

Schriftenreihe Umweltingenieurwesen

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Band 130

Dissertation

Felix Heumer

Risikoanalyse von Trinkwasserversorgungssystemen in kleinen bis mittleren Wasserversorgungsunternehmen und Ableitung von Maßnahmen der Risikominimierung

PROFESSUR

Wasserwirtschaft

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

ISBN 978-3-86009-567-6

DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004734

Umweltingenieurwesen ■ Wasserwirtschaft

Bd.

130

Schriftenreihe

Schriftenreihe Umweltingenieurwesen

Band 130

Dissertation

Felix Heumer

**Risikoanalyse von Trinkwasserversorgungs-
systemen in kleinen bis mittleren
Wasserversorgungsunternehmen und
Ableitung von Maßnahmen der Risiko-
minimierung**

Professur

Wasserwirtschaft

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio

Dissertation

HERAUSGEBER

Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Tränckner
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Professur Wasserwirtschaft
18051 Rostock

CIP-KURZTITELAUFNAHME

Felix Heumer
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Rostock, 2025

© Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät,
18051 Rostock

BEZUGSMÖGLICHKEITEN

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Professur Wasserwirtschaft
Satower Straße 48, 18059 Rostock
Tel.: 0381/498-3461, Fax: 0381/498-3462

ISBN 978-3-86009-567-6

DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004734

Universität Rostock
Professur Wasserwirtschaft

Vorwort

Die leitungsgebundene Versorgung mit Trinkwasser in ausreichender Menge, hoher Güte sowie ausreichendem Druck ist eine zentrale Aufgabe der Daseinsvorsorge. Da erst durch die zentrale Trinkwasserversorgung auch eine geordnete sanitäre Entsorgungssicherheit gewährleistet werden kann, ist ihre permanente Sicherstellung essenziell für das Funktionieren moderner Zivilisationen. Verantwortlich hierfür sind primär die Wasserversorgungsunternehmen.

Trinkwasserinfrastrukturen können jedoch durch verschiedene äußere und innere Gefahren beschädigt und gestört werden. Es ist deshalb die Aufgabe jedes Wasserversorgers, die potenziellen Gefährdungen zu identifizieren, die möglichen Konsequenzen für die Wasserversorgung zu analysieren und darauf aufbauend zielführende Maßnahmen zur Reduzierung der Gefährdung bzw. der Folgen abzuleiten und umzusetzen.

Aufgrund der Vielfalt möglicher Einflussgrößen und der technischen Komplexität des Systems erfordert dies ein strukturiertes Vorgehen in Kombination mit geeigneten Werkzeugen, um die einzelnen Arbeitsschritte des Risikomanagements mit vertretbarem Aufwand umsetzen zu können. Existierende Regelwerke und Leitfäden geben hierfür zwar ein grobes Gerüst, sind jedoch keinesfalls hinreichend für die konkrete Bearbeitung durch den Aufgabenträger.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der vorliegenden Arbeit die Entwicklung eines systematischen Ansatzes für ein wirksames Risikomanagement auf der Ebene eines Wasserversorgungsunternehmens. Ausgehend von einer umfassenden Analyse zu rechtlichen Rahmenbedingungen, verfügbaren Leitfäden und wissenschaftlichen Beiträgen identifiziert Herr Heumer bestehende Defizite und definiert einen Mindestumfang zu prüfender Gefährdungen. Darauf aufbauend werden praxistaugliche Methoden für die differenzierte Ermittlung der Vulnerabilität von Versorgungsgebieten und die Planung von Maßnahmen zur Härtung der Versorgungssicherheit erarbeitet. Als Betriebsleiter eines Versorgungsunternehmens ist es Herrn Heumer wichtig, dass alle Methoden mit den personellen und infrastrukturellen Möglichkeiten vor Ort umsetzbar sind. So werden für verschiedene Ansätze – wie die elegant-einfachen Bilanzstrukturmodelle – unterstützende Werkzeuge bereitgestellt, die sich mit konventionellen Office-Produkten bearbeiten lassen.

Eine Besonderheit der Arbeit ist sicher die beispielhafte Anwendung für ein reales Versorgungssystem, bis hin zu baulichen Umsetzung. Dadurch lässt sich auch zeigen, dass eine wirksame Verbesserung der Versorgungssicherheit mit vertretbarem Mitteleinsatz erreichbar ist.

Herr Heumer zeigt mit seiner – in Teilen fast instruktiven – Arbeit, wie sich das mitunter unscharf beschriebene „Risikomanagement“ auf klare Teilaufgaben herunterbrechen lässt, die mit gutem Fachpersonal im Versorgungsunternehmen lösungsorientiert bearbeitet werden können. Offen werden auch bestehende Unsicherheiten angesprochen, wie die Definition sinnvoller Verbrauchsansätze für bestimmte Gefährdungsszenarien. Gleichzeitig liefert sie Ansatzpunkte für weitere Vertiefung und Schnittstellen zu anderen Sektoren, insbesondere der Energiewirtschaft.

Ich wünsche der Arbeit eine interessierte Leserschaft.

Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Tränckner

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Aus der Professur für Wasserwirtschaft
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Risikoanalyse von Trinkwasserversorgungssystemen in kleinen
bis mittleren Wasserversorgungsunternehmen und Ableitung von
Maßnahmen der Risikominimierung**

Kumulative Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von Dipl.-Ing. (FH) Felix Heumer aus Löbau

Rostock, den 21.02.2025

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Tränckner, Universität Rostock,
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Wasserwirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Thomas Grischek, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät
Bauingenieurwesen, Professur für Wasserwesen

Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Krause, Universität der Bundeswehr München, Fakultät Bauingenieurwesen
und Umwelttechnik, Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch, Technische Universität Berlin, Fakultät VI Planen Bauen Umwelt,
Institut Bauingenieurwesen, Professur für Siedlungswasserwirtschaft

Datum der Einreichung: 20.09.2024

Datum der Verteidigung: 21.02.2025

Kurzfassung

Die leitungsgebundene Trinkwasserversorgung ist einer Reihe von Gefährdungen ausgesetzt. Die Gefährdungen resultieren aus Naturgefahren, technischen Störungen, menschlichem Fehlverhalten und Anschlägen, Sabotage oder kriegesischen Handlungen. Veränderte Gefährdungslagen ergeben sich u.a. durch den Klimawandel, die Digitalisierung und die sich ändernden Bedingungen in der Stromversorgung. Durch ein an die Bedrohungslage angepasstes Risiko- und Krisenmanagement kann die Resilienz der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung erhöht werden. Die zentrale Forschungsfrage der Dissertation lautet: Wie kann eine belastbare Risikoanalyse der Trinkwasserversorgung auf Unternehmensebene durchgeführt und daraus geeignete Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz abgeleitet werden?

Analog zur Systematik des Risikomanagements wurden in der Dissertation die vier Themenschwerpunkte: Rechtliche Grundlagen, Gefahrenanalyse, Risikobewertung und Risikobeherrschung analysiert und bearbeitet und alle Ergebnisse am Fallbeispiel eines Wasserversorgungsunternehmens in Sachsen (Deutschland) erprobt.

In der Analyse der rechtlichen Grundlagen werden die Rechtsvorschriften zur Sicherheit der Wasserversorgung von der europäischen über die Bundes- bis zur Landesebene analysiert und vergleichend zusammengestellt. Die Ergebnisse zeigen eine große Vielfalt im Vergleich der Rechtsvorschriften und damit Beispiele für konsistente Regelungen, aber auch Regelungslücken in Bezug auf die Umsetzung des Risikomanagements.

Die Gefährdungsanalyse beinhaltet einen halbquantitativen Ansatz zur Priorisierung der Gefährdungen. Im Rahmen der Bearbeitung wurden 57 Einzelgefahren der netzgebundenen Wasserversorgung analysiert und priorisiert. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird ein Mindestumfang der zu analysierenden Gefährdungen der leitungsgebundenen Wasserversorgung vorgeschlagen und auf fehlende Datengrundlagen hingewiesen.

Im Rahmen der Risikoabschätzung wurden Vulnerabilitätsmessungen mit Hilfe von Bilanzstrukturmodellen (BSM) durchgeführt. Die Methodik umfasst eine graphenbasierte semidynamische Bilanzierung und zeichnet sich im Vergleich zu bekannten Methodiken wie z.B. hydrodynamischen Simulationen, SD-Modellen durch eine vereinfachte Systemstruktur aus. Die Ergebnisse zeigen, dass BSM insbesondere im Risikomanagement eine sinnvolle Ergänzung darstellen und den Arbeitsaufwand reduzieren können. Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten bei der Eingangsparametrisierung der BSM erscheint auch der vereinfachte

Modellaufbau mit einer begrenzten Genauigkeit bei der Bemessung des Ersatz- und Notwasserbedarfs als ausreichend. Forschungs- oder zumindest Abstimmungsbedarf besteht bei der konkreten Festlegung von Schutzzielen bei der Bemessung des Ersatz- und Notwasserbedarfs.

Im Themenschwerpunkt der Risikobeherrschung wurden die Anwendung von BSM und Planungsgrundlagen analysiert, erprobt und bewertet. Im Fallbeispiel konnte gezeigt werden, dass mit relativ geringen finanziellen Mitteln eine deutliche Steigerung der Resilienz erreicht werden kann. Dies wurde vor allem durch die Betrachtung von erweiterten Bilanzräumen, Verbundleitungen, Kapazitätserweiterungen bestehender Anlagen und Notstromversorgungen erreicht. Als Ergebnis werden Ergänzungen des technischen Regelwerkes vorgeschlagen und Formeln zur Ermittlung des Dieselbedarfs in Bezug auf die Hydromechanik bereitgestellt.

Zusammenfassend zeigt die Arbeit Verbesserungspotentiale in den einzelnen Arbeitsschritten des Risikomanagements für Trinkwasserversorgungsunternehmen auf, so sollten die regulatorischen Grundlagen des Risikomanagements stärker diskutiert werden - wie dies in der aktuellen Diskussion zur Umsetzung des KRITIS-Gesetzes erfolgt, die Gefährdungsanalyse sollte für Trinkwasserversorgungsunternehmen vereinfacht werden - dieser Forderung ist beispielsweise das Sächsische Staatsministerium nachgekommen, für die Vulnerabilitätsermittlung genügen vereinfachte Modellansätze - wie die verwendeten Bilanzmodelle und zur Steigerung der Resilienz sollten auf Basis der Risikoanalysen Maßnahmen zur Härtung der Systeme umgesetzt werden – hierbei zeigten sich die effektivsten Maßnahmen in der Erweiterung vorhandener siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen.

Perspektivisch sind weitere Untersuchungen zur Verifizierung der Ergebnisse notwendig, die durch weitere anonymisierte Veröffentlichungen oder durch Datenaustausch auf Unternehmensebene erfolgen können. Bei Umsetzung der Anforderungen ist ein höherer Umsetzungsgrad des Risikomanagements der Trinkwasserversorgungsunternehmen zu erwarten.

Abstract

Piped drinking water supplies are exposed to a number of hazards. The hazards result from natural hazards, technical faults, human misbehaviour and attacks, sabotage or acts of war. Changing threat situations result from climate change, digitalisation and changing conditions in the power supply, among other things. The resilience of piped drinking water supplies can be increased by adapting risk and crisis management to the threat situation. The central research question of the dissertation is: How can a reliable risk analysis of the drinking water supply be carried out at company level and suitable measures for increasing resilience be derived from this?

Analogous to the systematics of risk management, the dissertation focussed on four main topics: Legal foundations, hazard analysis, risk assessment and risk control were analysed and processed and all results were tested using the case study of a water supply company in Saxony (Germany).

In the analysis of the legal basis, the legal regulations on water supply safety are analysed and compared from the European to the federal and state level. The results show a great variety in the comparison of the legal provisions and thus examples of consistent regulations, but also regulatory gaps with regard to the implementation of risk management.

The hazard analysis includes a semi-quantitative approach to prioritising hazards. As part of the process, 57 individual hazards in the network-based water supply were analysed and prioritised. Based on the findings, a minimum scope of the hazards to be analysed in the grid-bound water supply was proposed and reference was made to missing data bases.

As part of the risk assessment, vulnerability assessments were carried out using balance sheet modelling (BSM). The methodology comprises a graph-based semi-dynamic balancing and is characterised by a simplified system structure compared to known methodologies such as hydrodynamic simulations and SD models. The results show that BSMs are a useful addition, particularly in risk management, and can reduce the workload. Due to the existing uncertainties in the input parameterisation of the BSM, the simplified model structure with limited accuracy also appears to be sufficient for the assessment of replacement and emergency water requirements. There is a need for research or at least coordination with regard to the concrete definition of protection goals in the assessment of replacement and emergency water requirements.

The application of BSM and planning principles were analysed, tested and evaluated in the main topic of risk control. The case study showed that a significant increase in resilience can be achieved with relatively low financial resources. This was primarily achieved by analysing extended balance areas, interconnected lines, capacity expansions of existing systems and emergency power supplies. As a result, additions to the technical regulations are proposed and formulas for determining the diesel requirement in relation to hydromechanics are provided.

In summary, the work shows potential for improvement in the individual work steps of risk management for drinking water supply companies, for example, the regulatory basis of risk management should be discussed more - as is the case in the current discussion on the implementation of the KRITIS Act, the risk analysis should be simplified for drinking water supply companies - this demand has been met by the Saxon State Ministry, for example, Simplified modelling approaches - such as the balance sheet models used - are sufficient for determining vulnerability, and measures to harden the systems should be implemented on the basis of the risk analyses in order to increase resilience - the most effective measures were found to be the expansion of existing residential water management facilities.

In the future, further investigations are necessary to verify the results, which can be carried out through further anonymised publications or through data exchange at company level. If the requirements are implemented, a higher degree of implementation of risk management by drinking water supply companies can be expected

Danksagung

Mit großer Dankbarkeit möchte ich mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Dissertation unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen Doktorvätern, Herrn Professor Tränckner und Herrn Professor Grischek, für ihre fachliche Expertise, ihre stetige Unterstützung und ihre unermüdliche Motivation in jeder Phase dieses Projektes.

Für den fachlichen Rat und Austausch möchte ich mich bei Frau Ziller, Frau Dr. Wienand, Herrn Dr. Kritzner und Herrn Professor Krause bedanken.

Ein großer Dank gilt auch der Firma SOWAG für die Möglichkeit, meine Forschung in einem praxisnahen Umfeld durchführen zu können. Mein besonderer Dank gilt Herrn Kuba, der mich während meines bisherigen Berufslebens unterstützt und gefördert hat, mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand und diese Dissertation erst möglich gemacht hat. Ebenso möchte ich Frau Neumann und Frau Patzsch für die Unterstützung und Betreuung während meiner Dissertation danken. Ein weiterer Dank gilt allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Unternehmens, die mir in vielfältiger Weise zur Seite standen und mir wertvolle Einblicke in ihre Arbeit ermöglichten.

Mein tiefster Dank gilt meiner Familie. Meine Frau Julia hat mich in dieser herausfordernden Zeit stets unterstützt und mir den Rücken freigehalten, damit ich mich voll und ganz auf meine Arbeit konzentrieren konnte. Unsere Kinder Rudi und Fritz haben immer für die nötige Ablenkung und den Ausgleich gesorgt.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern für ihre Unterstützung und ihren Glauben an mich, der mir immer Kraft und Zuversicht gegeben hat.

