○
Ich wäre interessiert daran, mich in Zukunft regelmäßig(er) mit anderen Versorgungsunternehmen bzw. der Wasserbehörde auszutauschen um negative Auswirkungen zu vermeiden.	○	○	○	○	○

Im Rahmen unserer Untersuchung würden wir gerne flächendeckende, quantitative "Schadensfunktionen" für den Bereich Trinkwasserversorgung erstellen. Hierfür benötigen wir Zeitreihen Ihrer Wassergewinnungsdaten. **Diese werden seperat gesammelt und vollkommen vertraulich und anonymisiert behandelt.**

14. Würden auch Sie sich bereit erklären uns Wassergewinnungsdaten (möglichst hoch aufgelöste Zeitreihen: z. B. Tageswerte) von einer oder zwei ausgewählten Quellen/Wasserwerken zu übermitteln?

	ja	nein, weil...	
Wassergewinnungsdaten	○	○	

Wenn Sie uns Ihre Daten zur Verfügung stellen möchten, können Sie diese hier hochladen. Bitte benennen Sie die Daten nach dem Bezugsort.

Durchsuchen... Keine Datei ausgewählt.

Durchsuchen... Keine Datei ausgewählt.

15. Abschließend möchten wir Ihnen folgene Fragen stellen:

ja	nein	
○	○	Wären Sie an **Forschungsergebnissen** interessiert?
○	○	Wären Sie bereit für ein vertiefendes **Interview**?
○	○	Stehen Sie für **Nachfragen** zur Verfügung?

Hier können Sie Ihre Kontaktdaten angeben, auch diese werden vertraulich behandelt.

E-Mail Adresse

Telefonnummer

Gibt es sonst noch etwas, das Sie uns mitteilen wollen? Kritik, Anregungen, Fragen sind herzlich willkommen:

B. Ergebnisse der Online-Umfrage

Anhang B Tab. 1: Gruppierung der Wasserversorger (WV) (GWV: Gruppenwasserversorger).

Optionen	Anzahl WV	Art des WV	Art des Bezugs
1	104	Kommunen	mit Fremdbezug und Eigengewinnung
	34	GWV	
2	34	Kommunen	mit ausschließlich Fremdbezug
	3	GWV	
3	121	Kommunen	mit ausschließlich Eigengewinnung
	29	GWV	

Anhang B Tab. 2: Art des Fremdbezugs (Option 1 und 2).

Fremdbezüge	Anzahl WV	nur im Notfall
Bodenseewasserversorgung	59	1
Landeswasserversorgung	32	0
Wasserversorgung Nordostwürttemberg	19	2
Wasserversorgung Kleine Kinzig	15	1
1. Gruppenwasserversorger	55	4
2. Gruppenwasserversorger	11	2
3. Gruppenwasserversorger	4	2

Anhang B Tab. 3: Anteile des Wassers durch Fremdbezug (Option 1 und 2) (BWV: Bodenseewasserversorgung, LW: Landeswasserversorgung, NOW: Wasserversorgung Nordostwürttemberg, WKK: Wasserversorgung Kleine Kinzig, GWV: Gruppenwasserversorger, Min: Minimum, 1. Qu.: unteres Quantil, Mean: Mittelwert, 3. Qu.: oberes Quantil, Max: Maximum).

Fremdbezüge	Min	1. Qu.	Median	Mean	3. Qu.	Max
BWV	0,08	30	54	53	70	100
LW	18	36	58	61	98	100
NOW	5	31	82	68	100	100
WKK	4	23	33	43	65	100
1. GWV	1	15	38	46	76	100
2. GWV	0,34	3	12	11	15	30
3. GWV	0,10	3	5	5	8	10

Anhang B Tab. 4: Anteile des Wassers durch Eigengewinnung (Option 1 und 3) (Min: Minimum, 1. Qu.: unteres Quantil, Mean: Mittelwert, 3. Qu.: oberes Quantil, Max: Maximum).

Wasserressourcen	Min	1. Qu.	Median	Mean	3. Qu.	Max
Grundwasser	3	61	100	81	100	100
Quellwasser	2	40	90	70	100	100
Uferfiltrat	5	21	50	49	67	100
angereichertes Grundwasser	100	100	100	100	100	100
Seewasser	26	59	82	72	95	100

Anhang B Tab. 5: Warum sind Sie an keinen Fern- oder Gruppenwasserversorger angeschlossen? (Option 3) (Mehrfachantworten möglich).

Antwortmöglichkeiten	Anzahl WV
zu hohe Kosten	11
zu geringer Nutzen	1
Eigengewinnung reicht aus	136
keine (bessere) Möglichkeit	8
anderer/weiterer Grund	7

Anhang B Tab. 6: Jahreswasserabgabe (Min: Minimum, 1. Qu.: unteres Quantil, Mean: Mittelwert, 3. Qu.: oberes Quantil, Max: Maximum).