Diese Dissertation ist auch das Ergebnis all der Unterstützung, die ich von so vielen wertvollen Menschen erhalten habe. Ihnen allen gilt mein aufrichtiger Dank.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	VII
Veröffentlichungen im Rahmen der Dissertation.....	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation.....	1
1.2 Identifizierte Defizite und abgeleitete Forschungsfragen der Arbeit.....	3
1.3 Aufbau und Inhalt der Arbeit	6
1.4 Literaturquellen.....	9
2 Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten aus Sicht der Wasserversorgung ...	15
2.1 Einleitung.....	17
2.2 Rechtsbestimmungen	18
2.2.1 Überblick der wesentlichen Rechtsbestimmungen	18
2.2.2 Ergänzende Rechtsbestimmungen auf Landesebene	20
2.3 Verantwortlichkeiten und Stand der Notfallvorsorge	26
2.3.1 Überblick der Verantwortlichkeiten	26
2.3.2 Normalbetrieb	26
2.3.3 Ersatzwasserversorgung	27
2.3.4 Notwasserversorgung.....	28
2.3.5 Einblick zum Stand der Notfallvorsorge	29
2.4 Diskussion und Ausblick.....	30
2.5 Literaturverzeichnis	32
3 Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse.....	39
3.1 Einleitung.....	41
3.2 Stand des Wissens und Zielstellung.....	42
3.2.1 Potenzielle Gefahren	42

3.2.2	Instrumente der Gefahrenanalyse.....	44
3.2.3	Zielstellung.....	44
3.3	Methodik der Gefahrenanalyse	45
3.3.1	Erarbeitung der Gefahrenliste	45
3.3.2	Priorisierung der Gefahren.....	45
3.4	Fallbeispiel.....	48
3.4.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	48
3.4.2	Ergebnisse der Gefahrenanalyse.....	49
3.5	Diskussion und Ausblick	56
3.6	Literaturverzeichnis.....	59
4	Vulnerabilitätsermittlungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse	65
4.1	Einleitung	67
4.2	Stand des Wissens und Zielstellung	67
4.2.1	Vulnerabilität, Risiko und Resilienz.....	67
4.2.2	Methoden der Vulnerabilitäts- und Resilienzbeurteilung	68
4.2.3	Zielstellung.....	69
4.3	Methodik der Bilanz-Struktur-Modelle	70
4.3.1	Mathematische Operatoren	70
4.3.2	Modelltechnische Umsetzung	72
4.3.3	Eingangsparametrierung.....	74
4.4	Fallbeispiel.....	76
4.4.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	76
4.4.2	Erstellung der BSM mit gewählten Szenarien	76
4.4.3	Ergebnisse der Modellierungen	77
4.5	Diskussion und Ausblick	80
4.6	Literatur.....	82

5	Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen	85
5.1	Einleitung.....	87
5.2	Stand des Wissens und Zielstellung.....	87
5.2.1	Begriffsdefinitionen	87
5.2.2	Rechtliche Grundlagen	88
5.2.3	Dimensionierung von Wasserversorgungsanlagen	89
5.2.4	Zielstellung	90
5.3	Methodik.....	91
5.3.1	Bilanz-Struktur-Modelle	91
5.3.2	Bestimmung des erweiterten Bilanzraums	91
5.3.3	Berechnungsgrundsätze.....	92
5.4	Fallbeispiel	93
5.4.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	93
5.4.2	Erweiterte Bilanzraumbetrachtung.....	94
5.4.3	Beispiel der Neudimensionierung eines Zwischenpumpwerkes	95
5.5	Zusammenfassung und Diskussion	100
5.7	Literaturverzeichnis	103
6	Blackout Vorsorge – Pilotprojekt der Dieselbevorratung.....	107
6.1	Einleitung.....	109
6.2	Stand des Wissens und Zielstellung.....	109
6.2.1	Begriffsdefinitionen	109
6.2.2	Dimensionierung einer Eigenverbrauchstankstelle	110
6.2.3	Anforderungen an den Bau und Betrieb einer Eigenverbrauchstankstelle	110
6.2.4	Zielstellung	113
6.3	Methodik.....	113
6.3.1	Dieselbedarfsermittlung zur Wasserförderung.....	113
6.3.2	Checkliste zum Bau und Betrieb einer Eigenverbrauchstankstelle.....	117

6.4	Fallbeispiel	121
6.4.1	Untersuchungsgebiet	121
6.4.2	Dieselbedarfsermittlung	121
6.4.3	Anwendung der Checkliste und Investitionskosten	123
6.5	Zusammenfassung und Diskussion	125
6.7	Literaturverzeichnis	127
7	Zusammenfassende Diskussion, Schlussfolgerungen und Ausblick	131
7.1	Zusammenfassende Diskussion	131
7.2	Zentrale Forschungsfrage, Schlussfolgerungen und Ausblick	139
7.3	Literaturverzeichnis	142
Anlage 1:	Instrumente des Risikomanagements in Wasserversorgungsunternehmen (summary in English)	147

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Übersicht zur Notfallvorsorgeplanung der Trinkwasserversorgung.....	2
Abb. 1.2: Einordnung der Dissertationseinhalte (lila Formatierung) in das Risikomanagement nach DIN 15975 Teil 1 und 2 [20,21]	8
Abb. 2.1: Einordnung des Kapitel 2 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap. 1.4)	15
Abb. 2.2: Zusammenstellung der gesetzlichen Bestimmungen zur Wassersicherstellung auf EU, Bundes-, Landes- und Kommunalebene mit ausgewählten Paragraphen	18
Abb. 3.1: Einordnung des Kapitel 3 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)	39
Abb. 3.2: Übersicht Versorgungsgebiet SOWAG [47]	48
Abb. 4.1: Einordnung des Kapitel 4 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)	65
Abb. 4.2: Berücksichtigung von Kaskadeneffekten	71
Abb. 4.3: Systemkomponenten der BSM	73
Abb. 4.4: BSM – Musterszenario Ausfall eines Wasserwerkes (abstrahierte Darstellung)...	73
Abb. 4.5: Versorgungsdiagramm Musterszenario	74
Abb. 4.6: Simulationsergebnisse der BSM, geclustert nach Verbundstrukturen, Simulationslaufzeit 10 d	78
Abb. 5.1: Einordnung des Kapitel 5 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)	85
Abb. 5.2: Darstellung eines erweiterten Bilanzraumes.....	92
Abb. 5.3: Versorgungsdiagramm IST-Stand im Szenario flächendeckender Stromausfall, f_{EW} , Q_{EW} , Laufzeit 10 d	94
Abb. 5.4: Versorgungsdiagramm Ausbau des Verbundsystems im Szenario flächendeckender Stromausfall, f_{EW} , Q_{EW} , Laufzeit 10 d.....	95
Abb. 5.5: Einordnung des Zwischenpumpwerkes in die Versorgungsstruktur.....	96
Abb. 6.1: Einordnung des Kapitel 6 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)	107
Abb. 6.2: Bodenbeschichtung und Aufkantung zur Errichtung einer Abfüllfläche.....	111
Abb. 6.3: Nachweis der Sachverständigenprüfung	111
Abb. 6.4: Leckageüberwachung einer Eigenverbrauchstankstelle	112
Abb. 6.5: Spezifischer Dieselverbrauch von Notstromaggregaten ($P= 8 - 500 \text{ kW}$) [20-24]	114

Abb. 6.6: Leistungsfluss – Wasserförderung im Notstrombetrieb	116
Abb. 6.7: Zapfsäule mit Authentifizierungseinheit	119

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1: Mengenangaben der Ersatz- und Notwasserversorgung	3
Tab. 2.1: Normen der Sicherung der Trinkwasserversorgung	19
Tab. 2.2: Übersicht der Landeswasser- und Brand- und Katastrophenschutzgesetze der Länder mit relevanten Paragraphen zur Sicherheit der Wasserversorgung	21
Tab. 2.3: Übersicht der Gesetze des öffentlichen Gesundheitsdienstes	25
Tab. 3.1: Mustertabelle Gefahrenanalyse	47
Tab. 3.2: Beurteilung der Naturgefahren	51
Tab. 3.3: Beurteilung der Gefahren durch technische Störungen und menschliches Versagen	54
Tab. 3.4: Beurteilung der Gefahren durch Anschläge, Sabotage und kriegerische Handlungen	55
Tab. 3.5: Prioritäre Gefährdungen im betrachteten Versorgungsgebiet	56
Tab. 3.6: Mindestumfang der Gefahrenanalyse	58
Tab. 5.1: Wasserbedarfsermittlung für Not- und Krisenfälle	93
Tab. 5.2: Angrenzende Versorgungsgebiete	98
Tab. 5.3: Ersatzwassermengen Förderrichtung A	99
Tab. 5.4: Kostenfeststellung Umbau ZPW	100
Tab. 6.1: Gefährdungsstufen der Anlagen nach AwSV [18]	112
Tab. 6.2: Spezifischer Dieselverbrauch von Notstromaggregaten [g/kWh]	114
Tab. 6.3: Wirkungsgrade der Generatoren in Notstromaggregaten [%]	114
Tab. 6.4: Checkliste Dieselbevorratung	118
Tab. 6.5: Dieselbedarfsermittlung im Pilotprojekt	122
Tab. 6.6: Vergleich der Berechnungsmethoden	123
Tab. 7.1: Mindestumfang zu berücksichtigender Gefahren	133

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzungen

1. WasSV	Erste Wassersicherstellungsverordnung
2. WasSV	Zweite Wassersicherstellungsverordnung
a.a.R.d.T.	allgemein anerkannten Regeln der Technik
AKW	Atomkraftwerk
AVBWasserV	Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
B-0	Diesel ohne biogenen Anteil
BAG	Direktionsbereich Öffentliche Gesundheit (Schweiz)
BayKSG	Bayerisches Katastrophenschutzgesetz
BayWG	Bayerisches Wassergesetz
BbgBKG	Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz des Landes Brandenburg
BbgGDG	Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst im Land Brandenburg
BbgWG	Brandenburgisches Wassergesetz
BBK	Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V
BHKG	Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz Nordrhein-Westfalen
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministerium des Inneren, Bundesministerium des Innern
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BremHilfeG	Bremisches Hilfeleistungsgesetz
BremWG	Bremisches Wassergesetz
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
BSM	Bilanzstrukturmodelle
BWG	Berliner Wassergesetz
BWK	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau
CIPAC	Critical Infrastructure Partnership Advisory Council
DEST	Druckerhöhungsstation
DIN	Deutschen Instituts für Normung

DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EPA	United States Environmental Protection Agency
EU	Europäische Union
F	Forschungsfrage
FAME	Fettsäuremethylester, sogenannten Biodieselanteil
FwDV	Feuerwehr-Dienstvorschrift
GAU	Größte anzunehmende Unfall
GDG-B	Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst Berlin
GDG-LSA	Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst und die Berufsausübung im Gesundheitswesen im Land Sachsen-Anhalt
GDG-SH	Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst Schleswig-Holstein
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
GDVG	Gesundheitsdienst- und Verbraucherschutzgesetz Bayern
Ges DV-TH	Verordnung über den öffentlichen Gesundheitsdienst und die Aufgaben der Gesundheitsämter in den Landkreisen und kreisfreien Städten Thüringen
HBKG	Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz, Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz
HmbGDG	Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst in Hamburg
HmbKatSG	Hamburgisches Katastrophenschutzgesetz
HWaG	Hamburgisches Wassergesetz
IFSAG M-V	Gesetz zur Ausführung des Infektionsschutzgesetzes im Land Mecklenburg-Vorpommern
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IT	Informationstechnik
KatS	Katastrophenschutz
KatSG	Gesetz über den Katastrophenschutz im Land Berlin
KatSG B	Gesetz über den Katastrophenschutz im Land Berlin
KatSG-LSA	Katastrophenschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt
KZV	Konzeption Zivile Verteidigung

LBKG	Landesgesetz über den Brandschutz, die allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz Rheinland- Pfalz
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LKatSG BW	Gesetz über den Katastrophenschutz Baden-Württemberg
LKatSG M-V	Gesetz über den Katastrophenschutz in Mecklenburg-Vorpommern
LKatSG SH	Gesetz über den Katastrophenschutz in Schleswig-Holstein
LWaG	Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern
LWG NW	Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen, Landeswassergesetz Nordrhein-Westfalen
LWG RP	Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz, Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz
LWG SH	Landeswassergesetz Schleswig-Holstein
NGöGD	Niedersächsisches Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst
NKatSG	Niedersächsisches Katastrophenschutzgesetz
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
ÖGdG	Landesgesetz Rheinland-Pfalz über den öffentlichen Gesundheitsdienst
ÖGDG	Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst Baden-Württemberg
ÖGDG M-V	Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst im Land Mecklenburg-Vorpommern
ÖGDG NRW	Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst des Landes Nordrhein-Westfalen
ÖGDG-Brem	Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst im Lande Bremen
ÖGDG-SL	Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst Saarland
SächsBR	Sächsisches Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz
SächsGDG	Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst im Freistaat Sachsen
SächsVAwS	Sächsische Anlagenverordnung
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SARS-CoV-2	Schweres-akutes-Atemwegssyndrom-Coronavirus Typ 2
SBKG	Gesetz über den Brandschutz, die Technische Hilfe und den Katastrophenschutz im Saarland
SD	System Dynamics

SMEKUL	Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
SOWAG	Süd- Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH
SVGW	Schweizer Verein des Gas- und Wasserfachs
SWG	Saarländisches Wassergesetz
ThürBKG	Thüringer Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz
ThürgWG	Thüringer Wassergesetz
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UBA	Umweltbundesamt
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
VG	Versorgungsgebiet
WasSiG	Wassersicherstellungsgesetz
WG	Wassergesetz für Baden-Württemberg
WG LSA	Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt
WGK	Wassergefährdungsklasse
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WVU	Wasserversorgungsunternehmen

Symbole:

E	Einwohner
$f_{d,7}$	Verbrauchs faktor für mittleren Tagesbedarf der verbrauchstärksten sieben zusammenhängenden Tage
$f_{d,EW}$	Verbrauchs faktor der Ersatzwasserversorgung
$f_{d,NW}$	Verbrauchs faktor der Notwasserversorgung
f_{dm}	Verbrauchs faktor der mittleren Verbrauchsmenge = 1,0
f_{dx}	szenarioabhängiger Verbrauchs faktor
g	Erdbeschleunigung
h_F	Energiehöhendifferenz, auch als Gesamtförderhöhe bezeichnet
h_{geo}	geodätische Höhe
h_{VD}	Verlustrhöhe druckseitig
h_{VS}	Verlustrhöhe saugseitig
h_Z	Zulaufdruckhöhe
P_{El}	Elektrische Leistung
P_G	Mechanische Leistung am Schwungrad
P_{Hilf}	Elektrische Leistung der Hilfsaggregate
P_{Hyd}	hydraulische Leistung
P_{NA}	Wirkleistung Notstromaggregat
P_P	Leistung der Pumpe
Q_{ab}	Abfluss
$Q_{d,7}$	Mittlerer Tagesbedarf der verbrauchstärksten sieben zusammenhängenden Tage
$Q_{d,EW}$	täglicher Ersatzwasserbedarf
$Q_{d,NW}$	täglicher Notwasserbedarf
Q_{dm}	mittlere Trinkwasserverbrauchsmenge
q_{EW}	leitungsgebundener Ersatzwasserbedarf
Q_{NA}	Blindleistung Notstromaggregat
q_{NW}	Notwassermenge
Q_{zu}	Zufluss
S	Speicherkapazitäten
S_{NA}	Scheinleistung Notstromaggregat
t	verbleibende Versorgungszeit

t_n	verbleibende Versorgungszeit am Punkt n
v_D	Fließgeschwindigkeit druckseitig
V_{kW}	Dieselvebrauch des Notstromaggregats
v_S	Fließgeschwindigkeit saugseitig
V_{spez}	Spezifischer Treibstoffbedarf Notstromaggregat
η_G	Wirkungsgrad des Generators
η_{El}	Wirkungsgrad der Elektroanlage
η_P	Wirkungsgrad der Pumpe
ρ_{Diesel}	Dichte des Diesels
ρ_{Wasser}	Dichte des Wassers
ΣQ	Differenzwert
ΣQ_{ab}	Summe der Abflüsse aus dem Trinkwassersystem
ΣQ_{zu}	Summe der Zuflusströme im Trinkwassersystem

Veröffentlichungen im Rahmen der Dissertation

Forschungsartikel Peer-Reviewed

- (1) Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung – Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten aus Sicht der Wasserversorgung. gwf-Wasser/Abwasser 11/2022, S. 73–82. doi:10.17560/gwfwa.v163i11.2624.
- (2) Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung – Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. gwf-Wasser/Abwasser 03/2023, S. 63–75. doi:10.17560/gwfwa.v164i3.2642.
- (3) Heumer, F.; Kritznern, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Vulnerabilitätsmessungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. gwf-Wasser/Abwasser 09/2023, S. 71–79. doi:10.17560/gwfwa.v164i09.2671.
- (4) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen. gwf-Wasser/Abwasser 12/2023, S. 63–72. doi:10.17560/gwfwa.v164i12.2699.
- (5) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Blackout Vorsorge – Pilotprojekt der Dieselbevorratung. gwf-Wasser/Abwasser 04/2024, S. 109–120. doi:10.17560/gwfwa.v165i4.2732.
- (6) Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Water supply security - risk management instruments in water supply companies. Water 2024, 16, 1814. doi:10.3390/w16131814.

Ergänzende Materialien der Forschungsartikel

- (1) Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Muster Gefahrenanalyse. Hrsg. Vulkan-Verlag GmbH, Essen, <https://gwf-wasser.de/forschung-und-entwicklung/sicherheit-der-wasserversorgung/> (aufgerufen am 04.07.2024)
- (2) Heumer, F.; Kritznern, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Muster Bilanz-Struktur-Modell. Hrsg. Vulkan-Verlag GmbH, Essen, <https://gwf-wasser.de/forschung-und-entwicklung/sicherheit-der-wasserversorgung/> (aufgerufen am 04.07.2024)
- (4) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Tool zur Dieselbedarfsermittlung. Hrsg. Vulkan-Verlag GmbH, Essen, <https://gwf-wasser.de/forschung-und-entwicklung/sicherheit-der-wasserversorgung/> (aufgerufen am 04.07.2024)
- (5) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Checkliste Betriebstankstelle. Hrsg. Vulkan-Verlag GmbH, Essen, <https://gwf-wasser.de/forschung-und-entwicklung/sicherheit-der-wasserversorgung/> (aufgerufen am 04.07.2024)

- (6) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Balance Sheet Structure Model. Hrsg. MDPI-Water, <https://www.mdpi.com/article/10.3390/w16131814/s1> (aufgerufen am 04.07.2024)
- (7) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Hazard list incl. Assessed hazards. Hrsg. MDPI-Water, <https://www.mdpi.com/article/10.3390/w16131814/s1> (aufgerufen am 04.07.2024)

Ergänzende Veröffentlichung der Forschungsartikel

- (1) Heumer, F.; Wienand, I.; Kritznier, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung. gwf-Wasser/Abwasser Sonderdruck 2024, Jahrgang 163/164/165, ISSN 0016-3651/ B5399, Hrsg. Vulkan-Verlag GmbH, Essen, finanziert durch das Sächsische Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft

Ergänzende Veröffentlichungen auf Konferenzen

- (1) Heumer, F. Sicherheit der Wasserversorgung - Instrumente im Risikomanagement des Wasserversorgers. Bund-Länder-Tagung Wassersicherstellung, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 24.- 25.05.2023, Leipzig, Deutschland
- (2) Heumer, F. Sicherheit der Wasserversorgung - Vulnerabilitätsermittlungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. Fachveranstaltung zur Bewertung der (leitungsgebundenen) Wasserversorgungssicherheit in Not- und Krisensituationen, Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, 18.12.2023, Dresden, Deutschland

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Trinkwasserinfrastrukturen können durch eine Reihe von Gefahren empfindlich beeinträchtigt werden. Dabei sind auch die Wasserversorgungsunternehmen in ihrem Betrieb und bei der Erfüllung ihrer Aufgaben einer Reihe potenzieller Gefährdungen ausgesetzt [1-3]. Klimatische Veränderungen stellen eine der größten Bedrohungen für die Wasserversorgung dar. Es wird weltweit mit einer Zunahme der Intensität und Häufigkeit von hydrologischen Extremereignissen wie Überschwemmungen, Sturzfluten und Dürren gerechnet [4-9]. Aber auch andere Naturgefahren können die Wasserversorgung beeinträchtigen. So führte die SARS-CoV-2-Pandemie zu Personalengpässen und Lieferschwierigkeiten bei Betriebs- und Hilfsstoffen für die Wasseraufbereitung [10-12]. Ein großes Gefahrenpotenzial geht auch von technischen Störungen aus. So kann ein Blackout zu langanhaltenden Versorgungsunterbrechungen in der leitungsgebundenen Wasserversorgung führen [13-15]. Weitere Gefahren für die Wasserversorgung gehen von Sabotage und kriegesischen Handlungen aus. Aktuell ist vor allem mit einer Zunahme von Cyber-Angriffen auf kritische Infrastrukturen zu rechnen [16-18]. Um die Resilienz gegenüber Krisen und Katastrophen zu erhöhen, benötigt die Wasserversorgung ein Risiko- und Krisenmanagement. Auf europäischer Ebene wurde der Ansatz systemischer Water Safety Plans der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [19] mit den Normen DIN EN 15975-1 [20] und DIN EN 15975-2 [21] in Regelwerke umgesetzt. Zur Umsetzung des Risikomanagements existieren ergänzend auf nationaler Ebene das DVGW Merkblatt W 1001 [22], DVGW Arbeitsblatt W 1003 [23] und die Fachinformationen des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1 [3] und Teil 2 [24]. **Abb.1.1** zeigt den Aufbau und die Zusammenhänge des Risiko- und Krisenmanagements in Bezug auf Wasserversorgungsunternehmen. Der BBK-Leitfaden zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1 [3] beschreibt die Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung nach [21] zusammenfassend als Risikoanalyse, mit der detaillierteren Gliederung Gefahrenanalyse, Szenariobildung, Vulnerabilitätsanalyse und Risikobewertung.

In der Umsetzung des Risikomanagements zeigen sich Defizite in der Erstellung und praktischen Anwendung von Risikoanalysen bei den Wasserversorgungsunternehmen [5,25-26]. Mit der Risikoanalyse wird die Vulnerabilität der Trinkwasserversorgungsanlagen szenarioabhängig aufgezeigt. Ableitend sind zur Steigerung der Resilienz Maßnahmen zur

Risikobeherrschung zu identifizieren, zu planen und umzusetzen. Dabei ist zwischen dem damit verbundenen Aufwand und dem verbleibenden Ausfallrisiko abzuwägen.

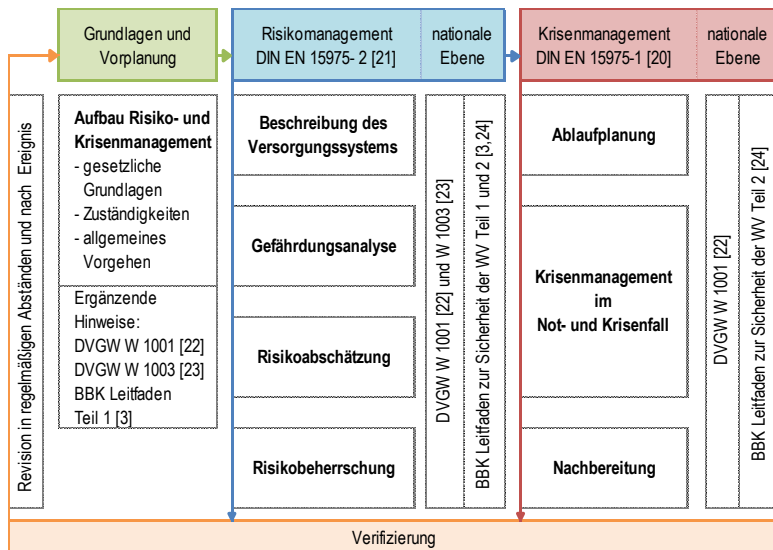


Abb. 1.1: Übersicht zur Notfallvorsorgeplanung der Trinkwasserversorgung

Im BBK Leitfaden zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1 [3] erfolgt die Erfassung und Bewertung der identifizierten Gefahren durch einen Fragebogen ohne eine zahlenmäßige Bewertungsmatrix. Halbquantitative Ansätze zur Priorisierung von Gefahren werden et al. von Bartram et al. [27], im „Water Safety Plan Manual Step-by-step Risk Management for Drinking-water Suppliers“ und von Abuzerr et al. [28] am Beispiel der Gefährdung von Trinkwasserquellen im Gazastreifen beschrieben. Im Ergebnis dieser Verfahren entsteht eine mit Zahlen belegte Priorisierung unter Nutzung einfacher mathematischer Verfahren. Methoden der multikriteriellen Entscheidungsfindung werden im „Handbook on Constructing Composite Indicators“ [29] als grundsätzliche Arbeitsweise und von Terekhanova et al. [30] zur Gebietspriorisierung von Wasserversorgungssystemen als Vorstufe einer Risikoanalyse dargestellt. Diese Methoden sind komplex und erfordern die Einbeziehung mehrerer Einflussfaktoren und kausaler Wirkungsketten.

Zur Resilienzbeurteilung von Wasserverteilungssystemen existieren viele bekannte Verfahren, so wurden von Todini [31] bereits vor 24 Jahren die Grundlagen für die Bewertung der Systeme anhand eines heuristischen Optimierungsansatzes dargelegt. Der in [31] beschriebene mathematische Rahmen wurde in jüngster Zeit u. a. von Caldarola et al. weiterentwickelt [32-]

36]. Durch Kombination dieser Ansätze mit hydraulischen Netz-Modellen, darunter EPANET und die WaterNetGen-Software, lassen sich zwar fachlich exakte Optimierungen ableiten [37-44]. Zentrale Herausforderungen einer Resilienzanalyse auf Basis hydraulischer Simulationen liegen jedoch vor allem im Bedarf an großen Datenmengen für die Komponenten des Netzes (Systeme, Schieber, Ventile, Rohrmaterialien), der genauen Kenntnis der Netztopologie und der Wassernachfrage (Verhaltensverhalten, Spitzenbedarf) [32]. Neben den hydraulischen Modellen sind in der Literatur systemdynamische Modellierungen [45-48], vereinfachte technische Verfahren [49-51], gesellschaftsorientierte, ökonomische und kombinierte Methoden bekannt [52]. Die Anwendung vieler Methoden erfordert Expertenwissen und ist aufgrund ihrer Komplexität nur begrenzt für den Einsatz im Krisenmanagement geeignet.

Zur Risikobeherrschung sollten aus der Analyse Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz der leitungsgebundenen Wasserversorgung abgeleitet und umgesetzt werden [21]. In der Literatur sind, neben den Leitfäden des BBK [3,24], nur wenige konkrete Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz der leitungsgebundenen Wasserversorgung veröffentlicht. Dies ist mutmaßlich auch auf die gewünschte Wahrung der sensiblen Daten zurückzuführen. Weiterhin fehlen für die Dimensionierung der Anlagen im Not- und Krisenfall Planungsgrundsätze im Vergleich zum Normalbetrieb. Dabei werden im internationalen Vergleich auch unterschiedliche Bedarfsmengen für die Ersatz- und Notwasserversorgung angesetzt (**Tab. 1.1**).

Tab. 1.1: Mengenangaben der Ersatz- und Notwasserversorgung

Literaturquelle	Einheit	WHO [53]	Sphere [54]	Schweiz [55]	Österreich [56]	Deutschland [57]
Notwasserversorgung Mindestanforderung Bevölkerung	$l/(E \cdot d)$	20	15	15	15	15
Ersatzwasserversorgung inkl. häuslicher Hygiene	$l/(E \cdot d)$	70		100*	nach Wasser- bedarfsplan*	50*

In [53-57] sind weitere Angabe zum Trinkwasserbedarf für das Gesundheitswesen und die Viehhaltung enthalten

* leitungsgebunden

Die unterschiedlichen Mengenansätze führen zu zusätzlichen Unsicherheiten in der Resilienzbeurteilung [31-52] und in der Risikobeherrschung.

1.2 Identifizierte Defizite und abgeleitete Forschungsfragen der Arbeit

Grundlage für die Erhöhung der Resilienz der netzgebundenen Wasserversorgung ist die Umsetzung eines Risiko- und Krisenmanagements nach [20,21]. Für die Gefahrenanalyse

[3,27-30] und die Resilienzbewertung [3,31-52] gibt es eine Vielzahl bekannter Methoden, jedoch ist der Umsetzungsgrad insbesondere im Bereich der Risikoanalyse unzureichend [24-25]. Daraus ergibt sich die zentrale Forschungsfrage (F) dieser Arbeit:

Wie lassen sich auf Unternehmensebene eine belastbare Risikoanalyse der Trinkwasserversorgung durchführen und geeignete Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz ableiten?

Zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage werden in dieser Dissertation analog zum Risiko- und Krisenmanagement nach [20,21] vier Themenschwerpunkte bearbeitet (**Abb. 1.1**).

Im Rahmen des ersten Themenschwerpunktes erfolgen eine Analyse und ein Vergleich der bestehenden rechtlichen **Grundlagen**. Defizite bei der Umsetzung des Risikomanagements können durch fehlende oder unzureichende gesetzliche Regelungen entstehen. Zudem sind die finanziellen und personellen Ressourcen der Wasserversorgungsunternehmen begrenzt. Die Umsetzung eines Risikomanagements steht somit bezüglich der vorhandenen Ressourcen in Konkurrenz zu anderen unternehmerischen Maßnahmen [52]. Aus den rechtlichen Grundlagen lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten:

- F 1.1** Welche Zuständigkeiten, Schutzziele und Maßnahmen bestehen für den Fall einer Beeinträchtigung oder Unterbrechung der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung auf europäischer, Bundes- und Landesebene?
- F 1.2** Welche regulatorischen Defizite lassen sich für die Umsetzung eines Risikomanagements für Not- und Krisenfälle in Wasserversorgungsunternehmen identifizieren?

Der zweite Themenschwerpunkt befasst sich mit der Umsetzung der **Gefahrenanalyse**. Für die leitungsgebundene Wasserversorgung gibt es eine Vielzahl bekannter und potenzieller Gefährdungen [1-24,27-30,58]. Das Bundesministerium des Innern (BMI) unterteilt die Gefahren nach dem All-Gefahren-Ansatz [1] in Naturgefahren, technisches oder menschliches Versagen sowie Terrorismus, Kriminalität und Krieg. Allein im ergänzenden Leitfaden des BMI [58] werden 27 Einzelgefahren beschrieben. Im Rahmen des Risikomanagements sind die Gefährdungen standortspezifisch zu analysieren und zu bewerten. Aus der Gefahrenanalyse lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten:

- F 2.1** Wie kann eine qualifizierte Priorisierung der Gefahren vorgenommen werden, ohne dass sich der Aufwand für die Bearbeitung wesentlich erhöht?
- F 2.2** Welche Datengrundlagen stehen dem Wasserversorgungsunternehmen zur Verfügung, um die Gefahren bewerten zu können?

F 2.3 Welche verallgemeinerten Gefahrenschwerpunkte lassen sich für die leitungsgebundene Trinkwasserversorgung ableiten?

Die **Vulnerabilitätsanalyse** als Teil der Risikoabschätzung nach [21] bildet den dritten thematischen Schwerpunkt. Die vorhandenen Methoden zur Vulnerabilitäts- bzw. Resilienzbewertung [31-52] unterteilen sich im Wesentlichen in hydraulische Simulationen [31-44] und System Dynamics (SD)-Modelle [45-49]. Die hydraulischen Simulationen [31-44] werden für die Bewertung, Planung und Entwicklung von Trinkwasserversorgungssystemen verwendet und angewendet. Die SD-Modelle [45-48,52] bilden komplexe Wirkungsketten ab. So können z. B. vorhandene Ressourcen der Not- und Ersatzwasserversorgung über die Modelle simuliert und damit der effektive Einsatz geplant werden [52]. Die Simulationsergebnisse der hydraulischen Simulation und der SD-Modelle sind direkt abhängig von den zur Verfügung stehenden Objekt- und Eingangsdaten (insbesondere Trinkwasserverbrauchsverhalten [32,52]). Dabei stellt sich die Frage nach der tatsächlich erforderlichen Detailtiefe. Ansätze für vereinfachte Verfahren sind in [49-52] beschrieben, ohne jedoch den genauen Modellaufbau und die mathematischen Zusammenhänge zu erläutern. Die Datenlage zum Verbrauchsverhalten in Not- und Krisensituationen ist im internationalen Vergleich sehr heterogen [53-57], was auch im umfassenden Verfahrens-Review von Bross (2020) [52] verdeutlicht wird. Aus der Thematik der Vulnerabilitätsanalyse wurden folgende Forschungsfragen abgeleitet:

F 3.1 Wie kann die Vulnerabilitätsanalyse mit einem vereinfachten Modellansatz durchgeführt werden und wo liegen die Anwendungsgrenzen?

F 3.2 Welche aus der Gefährdungsanalyse abgeleiteten Szenarien führen zu den höchsten Vulnerabilitäten der leitungsgebundenen Wasserversorgung?

Abschließend werden im vierten Themenschwerpunkt, der **Risikobeherrschung**, Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung behandelt. Der Handlungsbedarf zur Steigerung der Resilienz der Wasserversorgungssysteme wird durch [22-23,52] aufgezeigt. Der aufgezeigte Handlungsbedarf wird zudem durch den begrenzten Inhalt im technischen Regelwerk und in der vorhandenen Literatur zur Planung und Umsetzung von Maßnahmen der Härtung der Wasserversorgung gestützt. Zum vierten Themenschwerpunkt wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

F 4.1 Welche planerischen Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz der öffentlichen Wasserversorgung?

F 4.2 Welche Planungsgrundsätze sollten im Rahmen der Bemessung von Trinkwasseranlagen zusätzlich für Not- und Krisenfälle berücksichtigt werden?