Min	1. Qu.	Median	Mean	3. Qu.	Max
2900	181500	320000	825800	700000	23000000

Anhang B Tab. 7: Grenzwerte, ab denen auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zurückgegriffen wurde (Mehrfachantworten möglich).

Antwortmöglichkeiten	Anzahl WV
Pegelstand Grundwasser	20
Pegelstand Fluss	2
Pegelstand Talsperre oder Speichersee	0
Quellschüttung oder Hochbehälter	12
anderer Grenzwert	5
keine (internen) Grenzwerte vorhanden	278
nicht beantwortet	13

Anhang B Tab. 8: Mussten Sie zwischen den Jahren 2000 und 2015 außerplanmäßig auf Grund von Trockenheit auf andere oder zusätzliche Wasserressourcen zugreifen?

Antwortmöglichkeiten	Anzahl WV
Ja	23
Nein, zu keinem Zeitpunkt.	299
nicht beantwortet	3

Anhang B Tab. 9: Anzahl der Wasserversorger, die folgende Maßnahmen zur Risikovorsorge schon einmal angewandt haben.

Antwortmöglichkeiten	ja	geplant	nein	nicht beantwortet
Vergrößerung der Kapazitäten	84	20	197	24
Anschluss an FWV	53	5	231	36
Anschluss an GWV	47	12	228	38
Zusätzlicher Bezug von FWV/GWV	34	12	238	41
Erhöhung der Bezugsrechte von FWV/GWV	29	7	253	37
Erschließung neuer Quellen/Brunnen	38	18	235	34
Trockenheitsmanagement/Notfallpläne	41	14	227	43
Investitionen*	15	4	0	306**

* aus den Freitextantworten zusammengefasst (** daher die hohe Anzahl an nicht beantworteten Fragen).

Anhang B Tab. 10: Anzahl der Wasserversorger, die folgende Maßnahmen zum Risikomanagement schon einmal angewandt haben.

Antwortmöglichkeiten	ja	geplant	nein	nicht beantwortet
Umstellung der Bezugsressource(n)	25	1	273	26
Aktivierung von Notfallressourcen	18	13	270	24
Zuspeisung von Notfallbrunnen	7	4	286	28
Aufrufen zur Wassereinsparung	23	9	270	23
Umschalten auf anderen Wasserverbund	27	2	269	27
Organisation von Selbsthilfegruppen	4	4	289	28

Anhang B Tab. 11: Anzahl der Wasserversorger, die folgende Informations- und Monitoringsysteme zur Früherkennung von Trockenheit nutzen (unter Angabe der Häufigkeit).

Antwortmöglichkeiten	jede Woche	jeden Monat	wenige Male im Jahr	nur im Notfall	nie	nicht beantwortet
(interne) Grenzwerte	58	23	16	39	122	67
(interne) Informationsquellen	5	5	23	44	165	83
(interne) Informationen durch die Behörden	4	6	26	67	135	87
Abstimmung der Wasserversorger untereinander	4	13	32	56	141	79
German Drought Monitor	0	0	0	0	165	160
European Drougth Observatory	0	0	0	0	167	158
Globale Trockenheits-/Monitoringplattformen	0	0	0	0	166	159

Anhang B Tab. 12: Anzahl der Wasserversorger, die folgenden Aussagen (eher) zustimmen, bzw. (eher) nicht zustimmen.

Antwortmöglichkeiten	stimme zu	stimme eher zu	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu	nicht beant-wortet
Trockenheit wird in BW in Zukunft häufiger auftreten als bisher	123	111	17	12	62
Trockenheit wird in BW in Zukunft länger auftreten als bisher	98	114	30	13	70
Mein Unternehmen wird in Zukunft öfters von Trockenheit betroffen sein.	37	47	104	79	58
Wenn Trockenheit in Zukunft zunimmt, wird mein Unternehmen von negativen Auswirkungen betroffen sein.	20	54	118	76	57
Die von mir genutzten Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden.	110	112	15	7	81
Die zur Verfügung stehenden Informationen sind ausreichend, um Maßnahmen einzuleiten, die Schäden durch Trockenheit vermeiden.	107	99	19	11	89
Es besteht Handlungsbereitschaft, Maßnahmen zu ergreifen, um negative Auswirkungen durch Trockenheit zu minimieren.	48	85	67	62	63
Für mein Unternehmen besteht Bedarf nach einem gesetzlich verankerten Trockenheitsmanagement (ähnlich wie Hochwassergefahrenkarten).	4	19	104	149	49
Ich wäre interessiert daran, mich in Zukunft regelmäßig(er) mit anderen Versorgungsunter-nehmen bzw. der Wasserbehörde auszutauschen um negative Auswirkungen zu vermeiden.	55	89	63	75	43

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurde.

Ort, Datum Unterschrift