- F 4.3** Wie lassen sich die maschinentechnischen Grundlagen der Notstromaggregate und die hydromechanischen Anforderungen zur Wasserförderung für die Bemessung von Systemen bei Energieausfall kombinieren?
- F 4.4** Welche spezifischen Anforderungen ergeben sich für die Bemessung des Treibstoffbedarfs und der Treibstoffvorhaltung beim Wasserversorgungsunternehmen?
- F 4.5** Letztlich ist auch die Abwägung der gewünschten breiten Nutzbarmachung der Methoden und Erkenntnisse gegenüber der erforderlichen Wahrung sensibler Daten der kritischen Infrastruktur eine Forschungsfrage: Wie lässt sich der gesamte methodische Ansatz zur Härtung der Trinkwasserversorgung instruktiv und exemplarisch bei hinreichender Anonymisierung bzw. Abstraktion der Systemdaten veröffentlichen?

1.3 Aufbau und Inhalt der Arbeit

Die Dissertation besteht aus sechs wissenschaftlichen Artikeln. Die gesamte Arbeit ist in sieben Kapitel gegliedert.

Kapitel 1 enthält eine allgemeine **Einführung**, stellt die Forschungsfragen zusammen und zeigt den Aufbau der Arbeit.

Kapitel 2 beinhaltet eine Literaturrecherche zu den regulatorischen **Grundlagen** des Risikomanagements in Deutschland. Dabei wurden die gesetzlichen Regelungen auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene sowie die Vorgaben aus dem technischen Regelwerk analysiert und verglichen und Begriffsdefinitionen zum Risikomanagement der Wasserversorger zusammengefasst. Kapitel 2 basiert auf folgender Veröffentlichung:

- (1) Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung – Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten aus Sicht der Wasserversorgung. gwf-Wasser/Abwasser 11/2022, S. 73–82. doi:10.17560/gwfw.v163i11.2624 [59].

Kapitel 3 beinhaltet die Analyse und Priorisierung möglicher Gefahren in der leitungsgebundenen Wasserversorgung. Zur Durchführung der **Gefahrenanalyse** wurde eine semiquantitative Methodik in Anlehnung an [27,28] entwickelt und an einem Fallbeispiel erprobt. Kapitel 3 basiert auf folgender Veröffentlichung:

- (2) Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung – Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. gwf-Wasser/Abwasser 03/2023, S. 63–75. doi:10.17560/gwfw.v164i3.2642 [60].

Kapitel 4 umfasst den Arbeitsschritt der **Vulnerabilitätsanalyse**. Basierend auf den bekannten Instrumenten der Vulnerabilitäts- oder Resilienzbeurteilung [31-52] wurde eine Methodik zur

Vulnerabilitätsmittlung mit Hilfe von Bilanz-Struktur-Modellen entwickelt, die sich an den Methoden von [50,51] orientiert. Der Fokus in der Entwicklung der Methodik lag auf einer einfachen Anwendung bei möglichst geringem Informationsverlust. Im Anschluss an die Entwicklung wurde die Methodik anhand eines Fallbeispiels evaluiert. Grundlage des Kapitels ist folgender Fachartikel:

- (3) Heumer, F.; Kritzner, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Vulnerabilitätsmittlungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. gwf-Wasser/Abwasser 09/2023, S.71–79. doi:10.17560/gwfw.v164i09.2671 [61].

Kapitel 5 beinhaltet die Untersuchung, Entwicklung und Zusammenstellung von Planungsgrundsätzen und Maßnahmen zur Härtung der Trinkwasserversorgungssysteme, welche als Teil der **Risikobeherrschung** zu betrachten sind. Dabei werden im Kapitel 5 die Auswirkungen der Bemessung für Not- und Krisenfälle mit der Bemessung der Anlagen des Normalbetriebs verglichen. Die ermittelten Maßnahmen werden am Fallbeispiel anonymisiert dargestellt und ausgewertet. Kapitel 5 basiert auf folgender Veröffentlichung:

- (4) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen. gwf-Wasser/Abwasser 12/2023, S. 63–72. doi:10.17560/gwfw.v164i12.2699 [62].

Kapitel 6 stellt die Anforderungen und Dimensionierungen für den Bau und Betrieb der Treibstoffversorgung mit Hilfe einer Eigenverbrauchstankstelle zusammen. Die Treibstoffversorgung stellt einen wesentlichen Bestandteil der Blackout-Vorsorge und damit der **Risikobeherrschung** dar. In diesem Kapitel werden die maschinentechnischen Grundlagen der Notstromversorgung mit den hydromechanischen Zusammenhängen der Trinkwasserversorgung verknüpft. Kapitel 6 basiert auf folgender Veröffentlichung:

- (5) Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Blackout Vorsorge – Pilotprojekt der Dieselbevorratung. gwf-Wasser/Abwasser 04/2024, S. 109–120. doi:10.17560/gwfw.v165i4.2732 [63].

Kapitel 7 gibt eine **Zusammenfassung** des Inhalts der Dissertation, beantwortet die Forschungsfragen, bietet eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse und einen Ausblick.

Die sechste Veröffentlichung beinhaltet eine Zusammenfassung der gesamten Studie in englischer Sprache:

- (6) Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Water supply security - risk management instruments in water supply companies. Water 2024, 16, 1814. doi:10.3390/w16131814 [64].

Der Originalartikel [64] ist als Anlage 1 der Dissertation beigefügt. Auszüge aus [64] wurden für die Kurzfassung sowie für die Erarbeitung der Kapitel 1 und 7 genutzt.

Die Einordnung der Veröffentlichungen von Heumer et al. [59-64] sowie der Dissertation mit den Kapiteln 2 bis 6 in das Risikomanagement nach [20,21] ist in **Abb. 1.2** dargestellt.

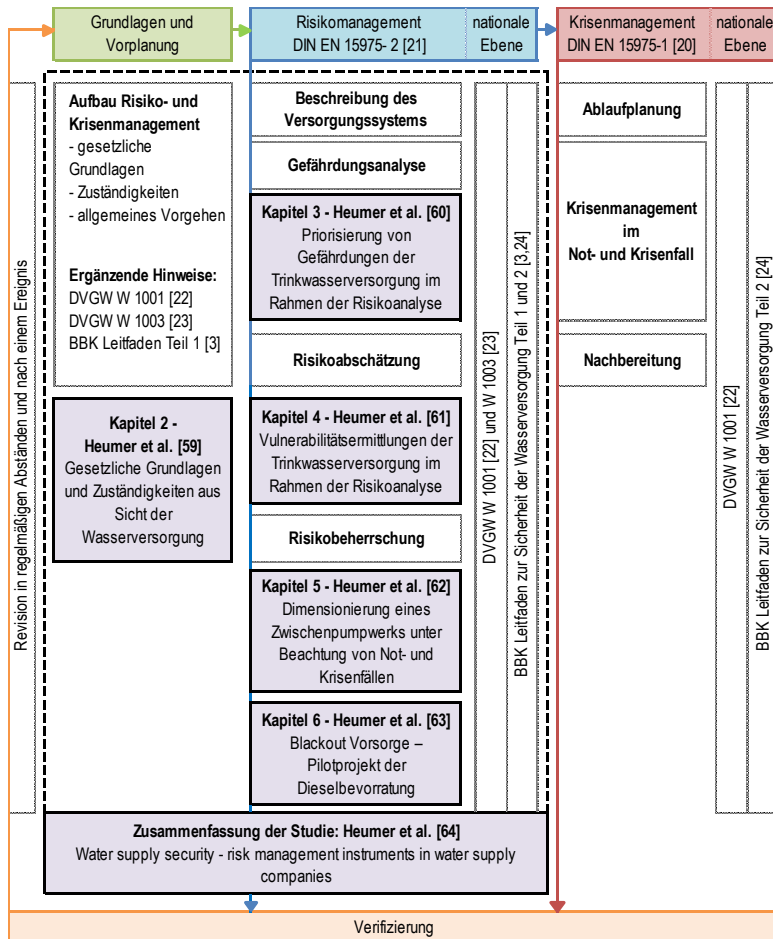


Abb. 1.2: Einordnung der Dissertationsinhalte (violette Formatierung) in das Risikomanagement nach DIN EN 15975 Teil 1 und 2 [20,21]

1.4 Literaturquellen

- [1] Bundesministerium des Inneren – BMI. Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS- Strategie). Hrsg. BMI: Berlin, 2009.
- [2] Adams, C.; Degour, J.; Derosa, A.; Lane, C.; Lowndes, D.; Mapp, L.; McFadden, L.; Morley, K.; Pickard, B.; Santillo, N.; Sullivan, J.; Szabo, J. Thomas, N.; Travers, D.; Walters, R.; Wisniewski, L. Roadmap to a Secure and Resilient Water and Wastewater Sector, developed by Water and Wastewater Sector Strategic Roadmap Work Group. United States Environmental Protection Agency: 01/2024.
- [3] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – BBK. Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1: Risikoanalyse. Hrsg. BBK: Bonn, 01/2016.
- [4] Lee, H.; Romero, J. IPCC: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. IPCC: Geneva, Switzerland, 03/2023, pp. 1-34. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- [5] Kubiak-Wójcicka, K.; Jamorska, I.; Górski, Ł. The identification of risks for drinking water intakes in urbanized area: The case study of Toruń (Central Poland). *Water* 2021, 13(23), 3378. doi:10.3390/w13233378.
- [6] Mostafa, S.M.; Wahed, O.; El-Nashar, W.Y.; El-Marsafawy, S.M.; Zeleňáková, M.; Abd-Elhamid, H.F. Potential climate change impacts on water resources in Egypt. *Water* 2021, 13(12), 1715. doi:10.3390/w13121715.
- [7] Luh, J.; Royster, S.; Sebastian, D.; Ojomo, E.; Bartram, J. Expert assessment of the resilience of drinking water and sanitation systems to climate-related hazards. *Science of The Total Environment* 2017, 592, 334–344.
- [8] Kohlitz, J.; Chong, J.; Willets, J. Rural drinking water safety under climate change: The importance of addressing physical, social, and environmental dimensions. *Resources* 2020, 9(6), 77. doi:10.3390/resources9060077.
- [9] Kurniawan, T.A.; Bandala, E.R.; Othman, M.H.D.; Goh, H.H.; Anouzla, A.; Chew, K.W.; Aziz, F.; Al-Hazmi, H.E.; Khoir, A.N. Implications of climate change on water quality and sanitation in climate hotspot locations: A case study in Indonesia. *Water Supply* 2024, 24(2), 517–542. doi:10.2166/ws.2024.008.
- [10] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V – BDEW. Corona-Virus: Derzeit keine Auswirkungen auf Energieversorgung und Trinkwasserqualität - Der BDEW informiert zum aktuellen Stand in Energie- und Wasserwirtschaft, in Zeiten der Corona-Pandemie. Hrsg. BDEW: Berlin, 23.03.2020.

- [11] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. - DVGW. Presseinformation Aktuelle Lage Corona-Virus: Gas- und Wasserversorgung in Deutschland ist sichergestellt. Hrsg. DVGW, Berlin, 13.03.2020.
- [12] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V – BDEW. Corona-Virus: BDEW zum ersten Bericht des Expertenrats der Bundesregierung/ Auswirkungen der Omikron-Variante auf kritische Infrastrukturen. Hrsg. BDEW, Berlin, 20.12.2021.
- [13] Petermann, T.; Bradke, H.; Lüllmann, A.; Poetzsch, M.; Riehm, U. What happens during a blackout: Consequences of a prolonged and wide-ranging power outage, final report. Hrsg. Office of Technology Assessment at the German Bundestag: Berlin, 2011.
- [14] Busby, J.W.; Baker, K.; Bazilian, M.D.; Gilbert, A.Q.; Grubert, E.; Rai, V.; Rhodes, J.D.; Shidore, S.; Smith, C.A.; Webber, M.E. Cascading risks: Understanding the 2021 winter blackout in Texas. *Energy Research & Social Science* 2021, 77. 102106. doi:10.1016/j.erss.2021.102106.
- [15] Mank, I. Energy blackouts and water outages: A risk management approach towards raising awareness and assuming responsibility. Master thesis, TU Vienna, Austria, 06/2015.
- [16] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI. Einschätzung der aktuellen Cyber-Sicherheitslage in Deutschland nach dem russischen Angriff auf die Ukraine. Hrsg. BSI: Bonn, 03/2022.
- [17] Brumfield, C. Attempted cyberattack highlights vulnerability of global water infrastructure. <https://www.csoonline.com/article/3541837/attempted-cyberattack-highlights-vulnerability-of-global-water-infrastructure.html> (aufgerufen am 03.04.2024).
- [18] Riggs, H.; Tufail, S.; Parvez, I.; Tariq, M.; Khan, M.A.; Amir, A.; Vuda, K.V.; Sarwat, A.I. Impact, vulnerabilities, and mitigation strategies for cyber-secure critical infrastructure. *Sensors* 2023, 23(8), 4060. doi:10.3390/s23084060.
- [19] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking water quality: fourth edition incorporating the first addendum, 4th edition, incorporating the 1st addendum. Eds. WHO: Geneva, Switzerland, 2017, ISBN 978-9241549950.
- [20] DIN EN 15975-1. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement. Hrsg. Beuth Verlag GmbH: Berlin, 03/2016.
- [21] DIN EN 15975-2. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement. Hrsg. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 12/2013.
- [22] DVGW Merkblatt W 1001: Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risiko- und Krisenmanagement. Stand 11/2020, WVGW-Verlag, Bonn.
- [23] DVGW Arbeitsblatt W 1003: Resilienz und Versorgungssicherheit in der öffentlichen Wasserversorgung. Stand 06/2022, WVGW-Verlag, Bonn.
- [24] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung. BBK Fachinformation Praxis im Bevölkerungsschutz. Ausg. 06/2019,

- Hrsg. BBK, Band 15, im Auftrag des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn.
- [25] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Stand der Notfallvorsorgeplanung in der Wasserversorgung in Deutschland. *gwf-Wasser/Abwasser* 2020, 9, 40–51.
 - [26] Bross, L.; Wienand, I.; Krause, S. Batten down the hatches - Assessing the status of emergency preparedness planning in the German water supply sector with statistical and expert-based weighting. *Sustainability* 2020, 12(17), 7177. doi:10.3390/su12177177.
 - [27] Bartram, J.; Corrales, L.; Davison, A.; Deere, D.; Drury, D.; Gordon, B.; Howard, G.; Rinehold, A.; Stevens, G. *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. Stand 2009, Genf: Hrsg. World Health Organization.
 - [28] Abuzerr, S.; Hadi, M.; Zinszer, K.; Nasseri, S.; Yunesian, M.; Mahvi, A. H.; Nabizadeh, R.; Mohammed, S. H. Comprehensive risk assessment of health-related hazardous events in the drinking water supply system from source to tap in Gaza strip, Palestine. *Journal of Environmental and Public Health* 2020 (11), 1-10. doi:10.1155/2020/7194780.
 - [29] Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). *Handbook on Constructing Composite Indicators- Methodology and user guide*. Stand: 2008, ISBN 978-9264043459.
 - [30] Terekhanova, T.; Tränckner, J.; Gruettner, T.; Perdu, G. Risikomanagement: Sensitivitätsauswertung von Trinkwasserversorgungsgebieten ohne hydraulische Modellierung, *gwf-Wasser/Abwasser* 12/2013, S. 1348-1356.
 - [31] Todini, E. Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach, *Urban Water* 2000, 2(2), 115–122, ISSN 14620758. doi:10.1016/S1462-0758(00)00049-2.
 - [32] Bonora, M.A.; Caldarola, F.; Maiolo, M. A New Set of Local Indices Applied to a Water Network through Demand and Pressure Driven Analysis (DDA and PDA). *Water* 2020, 12, 2210. doi:10.3390/w12082210.
 - [33] Bonora, M.; Caldarola, F.; Maiolo, M.; Muranho, J.; Sousa, J. The new set up of local performance indices into WaterNetGen and applications to Santarém's network. *Environ. Sci. Proc.* 2020, 2(1), 18. doi:10.3390/environsciproc2020002018.
 - [34] Caldarola, F.; Maiolo, M. Local indices within a mathematical framework for urban water distribution systems. *Cogent Eng.* 2019, 6, 1643057. doi:10.1080/23311916.2019.1643057.
 - [35] Bonora, M.; Caldarola, F.; Muranho, J.; Sousa, J.; Maiolo, M. Numerical experimentations for a new set of local indices of a water network. In *Proceedings of the 3rd International Conference "Numerical Computations: Theory and Algorithms"*; Lecture Notes in Computer Science; Sergeev, Y.D.; Kvasov, D.E., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 11973. doi:10.1007/978-3-030-39081-5_42.
 - [36] Caldarola, F.; Maiolo, M. Algebraic tools and new local indices for water networks: Some numerical examples. In *Proceedings of the 3rd International Conference "Numerical Computations: Theory*

- p>and Algorithms"; Lecture Notes in Computer Science; Sergeyev, Y.; Kvasov, D., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 11973. doi:10.1007/978-3-030-39081-5_44.
- [37] Klise, K.; Hart, D.; Bynum, M.; Hogge, J.; Haxton, T.; Murray, R.; Burkhardt, J. Water Network Tool for Resilience (WNTR) User Manual Version 1.0. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/B-23/098, 2023.
- [38] Muranho, J.; Ferreira, A.; Sousa, J.; Gomes, A.; Sa Marques, A. Technical performance evaluation of water distribution networks based on EPANET. *Procedia Eng.* 2014, 70, 1201–1210. doi:10.1016/j.proeng.2014.02.133.
- [39] Abdy Sayyed, M.A.H.; Gupta, R.; Tanyimboh, T.T. Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET, *Procedia Engineering* 2014, 89, 626–631. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.487.
- [40] Vasilic, Z.; Babic, B.; Ivetic, D.; Kapelan, Z.; Stanic, M. An Improved DeNSE Methodology for Optimal Sectorization of Water Distribution Networks. *Water* 2024, 16, 1463. doi:10.3390/w16111463.
- [41] Klingel, P. Rohrnetzanalyse – Modellierung von Wasserverteilungssystemen. Hrsg. Springer GmbH: Wiesbaden, 2018, ISBN 978-3658212698.
- [42] Mayr, E.; Lukas A.; Möderl, M.; Rauch, W.; Perfler, R. Integrales Risikomanagement für die Trinkwasserversorgung in Österreich. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 2011, 63, 82–86. doi:10.1007/s00506-011-0290-x.
- [43] Zhuang, B.; Lansey, K.; Kang, D. Resilience/Availability analysis of municipal water distribution system incorporating adaptive pump operation. *J. Hydraulic Engineering* 2013, 139(5), 527–537. doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000676.
- [44] Avesani, D.; Maurizio Righetti, M.; Righetti, D.; Bertola, P. The extension of EPANET source code to simulate unsteady flow in water distribution networks with variable head tanks. *Journal of Hydroinformatics* 2012; 14(4), 960–973. doi:10.2166/hydro.2012.013.
- [45] Bross, L.; Krause, S. Will there be enough water? A system dynamics model to investigate the effective use of limited resources for emergency water supply. *Systems* 2021, 9, 2. doi:10.3390/systems9010002.
- [46] Daniel, D.; Prawira, J.; Al Djono, T.P.; Subandriyo, S.; Rezagama, A.; Purwanto, A. A system dynamics model of the community-based rural drinking water supply program (PAMSIMAS) in Indonesia. *Water* 2021, 13, 507. doi:10.3390/w13040507.
- [47] Zarghami, M.; Akbariyeh, S. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resources, Conservation and Recycling* 2012, 60, 99–106. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.008.
- [48] Phan, T.D.; Smart, J.C.R.; Sahin, O.; Capon, S.J.; Hadwen, W.L. Assessment of the vulnerability of a coastal freshwater system to climatic and non-climatic changes: A system dynamics approach. *J. Cleaner Production* 2018, 183, 940–955. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.169.

- [49] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW W 400-1 Arbeitsblatt, Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV). Stand 10/2020, Bonn: Hrsg. DVGW.
- [50] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig. Sonderdruck gwf-Wasser/Abwasser 01/2020, S. 1–5.
- [51] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung – Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig. BBK Bevölkerungsschutz 3/2018, S. 12–17.
- [52] Broß, L. Wasserversorgung in Notsituationen – Verfahren zur Beurteilung der Resilienz von Wasserversorgungssystemen unter Berücksichtigung der Ersatz- und Notwasserversorgung, Mitteilungen Institut für Wasserwesen Nr. 133. Hrsg. Universität der Bundeswehr München: München, 2020, ISBN 978-3943297514.
- [53] Reed, R.; Godfrey, S.; Kayaga, S.; Reed, B.; Rouse, J.; Fisher, J. Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies. 2nd ed. Water, Engineering and Development Centre Loughborough University: Sept. 2013, ISBN 978-1843801528.
- [54] Bross, L.; Krause, S.; Wannewitz, M.; Stock, E.; Sandholz, S.; Wienand, I. Insecure security: Emergency water supply and minimum standards in countries with a high supply reliability. Water 2019, 11, 732. doi:10.3390/w11040732.
- [55] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches - SVGW. Empfehlung W1012 d (vormals W/VN300 d) - Wegleitung für die Planung und Realisierung der Trinkwasserversorgung in Notlagen (TWN). Hrsg. SVGW: Zürich, Schweiz, 02/2007.
- [56] Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach – ÖVGW. Richtlinie W74 - Trinkwassernotversorgung - Erfolgreiches Krisenmanagement in der Wasserversorgung. Hrsg. ÖVGW: Wien, Österreich, 02/2017.
- [57] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe - BBK. Rahmenkonzept der Trinkwassernotversorgung, Neukonzeption zur Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen in Anlehnung an die Konzeption zivile Verteidigung (2016). Hrsg. BBK: Bonn, 02/2022.
- [58] Bundesministerium des Inneren (BMI). Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement Leitfaden für Unternehmen und Behörden. Stand 05/2011, Berlin: Hrsg. BMI.
- [59] Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung – Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten aus Sicht der Wasserversorgung. gwf-Wasser/Abwasser 11/2022, S. 73–82. doi:10.17560/gwfw.v163i11.2624.
- [60] Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung – Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. gwf-Wasser/Abwasser 03/2023, S. 63–75. doi:10.17560/gwfw.v164i3.2642.

- [61] Heumer, F.; Kritznier, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Vulnerabilitätsmittlungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. *gwf-Wasser/Abwasser* 09/2023, S.71–79. doi:10.17560/gwfwa.v164i09.2671.
- [62] Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen. *gwf-Wasser/Abwasser* 12/2023, S. 63–72. doi:10.17560/gwfwa.v164i12.2699.
- [63] Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Blackout Vorsorge – Pilotprojekt der Dieselbevorratung. *gwf-Wasser/Abwasser* 04/2024, S. 109–120. doi:10.17560/gwfwa.v165i4.2732.
- [64] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Water supply security - risk management instruments in water supply companies. *Water* 2024, 16, 1814. doi:10.3390/w16131814.

2 Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten aus Sicht der Wasserversorgung

Security of water supply - Responsibilities and overview of the laws in Germany

Felix Heumer, Thomas Grischek, Jens Tränckner,

gwf-Wasser/Abwasser 11-2022, S. 73–83, doi:10.17560/gwfw.v163i11.2624

Eingereicht am: 03.05.2022

Begutachtet im Peer-Review-Verfahren: 05.10.2022

Keywords: Risikomanagement, Risikoanalyse, Risikomaßnahmen, Landeswassergesetz, Brand- und Katastrophenschutz

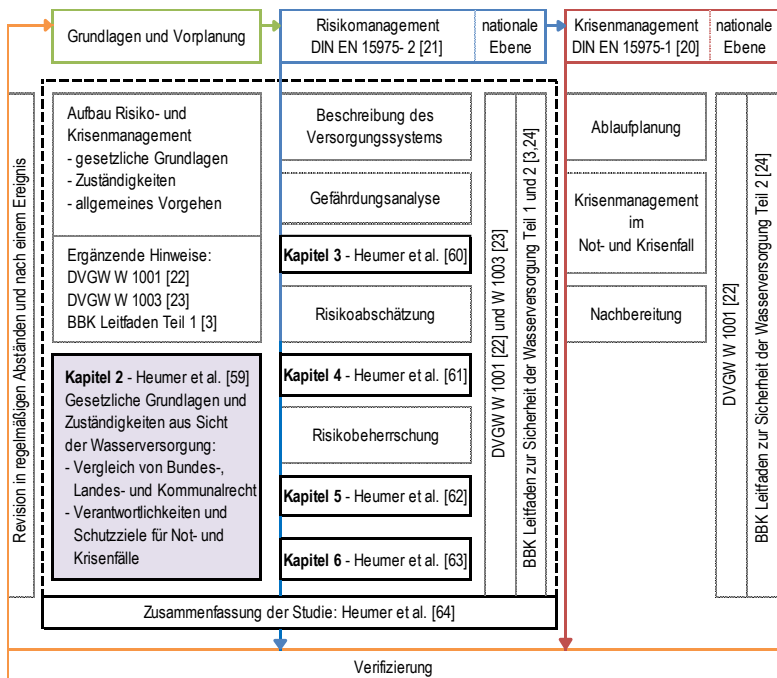


Abb. 2.1: Einordnung des Kapitels 2 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN EN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap. 1.4)

Zusammenfassung

Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit in der Wasserwirtschaft sowohl im Normalbetrieb als auch in Not- und Krisenfällen sind konkrete Rahmenvorgaben, definierte Schutzziele und effiziente Vorsorgemaßnahmen. Die Verantwortlichkeiten und der Umfang der Maßnahmen zur Sicherstellung der Wasserversorgung sind in Deutschland gegenwärtig nicht immer eindeutig geregelt und variieren in den Landesgesetzen. Es fehlt an rechtlichen Grundlagen zur Umsetzung von Maßnahmen zur Sicherung der Wasserversorgung über den bundesgesetzlich geregelten Verteidigungsfall hinaus. Risikoanalysen bilden eine gute Grundlage zur Umsetzung von effektiven Vorsorgemaßnahmen. Die Identifizierung von Risiken und Ableitung von Investitionen zur Risikominimierung sollte stärker in die Gesetzgebung eingebunden werden. Abgestimmte und vollzugstaugliche Regelungen zur (leitungsgebundenen) Ersatzwasserversorgung in Not- und Krisensituationen unterstützen die Verantwortungsträger bei der Aufgabe, die öffentliche Wasserversorgung weiter zu härten und auf Not- und Krisensituationen vorbereitet zu sein.

Abstract

Maintaining water supply security in day-to-day operation and in case of emergencies or crisis requires specific frameworks, defined safety goals and efficient preventive actions. At present, the responsibilities and scope of measures to safeguard water supply systems are not always clearly regulated in Germany and vary among state laws. There is a lack of a legal basis for the implementation of measures to safeguard water supplies except for the case of defence which is regulated by federal law. Risk analyses form a good basis for implementing effective preventive measures. Identification of risks and planning of investments to mitigate risks should be introduced more in legislation. Coordinated and enforceable regulations for (piped) backup water supply in emergency and crisis situations support the responsible parties in their task of further hardening the public water supply and preparedness for emergencies.

2.1 Einleitung

Die Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung ist eine Aufgabe der kommunalen Daseinsvorsorge [1]. Dies gilt auch für den Not-, Krisen- und Katastrophenfall. Dabei beschreibt der Begriff der öffentlichen Wasserversorgung alle Bestandteile von der Gewinnung über die Aufbereitung bis hin zur Verteilung des Trinkwassers. Die Definitionen des Not-, Krisen- und Katastrophenfall richten sich nach dem Glossar des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe [2].

Die gesetzlichen Regelungen zur Sicherstellung der Wasserversorgung sind unvollständig und unterscheiden sich zwischen den Bundesländern. Regelungen zum Ausfall der öffentlichen Wasserversorgung werden in den geltenden Gesetzesgrundlagen nur bedingt behandelt. Ausschließlich das Wassersicherstellungsgesetz [3] beinhaltet konkrete Planungsvorgaben zur Bewältigung eines Ausfalls der öffentlichen Wasserversorgung. Dieses Bundesgesetz findet aber nur im Verteidigungsfall Anwendung. Den fehlenden rechtlichen Inhalt bei bestehenden Notfällen beschreibt Reinhardt [4] wie folgt: *„Keine Regelungen treffen sie (u. a. Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Trinkwasserverordnung (TrinkwV), Infektionsschutzgesetz (IfSG)) für den eingetretenen Notfall selbst, in dem bei Versagen der vorsorglichen Sicherungen die dem Staat obliegende Versorgung des Bürgers mit dem lebensnotwendigen Gut auf andere Weise zu erfolgen hat. Anderes gilt im Verteidigungsfall, für den das Wassersicherstellungsgesetz des Bundes zum Schutz der Zivilbevölkerung und der Streitkräfte ein umfassendes Konzept zur Deckung des Bedarfs an Trink-, Betriebs und Löschwasser sowie zu Abwasserbeseitigung und Entwässerung errichtet.“*

Dabei können auch die Auswirkungen des Klimawandels, Cyberangriffe, Pandemien, und viele weitere Gefahren zu einer Unterbrechung der Wasserversorgung führen. Zu den Auswirkungen der Naturgefahren lassen sich viele historische Beispiele recherchieren. So wurden in 2021 im Ahrtal ganze Infrastrukturbereiche durch Hochwasser zerstört [5] und in 2018 war durch die Trockenperiode die Wasserversorgung in Deutschland beeinträchtigt [6-7]. Die Steigerung der Häufigkeit und Intensität von derartigen Extremwetterereignissen ist in den Klimaprojektionen dargestellt [8-9]. Des Weiteren wird im Bereich der Sabotage vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) [10] mit vermehrten Cyberangriffen gerechnet. Somit belegen die Prognosen zum Klimawandel und des BSI, dass zurzeit ein Ausfall der öffentlichen Wasserversorgung durch andere Gefahren wahrscheinlicher ist, als eine Unterbrechung der Wasserversorgung durch kriegserische Handlungen.

Basierend auf einer Übersicht der aktuellen Rechtsbestimmungen und Zuständigkeiten in den einzelnen Bundesländern werden resultierende Regelungslücken und Verständnisfragen beim Aufbau einer sicheren Wasserversorgung im Not-, Krisen- und Katastrophenfall analysiert.

2.2 Rechtsbestimmungen

2.2.1 Überblick der wesentlichen Rechtsbestimmungen

Der Umgang mit Trinkwasser und die Vorsorge für eine sichere Wasserversorgung sind im WHG [11], der TrinkwV [12] und in den Wassergesetzen der Länder verankert. **Abb. 2.2** gibt einen Überblick über Gesetzesebenen, zugeordnete Gesetze und ausgewählte Paragraphen, welche Regelungen für eine sichere Wasserversorgung enthalten.

Europäische Ebene
Europäische Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch [13]
Bundes Ebene
Wasserhaushaltsgesetz [11] § 50 Abs. 1 Daseinsvorsorge § 50 Abs. 4 Allgemein anerkannte Regeln der Technik Infektionsschutzgesetz [14] § 37 Abs. 1 Beschaffenheit von Wasser Trinkwasserverordnung [12] Abschnitt 2 §§ 4-10 Beschaffenheit des Trinkwassers § 16 Abs. 5 Erstellung von Maßnahmeplänen § 17 Abs. 1 Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser [15] § 5 Umfang der Versorgung, Benachrichtigung bei Versorgungsunterbrechung §§ 12- 14 Kundenanlagen und Zutrittsrecht Wassersicherstellungsgesetz [3] Erste Wassersicherstellungsverordnung [16] §§ 1-3 Deckung des lebensnotwendigen Bedarfs an Trinkwasser - Zweite Wassersicherstellungsverordnung [17]
Landes Ebene
Landeswassergesetze Gesetze über Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz Gesetze über den öffentlichen Gesundheitsdienst
Kommunale Ebene
Satzungen: Anschlussatzungen, Versorgungssatzungen Bsp. Anschlussatzungen

Abb. 2.2: Zusammenstellung der gesetzlichen Bestimmungen zur Wassersicherstellung auf EU, Bundes-, Landes- und Kommunalebene mit ausgewählten Paragraphen

Das WHG [11] beschreibt im § 50 die öffentliche Wasserversorgung als Aufgabe der Daseinsvorsorge. Auf dieser Grundlage sind die Kommunen verpflichtet, ihre Bürger mit Trinkwasser zu versorgen. Gemäß § 50 Abs. 4 WHG [11] müssen bei der Versorgung grundsätzlich die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) eingehalten werden. Qualitätsanforderungen und Überwachungshäufigkeiten sind als Rahmen in der Trinkwasserrichtlinie der Europäischen Union [13] enthalten. Das IfSG [14] und die TrinkwV [12] setzen die EU-Richtlinie in nationales Recht um. Dabei beschreibt das IfSG die Anforderung an das Trinkwasser wie folgt: *„Wasser für den menschlichen Gebrauch muss so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist“* [14]. Die zentralen Regelungsinhalte der TrinkwV [12] sind die Beschaffenheit, die Aufbereitung und Desinfektion, die Pflichten der Wasserversorger sowie die Überwachung des Trinkwassers.

Die TrinkwV fordert im § 17 Abs. 1 [12] weiterhin, dass Trinkwasserversorgungsanlagen nach den a.a.R.d.T zu planen, zu bauen und zu betreiben sind. Die Einhaltung dieser Forderung erfolgt mit Umsetzung des technischen Regelwerkes, welches regelmäßig durch die Fachverbände, z. B. den Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), fortgeschrieben wird. **Tab. 2.1** bietet eine Zusammenstellung der wichtigsten Normen für die Sicherung der Trinkwasserversorgung.

Tab. 2.1: Normen der Sicherung der Trinkwasserversorgung

Norm	Inhalt
DIN 2000 [18]	Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen
DIN 2001-3 [19]	Trinkwasserversorgung aus Kleinanlagen und nicht ortsfesten Anlagen – Teil 3: Nicht ortsfeste Anlagen zur Ersatz- und Notwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an das abgegebene Wasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Anlagen
DIN EN 15975-1 [20]	Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement; Deutsche Fassung
DIN EN 15975-2 [21]	Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement
DVGW W 1001 [22]	Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risiko- und Krisenmanagement
DVGW W 1003 [23]	Resilienz und Versorgungssicherheit in der öffentlichen Wasserversorgung
DVGW W 1020 [24]	Empfehlungen und Hinweise für den Fall von Abweichungen von Anforderungen der Trinkwasserverordnung; Maßnahmenplan und Handlungsplan
DVGW W 1000 [25]	Anforderungen an die Qualifikation und die Organisation von Trinkwasserversorgern
DVGW W 1050 [26]	Objektschutz von Wasserversorgungsanlagen
DVGW W 1060 [27]	IT-Sicherheit – Branchenstandard Wasser/Abwasser
FwDV 100 [28]	Führung und Leitung im Einsatz – Führungssystem

Die Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV) [15] beschreibt in den §§ 12-14 die Anforderungen an Kundenanlagen und Zutrittsrechte des Wasserversorgers. Auch die Kundenanlagen müssen den a.a.R.d.T. entsprechen. Nach der Verordnung dürfen nur Wasserversorgungsunternehmen oder im Installateurverzeichnis eingetragene Firmen die Kundenanlagen errichten oder wesentliche Veränderungen vornehmen. Damit werden auch für die Kundenanlagen eine geeignete Materialauswahl im Kontakt mit dem Trinkwasser, der Einbau von Sicherheitsarmaturen und eine fachgerechte Installation sichergestellt.

Alle vorgenannten rechtlichen Regelungen dienen der Sicherstellung der Wasserversorgung unter normalen Betriebsbedingungen. Das Wassersicherstellungsgesetz (WasSiG) [3] beschreibt die Anforderungen für den Verteidigungsfall. Mit dem Gesetz und den zugehörigen Verordnungen soll eine Notversorgung der Bevölkerung mit Wasser sichergestellt werden. Dabei regelt die erste Wassersicherstellungsverordnung (1. WasSV) [16] den lebensnotwendigen Bedarf an Trinkwasser und die zweite Wassersicherstellungsverordnung (2. WasSV) [17] die baulichen Anforderungen an Brunnen und Quelfassungen.

2.2.2 Ergänzende Rechtsbestimmungen auf Landesebene

Weitergehende Regelungen zur Härtung der Wasserversorgung enthalten – sektoral verteilt – diverse Gesetze auf Ebene der Bundesländer: Landeswassergesetze, Brand- und Katastrophenschutzgesetze, Infektionsschutzverordnungen und Gesetze des öffentlichen Gesundheitsdienstes. Die Inhalte und auch die Zuständigkeiten zur Sicherstellung der Wasserversorgung variieren jedoch zwischen den Ländern.

Ein Vergleich der Landeswasser- und Landeskatastrophenschutzgesetze wurde durch Broß et al. [29] 2019 veröffentlicht, dieser Vergleich wurde fortgeschrieben und durch die Angabe von relevanten Paragraphen ergänzt (**Tab. 2.2**).

In der Veröffentlichung von Broß et al. [29] wurden für 6 Bundesländer rechtliche Inhalte zur Sicherstellung der Wasserversorgung identifiziert. Für die aktuelle Übersicht (**Tab. 2.2**) konnten nur noch für Bayern [31,47] und das Saarland [41,57] keine Regelungen mit Bezug zur Sicherstellung der Wasserversorgung herausgearbeitet werden. Bei vier Ländern (Bremen [50], Niedersachsen [54], Sachsen-Anhalt [59] und Schleswig-Holstein [60]) ist der Inhalt, in Bezug auf die Sicherstellung der Wasserversorgung, jedoch nur sehr allgemein in den Brand- und Katastrophenschutzgesetzen gefasst.

Tab. 2.2: Übersicht der Landeswasser- und Brand- und Katastrophenschutzgesetze der Länder mit relevanten Paragraphen zur Sicherheit der Wasserversorgung

Land	Landeswassergesetze	Brand- und Katastrophenschutzgesetze
Baden-Württemberg	WG [30] §§ 44-45; §§ 100-114	§44 Abs. 3 Öffentliche Wasserversorgung - Durchführung von vorsorgenden Maßnahmen zur Versorgungssicherheit LKatSG BW [46] k.R.
Bayern	BayWG [31] Art. 31-32; Art. 68	k.R. BayKSG [47] k.R.
Berlin	BWG [32] § 13a, § 18, § 22, § 24a, §§ 37a-38	§37a Abs. 1 Land Berlin muss öffentliche Wasserversorgung sicherstellen, Übertragung an Berliner Wasserbetriebe KatSG-B [48] § 19 Pkt. 9 Mitwirkungspflicht für Betreiberinnen und Betreiber Kritischer Infrastrukturen § 28 Abs. 1-2 Sicherstellung, dass die eigenen Anlagen bei Ausfall oder Beeinträchtigung auch anderer Kritischer Infrastrukturen für einen angemessenen Zeitraum eigenständig fortgeführt werden
Brandenburg	BbgWG [33] §§ 15-17, § 33, §§ 40-42, §§ 59-63	§63 Abs. 1 Wasserwirtschaft-samt stellt einen Plan auf zur gebietsübergreifenden Sicher-stellung der öffentlichen WV BbgBKG [49] § 5 Pkt. 9 Das Land hat Festlegungen zu treffen, um den Schutz kritischer Infrastruktur langfristig und nachhaltig zu sichern.
Bremen	BremWG [34] §§ 40-42	k.R. BremHilfeG [50] § 40 Einheiten und Einrichtungen öffentlicher Träger wirken im Katastrophenschutz mit.
Hamburg	HWaG [35] § 16, § 17, § 27, § 54a, § 96	§ 54a Abs. 3 Wasserversorgung hat Pflicht zur besonderen Hochwasservorsorge HmbKatSG [51] § 11 Abs. 1 Die der Aufsicht der Freien und Hansestadt Hamburg unterliegenden juristischen Personen des öffentlichen Rechts wirken beim Katastrophenschutz mit.
Hessen	HWG [36] § 28, §§ 30- 36	§31 Abs. 1 Wasserversorgungsanlag en sind so zu betreiben, dass die öffentliche Sicherheit gewährleistet ist. HBKG [52] § 27 Abs. 1 Die öffentlichen Einheiten und Einrichtungen wirken im Katastrophenschutz mit.

Mecklenburg-Vorpommern	LWaG [37] § 7, §§ 16-18, § 31, §§ 43-46, § 122, § 136	k.R.	LKatSG M-V [53]	§ 3 Abs. 2 Pkt. 5 Katastrophenschutzbehörden übertragen die Aufgaben an zuständige Behörden der Trinkwasserversorgung. § 13a Abs. 2 Betreiber von Einrichtungen, die Kritische Infrastrukturen sind oder solcher angehören, haben durch geeignete Maßnahmen der Entstehung eines Ausfalls oder einer Beeinträchtigung Kritischer Infrastrukturen vorzubeugen sowie geeignete Maßnahmen zur Eindämmung und Bewältigung eines Schadensereignisses vorzuhalten. Insbesondere haben sie sicherzustellen, dass sie ihre Aufgaben bei Ausfall oder Beeinträchtigung auch anderer Kritischer Infrastrukturen für einen angemessenen Zeitraum eigenständig fortführen können.
Niedersachsen	NWG [38] § 4, §§ 21-28, §§ 88-93	k.R.	NKatSG [54]	§ 4 Andere Behörden, Dienststellen und sonstige Träger öffentlicher Aufgaben wirken im Rahmen ihrer Zuständigkeiten oder im Wege der Amtshilfe im Katastrophenschutz mit. § 14 Abs. 1 Einheiten und Einrichtungen öffentlicher Träger wirken im Katastrophenschutz mit.
Nordrhein-Westfalen	LWG NW [39] §§ 35-42, § 84, § 98	§ 38 Abs. 3 langfristige Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung durch Gemeinde unter Beachtung des Klimawandels § 84 Abs. 3 Pkt. 1 Anlagen zur Trinkwasserversorgung sind so zu errichten und zu betreiben, dass sie auch bei Hochwasser betrieben oder durch eine andere Anlage ersetzt werden können.	BHKG [55]	§ 47 Abs. 2 Auskunftspflicht der Wasserversorgung zur Ort und Lage von besonders zu schützenden Einrichtungen und zur räumlichen Ausdehnung von Versorgungsausfällen

Rheinland-Pfalz	§ 53 die oberste Wasserbehörde kann einen Plan aufstellen zur gebietsübergreifenden Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung LBKG [56]	§ 2 Abs. 4 Träger öffentlicher Aufgaben sollen über ihre Zuständigkeiten und die Amtshilfe hinaus die Aufgabenträger bei der Vorbereitung und Durchführung von Maßnahmen für die Abwehr von Gefahren im Rahmen ihrer Möglichkeiten unterstützen.
Saarland	SWG [41] §§ 13-13a, § 18, § 37, § 48 k.R. SBKG [57] k.R.	
Sachsen	§ 42 Abs. 1 Träger der öffentlichen Wasserversorgung haben unter Berücksichtigung der demografischen und klimatischen Entwicklungen die Wasserversorgung, einschließlich der Versorgung in Not- und Krisensituationen, langfristig sicherzustellen. SächsWG [42] § 39, §§ 42-46, § 55, § 68, § 90- 91 SächsBRKG [58]	§ 39 Abs. 1 Mitwirkung im Katastrophenschutz von Einrichtungen des öffentlichen Rechts § 37 Abs. 1 Pkt. 2 Nach dem Auslösen des Katastrophenalarms ... auf den Schutz gefährdeter Rechtsgüter im Sinne von § 2 Abs. 3 vor den Einwirkungen des Katastrophengeschehens hinzuwirken.
Sachsen-Anhalt	WG LSA [43] § 18, §§ 70-76, §§ 83-85 k.R. KatSG-LSA [59]	§ 11 Abs. 2 Die Katastrophenschutzbehörde sorgt für die Aufstellung von Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes in bedarfsangemessenem Umfang und fördert diese. Hierbei bedient sie sich der im Katastrophenschutz mitwirkenden öffentlichen und privaten Träger ...

Schleswig-Holstein	LWG SH [44] §§ 41-43; § 110	k.R.	LKatSG SH [60]	§ 8 Abs. 1 Alle Behörden des Landes und alle der Aufsicht des Landes unterstehenden juristischen Personen des öffentlichen Rechts, die im Bezirk der jeweiligen Katastrophenschutzbehörde öffentlich-rechtliche Verwaltungstätigkeit wahrnehmen, haben im Rahmen ihres Aufgabenbereiches beim Katastrophenschutz zu helfen. § 7 Abs. 1 Pkt. 2 Bei Katastrophen hat die Katastrophenschutzbehörde ... auf den Schutz gefährdeter Rechtsgüter im Sinne des § 1 Abs. 1 hinzuwirken.
Thüringen	ThürWG [45] § 33, § 39, §§ 42-45	§ 43 Fernwasserverbund zur regionalen sicheren öffentlichen Wasserversorgung	ThürBKG [61]	§ 35 Abs. 1 (1) Die Katastrophenschutzbehörde leitet den Katastrophenschutz einsetzt. Sie kann innerhalb ihres Zuständigkeitsbereichs allen zuständigen Behörden und Dienststellen des Landes der gleichen oder einer niedrigeren Stufe, mit Ausnahme der obersten Landesbehörden, Weisungen erteilen. Das Gleiche gilt für die der Aufsicht des Landes unterstehenden Träger öffentlicher Aufgaben.

k.R. = Keine konkrete Regelung zur Sicherstellung der Wasserversorgung enthalten

☐ Allgemeingültige Regelung mit indirektem Bezug zur Trinkwasserversorgung

In einigen Landeswassergesetzen sind konkrete Regelungen zur Härtung der Wasserversorgung enthalten. Der § 42 Abs. 1 SächsWG [42] beschreibt beispielsweise, dass die Träger der öffentlichen Wasserversorgung die Versorgung mit Trinkwasser - auch in Not- und Krisenfällen - sicherstellen müssen. Die Anpassung an den Klimawandel wird im § 38 Abs. 3 LWG NW [39] und § 42 Abs. 1 SächsWG [42] eindeutig benannt. Der besondere Schutz der Anlagen vor Hochwasser ist im § 84 Abs. 3 Pkt. 1 LWG NW [39] enthalten. Und die Gebietsübergreifende Sicherstellung der Wasserversorgung wird in den § 53 LWG RP [40] und § 43 ThürWG [45] gefordert.

Explizierte Regelungen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit der Trinkwasserversorgung sind auch in den Brand- und Katastrophenschutzgesetzen zu finden. So wird z. B. die

Sicherstellung des Betriebes der eigenen kritischen Infrastruktur auch beim Ausfall anderer kritischer Infrastruktur im § 28 Abs. 1-2 KatSG [48] und § 13a LKatSG M-V [53] gefordert.

Die Anforderungen an die öffentliche Wasserversorgung gemäß IfSG [14] und der TrinkwV [12] werden durch den öffentlichen Gesundheitsdienst festgelegt. Die landesrechtlichen Regelungen sind in der **Tab. 2.3** aufgelistet.

In Niedersachsen [71] und Schleswig-Holstein [77] ist kein direkter Bezug zur Überwachung der Trinkwasserversorgungsanlagen in den Gesetzen des öffentlichen Gesundheitsdienstes enthalten. Das Land Thüringen regelt in einer Verordnung des öffentlichen Gesundheitsdienstes [78] die Überwachung der Trinkwasserversorgung, die Verordnung wurde zuletzt 1998 aktualisiert. Dabei ist es Aufgabe der Länder, die Anforderungen, die sich aus den bundesgesetzlichen Vorschriften ergeben, durch fortlaufende Novellierung der Länderregelungen sicherzustellen.

Tab. 2.3: Übersicht der Gesetze des öffentlichen Gesundheitsdienstes

Land	Gesetze	Regelung zur Sicherstellung WW
Baden-Württemberg	ÖGDG-BW [62]	§ 11 Überwachung von Wasser für den menschlichen Gebrauch
Bayern	GDVG [63]	Art. 16 Überwachung
Berlin	GDG-B [64]	§ 10 Umweltbezogener Gesundheitsschutz, § 12 Überwachung
Brandenburg	BbgGDG [65]	§ 3 Überwachung
Bremen	ÖGDG-Brem [66]	§ 20 Schutz vor schädigenden Umwelteinflüssen, § 25 Überwachung
Hamburg	HmbGDG [67]	§ 13 Einhaltung der Infektionshygiene
Hessen	HGöGD [68]	§ 9 Überwachung, § 15 Aufgaben des Hessischen Landesprüfungs- und Untersuchungsamtes im Gesundheitswesen
Mecklenburg-Vorpommern	ÖGDG-MV [69] IfSAG-MV [70]	§ 9 Hygienische und gesundheitsrechtliche Überwachung §§ 1-2 Umsetzung der Aufgaben nach Trinkwasserverordnung
Niedersachsen	NGöGD [71]	§ 9 wasserhygienische Untersuchungen, kein direkter Hinweis zur Überwachung der Trinkwasseranlagen enthalten
Nordrhein-Westfalen	ÖGDG-NRW [72]	§ 6 Aufgaben Gesundheitsbehörde, §17 Hygieneüberwachung
Rheinland-Pfalz	ÖGdG [73]	§ 7 Überwachung
Saarland	ÖGDG-SL [74]	§ 12 Überwachung
Sachsen	SächsGDG [75]	§ 8 Überwachung

Sachsen-Anhalt	GDG-LSA [76]	§ 6 Umweltbezogener Gesundheitsschutz inkl. Überwachung, § 31 Finanzierung
Schleswig-Holstein	GDG-SH [77]	§ 11 lit. 3. Kreise und kreisfreien Städte nehmen die Aufgaben nach der 1. Wasserversicherungsverordnung wahr, kein direkter Bezug zur Überwachung der Trinkwasseranlagen enthalten
Thüringen	GesDV-TH [78]	§ 1 Anforderungen an Trinkwasser sind zu beachten, § 6 Überwachung, Ein Gesetz zum öffentlichen Gesundheitsdienst ist in Thüringen nicht vorhanden, Anforderungen des IfSG [5] und der TrinkwV [6] sind nicht ausreichend umgesetzt

 Keine Regelung zur Überwachung der Trinkwasserversorgung

2.3 Verantwortlichkeiten und Stand der Notfallvorsorge

2.3.1 Überblick der Verantwortlichkeiten

Die Verantwortlichkeiten werden durch den Bund und die Länder geregelt. Dabei obliegen die grundsätzlichen Anforderungen der Wasserversorgung (stoff- oder anlagenbezogenen Regelungen), der Zivilschutz und die Trinkwasserqualität dem Bund. Die Länder regeln die Umsetzung der grundsätzlichen Anforderungen in der Wasserversorgung und den Katastrophenschutz.

Im sogenannten 3-Säulen-Modell des BBK werden die unterschiedlichen Zuständigkeiten zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Abhängigkeit der vorliegenden Lage (Normalbetrieb, Krisen-, Katastrophen- oder Verteidigungsfall) dargelegt [1].

2.3.2 Normalbetrieb

Der für die Pflichtaufgabe der öffentlichen Wasserversorgung Verantwortliche (Aufgabenträger) ist im Rahmen der Daseinsvorsorge für die leitungsgebundene Wasserversorgung zuständig. Grundsätzlich soll die leitungsgebundene Wasserversorgung so lange wie möglich aufrechterhalten werden. Nach DIN 2000 [18] sind durch den Wasserversorger folgende Aufgaben zur Sicherung der Trinkwasserversorgung zu realisieren:

- hohe Verfügbarkeit, möglichst störungsfreie, eigensichere Funktion der Anlagen,
- Versorgung mit Energie, Rohstoffen und Betriebsmitteln,
- nachhaltige Instandhaltung zur Substanz- und Werterhaltung der Infrastruktur,
- möglichst redundante Auslegung der Systeme.

Stellt der Betreiber der Wasserversorgungsanlagen eine Abweichung nach TrinkwV [12] fest, so muss er das zuständige Gesundheitsamt informieren. Das Gesundheitsamt entscheidet in

Abhängigkeit der Gefährdung über den weiteren Betrieb der Wasserversorgungsanlagen, ggf. unter Auflagen. Weiterhin kann das Gesundheitsamt eine zeitlich begrenzte Duldung von Grenzwertüberschreitungen nach §§ 9 und 10 TrinkwV [12] zulassen oder eine Umstellung auf eine alternative Versorgung anordnen. Die Unterbrechung der leitungsgebundenen Wasserversorgung sollte als äußerste Maßnahme des Gesundheitsamtes gesehen werden. Zur Vorbereitung auf derartige Störfälle sind durch den Wasserversorger Maßnahmepläne entsprechend § 16 TrinkwV [12] zu erarbeiten und fortzuschreiben. Bis zu diesem Punkt sind die Zuständigkeiten und die damit notwendigen Aufgaben der Wasserversorger eindeutig geregelt.

2.3.3 Ersatzwasserversorgung

Ist eine qualitative oder quantitative Beeinträchtigung der leitungsgebundenen Versorgung gegeben, kann eine zeitlich begrenzte Bereitstellung von Trinkwasser im Rahmen einer Ersatzwasserversorgung notwendig werden. Eine Ersatzwasserversorgung ist laut DIN 2001-3 [19] eine zeitlich begrenzte Bereitstellung von Trinkwasser bei Unterbrechung des Normalbetriebs. Die Trinkwasserqualität entspricht dabei der TrinkwV [12]. Hinweise zur Bemessung der Ersatzwasserversorgung sind in der Konzeption Zivile Verteidigung [79] enthalten, dort wird der Bedarf an Trinkwasser mit 50 Litern pro Person und Tag angegeben. Ganz unterschiedliche Szenarien können zum Eintritt der Ersatzwasserversorgung führen. Wie im Kap. 1 beschrieben, kam es in der Trockenperiode 2018 zu mehreren Beeinträchtigungen in der Wasserversorgung, z. B. wurde in Stade die Wasserversorgung rationiert und ein Verbot der Gartenbewässerung ausgesprochen [6], der Lippe-Verband rief zum sparsamen Wassergebrauch auf [7] und auch bei der Südoberlausitzer Wasserver- und Abwasserentsorgungsgesellschaft (SOWAG) wurde in einigen Versorgungsgebieten die Wasserversorgungskapazität ausgereizt [80]. In derartigen Extremsituationen können laut § 8 Abs. 2 WHG [11] zur Wahrung der öffentlichen Sicherheit aus den Rohwasserdargeboten auch mehr als die erlaubten Mengen entnommen werden [Korrektur zum Originalaufsatz: Abs. 1 geändert in Abs. 2 § 8 WHG]. Diese Notfallklausel gilt nur im Einzelfall und darf nicht als dauerhafte Lösung zur Abfederung der Folgen des Klimawandels angewendet werden. Neben der Kapazitätserhöhung sollten in Zeiten begrenzter Wasserverfügbarkeit auch gesetzliche Grundlagen zur Verbrauchsreduzierung, wie z. B. Untersagung der Wassernutzung für Garten und Pool oder Einschränkungen für Gewerbe und Industrie, genutzt werden. Dies wurde z. B. in Gefahrenabwehrverordnungen zur Sicherung der Trinkwasserversorgung in vereinzelten

hessischen kreisfreien Städten umgesetzt [81-83]. Weiterhin ist die wasserrechtliche Erlaubnis für diese Anwendungsbereiche ein zentrales Instrument.

Besonders kritisch sind flächenwirksame Gefahren wie ein länger andauernder Stromausfall (Blackout). Bei derartigen Ereignissen besteht eine hohe Vulnerabilität der Wasserversorgung. Gleichzeitig ist aufgrund der großen und vielfältigen Auswirkungen mit nur begrenzten Kapazitäten von Einsatz- und Hilfsorganisationen, wie Technisches Hilfswerk, Feuerwehr, Polizei, oder benachbarten Wasserversorgungsunternehmen zu rechnen. Grundsätzlich kann gerade bei Stromausfall eine leitungsgebundene Ersatzwasserversorgung am ehesten einen Großteil der Versorgung (und damit auch den Bedarf des Gesundheitswesens und die Abwasserentsorgung) abdecken. Konkretisierte Schutzziele finden sich für diese Szenarien z. B. im § 28 Abs. 1-2 KatSG [48] und §13a Abs. 2 LKatSG M-V [53]. In diesen Paragraphen wird gefordert, dass die eigenen Anlagen bei Ausfall oder Beeinträchtigung auch anderer Kritischer Infrastrukturen für einen angemessenen Zeitraum eigenständig weiterbetrieben werden. Auf dieser gesetzlichen Grundlage kann der Wasserversorger z. B. den Betrieb eines Wasserwerkes durch Notstromversorgung oder durch Errichtung von Verbundleitungen absichern.

Gleiches gilt für den Ausfall von Einzelanlagen, unabhängig von der Ursache des Ausfalls. Jedoch kann bei nur lokal wirkenden Ereignissen, wie z. B. einem Ausfall einzelner Wasserwerke, auch mit einer Unterstützung durch andere Wasserversorgungsunternehmen und Hilfsorganisationen, wie z. B. das THW, gerechnet werden.

Konkrete Schutzziele sind auch für den Hochwasserfall definiert, die Anforderung entspricht üblicherweise dem Schutz gegenüber einem 100-jährigen Hochwasser. Darüber hinaus werden z. B. im § 54a Abs. 3 HWaG [35] und im § 84 Abs. 3 Pkt. 1 LWG NW [39] besondere Pflichten für die Hochwasservorsorge der Trinkwasserversorgung benannt. Für den Hochwasserfall gibt es eine statistische Bewertung und Definition der Beeinträchtigung der Wasserversorgung und gleichzeitig eine Grundlage zur Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen.

2.3.4 Notwasserversorgung

Die Notwasserversorgung ist laut DIN 2001-3 [19] eine zeitlich begrenzte Bereitstellung von Wasser zur Deckung des lebensnotwendigen Bedarfs. Der Normalbetrieb ist dabei unterbrochen und eine Ersatzwasserversorgung nicht möglich. Der tägliche Notwasserbedarf wird mit 15 Litern pro Person angegeben [79].

Endet die leitungsgebundene Wasserversorgung und ordnet das Gesundheitsamt eine Notwasserversorgung an, dann liegt die Verantwortung für die Bereitstellung der

Notwasserversorgung bei der Kommune. Die Kommune muss im Rahmen der Daseinsvorsorge prüfen welche Versorgungsarten in Frage kommen (§ 5 AVBWasserV [15]). Die benötigten Ressourcen können im Idealfall durch den Wasserversorger bereitgestellt werden. Sind die Ressourcen des Wasserversorgers nicht ausreichend, dann sind die Verfügbarkeit und der Zugriff auf Alternativen zu prüfen [29]. Geeignete Maßnahmen, wie z. B. Wassertransportfahrzeuge, Notbrunnen und mobile Aufbereitungsanlagen, werden durch Broß et al. [29] beschrieben.

Ist die Sicherstellung der Notwasserversorgung nicht möglich, so kann der Katastrophenschutz der Landkreise oder kreisfreien Städte Unterstützung leisten. Zur Unterstützung können im Krisen- oder Katastrophenfall die Anlagen der Wassersicherstellung, wie z. B. Notbrunnen oder Verbundleitungen, genutzt werden. Voraussetzung für die Nutzung der Anlagen zur Wassersicherstellung ist die Zustimmung der zuständigen Behörde [4]. Die Maßnahmen zur Wassersicherstellung wurden überwiegend in Prioritätsgebieten ausgeführt und sind nicht flächendeckend vorhanden. Somit kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Notwasserversorgung über die Anlagen zur Wassersicherstellung abgedeckt ist.

Inwieweit die Kommunen infrastrukturell, personell und logistisch auf diese Verantwortlichkeit vorbereitet sind, bleibt offen.

Unabhängig von der öffentlichen Vorsorge sollten auch Privathaushalte eine Notfallreserve einrichten. Dazu empfiehlt die Konzeption Zivile Verteidigung [79] für jede Person 2 l/d Trinkwasser für mindestens 5 Tage als Eigenvorsorge vorzuhalten

2.3.5 Einblick zum Stand der Notfallvorsorge

Den aktuellen Stand zur Notfallvorsorge in der Wasserversorgung in Deutschland beschreiben Broß et al. [84]. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Teilprozesse der Notfallvorsorgeplanung bei den Wasserversorgern und Kommunen unzureichend durchgeführt werden. Die größten Defizite wurden in der Durchführung von Risikoanalysen ermittelt. In den Bereichen der Vorplanung und in der Umsetzung von vorbeugenden Maßnahmen wurden höhere Umsetzungsquote angegeben.

Gemäß Risikomanagement nach DIN EN 15975-2 [21] und dem Leitfaden zur Sicherheit der Wasserversorgung Teil 1 [1] sollten vor der Umsetzung von Notfallvorsorgemaßnahmen Risikoanalysen durchgeführt werden. Der aktuelle Stand der Notfallvorsorge [84] widerspricht, mit der höheren Umsetzungsquote bei den vorbeugenden Maßnahmen, der logischen Reihenfolge des Risikomanagements. Erfahrungen aus der Umsetzung von Risikoanalysen in Leipzig [85] und Dresden [86] belegen, wie wichtig dieser Arbeitsschritt für die Planung von

Notfallmaßnahmen ist. Erst mit den Risikoanalysen konnten die Systemwirkungen relevanter Szenarien, die verbleibenden Ressourcen und effiziente Maßnahmen der Risikovorsorge ermittelt werden.

Auch die Bevölkerung ist auf längere Ausfälle der kritischen Infrastruktur nicht ausreichend vorbereitet, die durchschnittliche private Vorsorge entspricht nicht den Mindestempfehlungen des BBK [79,87].

2.4 Diskussion und Ausblick

Im Normalbetrieb bilden die Wassergesetze des Bundes und der Länder eine fundierte und gute Rechtsgrundlage für die Trinkwasserversorgung. Demgegenüber sind die Verantwortlichkeiten, Schutzziele und Maßnahmen bei Beeinträchtigung oder Unterbrechung der Wasserversorgung zum Teil unzureichend geregelt und variieren zwischen den einzelnen Landesgesetzen.

Ausschließlich das WasSiG [3] enthält auf Bundesebene Vorgaben für Notfallvorsorgemaßnahmen, dabei wird sich jedoch auf den Verteidigungsfall beschränkt. Eine Erweiterung des Wassersicherstellungsrechts für andere Not- und Krisenfälle könnte einen Beitrag zur Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung leisten. Dies wird auch durch Reinhardt [4] gefordert.

In den Landeswasser- und Brand- und Katastrophenschutzgesetzen sind in 10 Bundesländern konkrete Regelungen enthalten, die einen direkten Bezug zur Sicherung der Wasserversorgung aufweisen. Dabei sind in den Landeswassergesetzen Regelungen zur Verantwortung in Not- und Krisenfällen [42], gebietsübergreifende Betrachtungen [33,40,45], eine Berücksichtigung des Klimawandels [39,42] und weitergehende Anforderungen an den Hochwasserschutz [35,39] enthalten. Die Brand- und Katastrophenschutzgesetze enthalten Mitwirkungspflichten [48,55] und das Schutzziel: die eigene kritische Infrastruktur beim Ausfall anderer kritischer Infrastruktur weiter zu betreiben [48,53]. Die Gegenüberstellung der Landeswasser- und Brand- und Katastrophenschutzgesetze (**Tab. 2.2**) zeigt die Inhalte zur Sicherung der Wasserversorgung und Regelungslücken. Die vorhandenen Möglichkeiten zur Kapazitätserhöhung (§ 8 Abs. 2 WHG [11], [Korrektur zum Originalaufsatz: Abs. 1 geändert in Abs. 2 § 8 WHG]) sowie die Möglichkeiten zur Begrenzung des Wasserbedarfs (wasserrechtlicher Vollzug) können einen Beitrag zur Resilienz der Wasserversorgung leisten. So könnten beispielsweise in Trockenperioden die Gartenbewässerung, die Befüllung von Pools oder auch gewerbliche Wassernutzungen untersagt und damit eine Ersatzwasserversorgung abgesichert werden. Gute Beispiele zur Umsetzung dieser Forderung finden sich in vereinzelt Gefahrenabwehrverordnungen hessischer Städte [81-83].

Der hohe Nutzen der leitungsgebundenen Ersatzwasserversorgung wird durch die Umsetzung von Risikoanalysen verdeutlicht. Gleichzeitig kann durch eine leitungsgebundene Versorgung die Abwasserentsorgung und das Gesundheitswesen aufrechterhalten werden. Die technischen Möglichkeiten werden durch Risikoanalysen aufgezeigt. Auf der Grundlage von Risikoanalysen lassen sich effiziente Maßnahmen zur Härtung der öffentlichen Wasserversorgung planen und umsetzen [85,86]. Das Ergebnis der Umfrage durch Broß et al. [84] zeigt, dass in der Umsetzung von organisationsinternen Risikoanalysen der größte Handlungsbedarf besteht. Aufgrund des hohen Nutzens der Risikoanalysen, sollte auch eine verpflichtende Umsetzung der Trinkwasserversorger diskutiert werden.

Die Herausforderungen zur Absicherung der Notwasserversorgung sind komplex. Inwieweit die Kommunen hinsichtlich Infrastruktur, Personal und Logistik auf diese Verantwortlichkeit vorbereitet sind, bleibt offen.

Mit Verweis auf die Novelle der TrinkwV darf erwartet werden, dass der risikobasierte Ansatz in die nationale Gesetzgebung stärkeren Eingang findet.

2.5 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe(BBK). Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1: Risikoanalyse. Jan. 2016. Hrsg. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn.
- [2] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). BBK-Glossar, https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/glossar_node.html (aufgerufen am 03.10.2022).
- [3] Wassersicherstellungsgesetz vom 24. August 1965 (BGBl. I S. 1225, 1817), das zuletzt durch Artikel 251 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- [4] Reinhardt, M. Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung im Notfall. Zeitschrift für Rechtspolitik (ZRP), 53. Jahrgang 2020, S. 119–123.
- [5] Kahle, M.; Kempf, M.; Martin, B.; und Glaser, R. Classifying the 2021 'Ahrtal' flood event using hermeneutic interpretation, natural language processing, and instrumental data analyses. *Environmental Research Communications* 4(5). doi:10.1088/2515-7620/ac6657.
- [6] Welt. In Norddeutschland herrscht die größte Dürre seit 15 Jahren, veröffentlicht 08.06.2018, , <https://www.welt.de/wirtschaft/article177217410/Wasserversorgung-In-Deutschland-herrscht-die-groesste-Duerre-seit-15-Jahren.html> (aufgerufen am 13.06.2022).
- [7] Lippe-News. Hitze und Trockenheit – Kreis Lippe ruft zu sorgsamem Umgang mit Trinkwasser auf, veröffentlicht 02.08.2018, <https://www.lippe-news.de/2018/08/02/hitze-und-trockenheit-kreis-lippe-ruft-zu-sorgsamem-umgang-mit-trinkwasser-auf/> (aufgerufen am 13.06.2022).
- [8] Pörtner, H.-O.; Roberts, D.C.; Poloczanska, E.S.; Mintenbeck, K.; Tignor, M.; Alegria, A.; Craig, M.; Langsdorf, S.; Löschke, S.; Möller, V.; Okem, A. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; März 2022; ISBN 9789291691593.
- [9] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Nationale Wasserstrategie Entwurf des Bundesumweltministeriums; Stand Juni 2021, Hrsg. BMU Arbeitsgruppe WR I 1-w, Bonn.
- [10] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Einschätzung der aktuellen Cyber-Sicherheitslage in Deutschland nach dem russischen Angriff auf die Ukraine. 04.03.2022, Hrsg. BSI, Bonn.
- [11] Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) geändert worden ist.
- [12] Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

- [13] Richtlinie (EU) 2020/2184 des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- [14] Infektionsschutzgesetz vom 20. Juli 2000 (BGBl. I S. 1045), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3274) geändert worden ist.
- [15] Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser vom 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 750,1067), die zuletzt durch Artikel 8 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010) geändert worden ist.
- [16] Erste Wassersicherstellungsverordnung vom 31. März 1970 (BGBl. I S. 357).
- [17] Zweite Wassersicherstellungsverordnung vom 11. September 1973 (BGBl. I S. 1313), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. April 1978 (BGBl. I S. 583) geändert worden ist.
- [18] DIN 2000. Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen. Ausg. 02/2017, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [19] DIN 2001-3. Trinkwasserversorgung aus Kleinanlagen und nicht ortsfesten Anlagen Teil 3: Nicht ortsfeste Anlagen zur Ersatz- und Notwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an das abgegebene Wasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Anlagen. Ausg. 12/2015, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [20] DIN EN 15975-1. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement. Deutsche Fassung, Stand 03/2016, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [21] DIN EN 15975-2. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement. Deutsche Fassung, Stand 12/2013, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [22] DVGW Merkblatt W 1001. Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risiko- und Krisenmanagement. Stand 11/2020, WVGW-Verlag, Bonn.
- [23] DVGW Arbeitsblatt W 1003. Resilienz und Versorgungssicherheit in der öffentlichen Wasserversorgung. Stand 06/2022, WVGW-Verlag, Bonn.
- [24] DVGW Arbeitsblatt W 1020. Empfehlungen und Hinweise für den Fall von Abweichungen von Anforderungen der Trinkwasserverordnung; Maßnahmeplan und Handlungsplan. Stand 03/2018, WVGW-Verlag, Bonn.
- [25] DVGW Arbeitsblatt W 1000. Anforderungen an die Qualifikation und die Organisation von Trinkwasserversorgern. Stand 08/2022, WVGW-Verlag, Bonn.
- [26] DVGW Merkblatt W 1050. Objektschutz von Wasserversorgungsanlagen. Stand 11/2019, WVGW-Verlag, Bonn.
- [27] DVGW Merkblatt W 1060. IT-Sicherheit - Branchenstandard Wasser/Abwasser. Stand 04/2022, WVGW-Verlag, Bonn.

- [28] Feuerwehr-Dienstvorschrift 100 (FwDV 100). Führung und Leitung im Einsatz - Führungssystem. Stand 1999, Würzburg: Hrsg. Staatliche Feuerweherschule Würzburg.
- [29] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung. BBK Fachinformation Praxis im Bevölkerungsschutz. Ausg. 06/2019, Hrsg. BBK, Band 15, im Auftrag des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn.
- [30] Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG BW) vom 3. Dezember 2013 (GBl. S. 389) letzte berücksichtigte Änderung: § 82 geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 17. Dezember 2020 (GBl. S. 1233, 1248).
- [31] Bayerisches Wassergesetz (BayWG) vom 25. Februar 2010 (GVBl. S. 66, 130, BayRS753-1-U), das zuletzt durch § 5 Abs. 18 des Gesetzes vom 23. Dezember 2019 (GVBl. S. 737) geändert worden ist.
- [32] Berliner Wassergesetz (BWG) in der Fassung vom 17. Juni 2005, letzte berücksichtigte Änderung: Inhaltsverzeichnis und mehrfach geändert, § 16h neu gefasst, Anlage 3 aufgehoben durch Artikel 2 des Gesetzes vom 25.09.2019 (GVBl. S. 612).
- [33] Brandenburgisches Wassergesetz (BbgWG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. März 2012 (GVBl.I/12, [Nr. 20]), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2017 (GVBl.I/17, [Nr. 28]).
- [34] Bremisches Wassergesetz (BremWG) vom 12. April 2011 (Brem.GBl. 2011, S. 262), zuletzt geändert durch Artikel 6 Nummer 5 des Gesetzes vom 24. November 2020 (Brem.GBl. S. 1486, 1581).
- [35] Hamburgisches Wassergesetz (HwG) in der Fassung vom 29. März 2005, zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 4. Dezember 2012 (HmbGVBl. S. 510, 519).
- [36] Hessisches Wassergesetz vom 14. Dezember 2010 (GVBl. I 2010, 548), letzte berücksichtigte Änderung: zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 4. September 2020 (GVBl. S. 573).
- [37] Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LWVG) vom 30. November 1992 (GVObI. M-V 1992, 669), zuletzt geändert durch Gesetz vom 8. Juni 2021 (GVObI.M-V S. 866).
- [38] Niedersächsisches Wassergesetz (NWVG) vom 19. Februar 2010 (Nds. GVBl. 2010, 64), letzte berücksichtigte Änderung: Anlage 2 neu gefasst durch Artikel 10 des Gesetzes vom 10.12.2020 (Nds. GVBl. S. 477).
- [39] Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LWG NW) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 1995, zuletzt geändert: § 35 Absatz 2 aufgehoben und Abs. 3 bis 5 umbenannt in Abs. 2 bis 4 durch Art. 1 des Ges. vom 4. Mai 2021 (GV. NRW. S.560, ber. S. 718).
- [40] Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz (LWG RP) vom 14. Juli 2015 (GVBl. 2015, 127), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 26.06.2020 (GVBl. S. 287).

- [41] Saarländisches Wassergesetz (SWG) vom 28. Juni 1960 in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juli 2004 (Amtsbl. 2004, 1994 Gl. 753-1), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 13. Februar 2019 (Amtsbl. I S. 324).
- [42] Sächsisches Wassergesetz vom 12. Juli 2013 (SächsGVBl. S. 503), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (SächsGVBl. S. 287) geändert worden ist.
- [43] Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) vom 16. März 2011 (GVBl. LSA 2011, 492 Gl 753.31) zuletzt geändert durch Artikel 21 des Gesetzes vom 7. Juli 2020 (GVBl. LSA S. 372, 374).
- [44] Landeswassergesetz Schleswig-Holstein (LWG SH) vom 13. November 2019 (GVOBl. 2019, 425 Gl 753-8) letzte berücksichtigte Änderung: § 18 geändert (Art. 2 Ges. v. 22.06.2020, GVOBl. S. 352).
- [45] Thüringer Wassergesetz vom 28. Mai 2019 (GVBl. 2019, 74), letzte berücksichtigte Änderung: geändert durch Artikel 17 des Gesetzes vom 11. Juni 2020 (GVBl. S. 277, 285).
- [46] Gesetz über den Katastrophenschutz Baden-Württemberg (LKatSG BW) in der Fassung vom 22. November 1999 (GBl. 1999, 625 Gl 2150), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Dezember 2020 (GBl. S. 1268).
- [47] Bayerisches Katastrophenschutzgesetz (BayKSG) vom 24. Juli 1996 (GVBl. S. 282, BayRS 215-4-1-I), das zuletzt durch § 1 Abs. 166 der Verordnung vom 26. März 2019 (GVBl. S. 98) geändert worden ist.
- [48] Gesetz über den Katastrophenschutz im Land Berlin (KatSG B) vom 7. Juni 2021 (GVBl. 2021, 610, Gl 2192-2).
- [49] Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz des Landes Brandenburg (BbgBKG) vom 24. Mai 2004 (GVBl.I/04, [Nr. 09], S.197), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 19. Juni 2019 (GVBl.I/19, [Nr. 43], S.25).
- [50] Bremisches Hilfeleistungsgesetz (BremHilfeG) vom 21.06.2016 (Brem.GBl. 2016, 348, Gl 2132-a-1), zuletzt geändert durch Gesetz vom 13. Juli 2021 (Brem.GBl. S. 574).
- [51] Hamburgisches Katastrophenschutzgesetz (HmbKatSG) vom 16. Januar 1978, zuletzt geändert durch Gesetz vom 24. Januar 2020 (HmbGVBl. S. 90).
- [52] Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz (HBKG) in der Fassung vom 14. Januar 2014 (GVBl. 2014, 26, Gl 312-12), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. August 2018 (GVBl. S. 374).
- [53] Gesetz über den Katastrophenschutz in Mecklenburg-Vorpommern (LKatSG M-V) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 2016 (GVOBl. M-V 2016, 611, 793, Gl 215-3), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 27. April 2020 (GVOBl. M-V S. 334, 394).
- [54] Niedersächsisches Katastrophenschutzgesetz (NKatSG) in der Fassung vom 14. Februar 2002 (Nds. GVBl. 2002, 73, Gl 2110001), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 15.07.2020 (Nds. GVBl. S. 244).

- [55] Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz Nordrhein-Westfalen (BHKG) vom 17. Dezember 2015 (GV. NRW. S. 886).
- [56] Landesgesetz über den Brandschutz, die allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz Rheinland-Pfalz (LBKG) vom 2. November 1981 (GVBl. 1981, 247, GI 213-50), zuletzt geändert durch Gesetz vom 21.12.2020 (GVBl. S. 747).
- [57] Gesetz über den Brandschutz, die Technische Hilfe und den Katastrophenschutz im Saarland (SBKG) vom 29. November 2006, zuletzt geändert durch Artikel 1 Nr. 1 des Gesetzes vom 11. November 2020 (Amtsbl. I S. 1262).
- [58] Sächsisches Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz (SächsBR) vom 24. Juni 2004 (SächsGVBl. S. 245, 647), das zuletzt durch das Gesetz vom 25. Juni 2019 (SächsGVBl. S. 521) geändert worden ist.
- [59] Katastrophenschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt (KatSG-LSA) in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. August 2002 (GVBl. LSA 2002, 339, GI 2152.1), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 29. November 2018 (GVBl. LSA S. 406, 408).
- [60] Gesetz über den Katastrophenschutz in Schleswig-Holstein (LKatSG SH) in der Fassung vom 10. Dezember 2000 (GVOBl. 2000, 664, GI. 215-2), letzte berücksichtigte Änderung: §§ 21 und 23 geändert (Art. 5 Ges. v. 27.05.2021, GVOBl. S. 567).
- [61] Thüringer Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz (ThürBKG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Februar 2008 (GVBl. 2008, 22, GI 2131-1), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. November 2020 (GVBl. S. 559).
- [62] Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst Baden-Württemberg (ÖGDG) vom 17.12.2015. (GBl. 2015, 1210), letzte berücksichtigte Änderung vom 22. Dezember 2021 (GBl. S. 1035).
- [63] Gesundheitsdienst- und Verbraucherschutzgesetz Bayern (GDVG) vom 24. Juli 2003 (GVBl.S. 452, 752, BayRS 2120-1-U/G), das zuletzt durch § 1 des Gesetzes vom 24. Juli 2020 (GVBl. S. 370) geändert worden ist.
- [64] Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst Berlin (GDG-B) vom 25.02.2006 (GVBl. 2006, 450), letzte berücksichtigte Änderung vom 12.10.2020 (GVBl. S. 807).
- [65] Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst im Land Brandenburg (BbgGDG) vom 23. April 2008 (GVBl.I/08, [Nr. 05], S.95), zuletzt geändert durch Artikel 13 des Gesetzes vom 25. Januar 2016 (GVBl.I/16, [Nr. 5]).
- [66] Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst im Lande Bremen (ÖGDG-Brem) vom 27. März 1995 (Brem.GBl. 1995, S. 175, 366), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 13. Juli 2021 (Brem.GBl. S. 577).
- [67] Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst in Hamburg (HmbGDG) vom 18.07.2001 (HmbGVBl. 2001, 201), letzte berücksichtigte Änderung vom 17. April 2018 (HmbGVBl. S. 103, 106).

- [68] Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz (HBKG) in der Fassung vom 14. Januar 2014 (GVBl. 2014, 26, GI 312-12), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. August 2018 (GVBl. S. 374).
- [69] Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst im Land Mecklenburg-Vorpommern (ÖGDG M-V) vom 19.07.1994 (GVOBl. M-V 1994, 747), letzte berücksichtigte Änderung vom 26. Juni 2021 (GVOBl. M-V S. 1036, 1038).
- [70] Gesetz zur Ausführung des Infektionsschutzgesetzes im Land Mecklenburg-Vorpommern (IfsAG M-V) vom 03.07.2006, letzte berücksichtigte Änderung vom 26.06.2021 (GVOBl. M-V S. 1036, ber S. 1071).
- [71] Niedersächsisches Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst (NGöGD) vom 24.03.2006 (Nds. GVBl. 2006, 178) letzte berücksichtigte Änderung vom 16.03.2021 (Nds. GVBl. S. 133).
- [72] Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst des Landes Nordrhein-Westfalen (ÖGDG NRW) vom 25. November 1997 (GV. NW. 1997 S. 430), letzte berücksichtigte Änderung vom 19. Dezember 2019 (GV. NRW. S. 1032).
- [73] Landesgesetz Rheinland-Pfalz über den öffentlichen Gesundheitsdienst (ÖGDg) vom 17.11.1995 (GVBl. 1995, 485), letzte berücksichtigte Änderung vom 12.02.2019 (GVBl. S. 5).
- [74] Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst Saarland (ÖGDG-SL) vom 19.05.1999 (Amtsblatt 1999, 844), letzte berücksichtigte Änderung vom 22.08.2018 (Amtsbl. I S. 674).
- [75] Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst im Freistaat Sachsen (SächsGDG) vom 11. Dezember 1991 (SächsGVBl. S. 413), das zuletzt durch Artikel 14 des Gesetzes vom 26. April 2018 (SächsGVBl. S. 198) geändert worden ist.
- [76] Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst und die Berufsausübung im Gesundheitswesen im Land Sachsen-Anhalt (GDG-LSA) vom 21.11.1997 (GVBl. LSA 1997, 1023), letzte berücksichtigte Änderung vom 08.03.2021 (GVBl. LSA S. 94, 95).
- [77] Gesetz über den Öffentlichen Gesundheitsdienst Schleswig-Holstein (GDG-SH) vom 14.12.2001 (GVOBl. 2001 398), letzte berücksichtigte Änderung vom 02.05.2018 (GVOBl. S. 162).
- [78] Verordnung über den öffentlichen Gesundheitsdienst und die Aufgaben der Gesundheitsämter in den Landkreisen und kreisfreien Städten Thüringen (Ges DV-TH) vom 08.08.1990 (GBI. I Nr. 53 S. 1068) in der Fassung vom 02.10.1998.
- [79] Konzeption Zivile Verteidigung (KZV). Aug. 2016. Hrsg. Bundesministerium des Innern, Berlin.
- [80] Süd-Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH (SOWAG). Störfalldokumentation der Trinkwasserversorgung durch die SOWAG der Jahre 2009-2018. Hrsg. SOWAG mbH, Zittau.
- [81] Stadt Steinbach. Gefahrenabwehrverordnung für die Einschränkung des Trinkwasserverbrauchs bei Notständen in der Wasserversorgung der Stadt Steinbach (Taunus) (GefahrenabwehrVO bei Wassernotstand) vom 09.12.2019. Hrsg. Stadt Steinbach.

- [82] Stadt Taunusstein. Gefahrenabwehrverordnung der Stadt Taunusstein über die Einschränkungen des Verbrauchs von Trink- und Brauchwasser bei Notständen der Wasserversorgung vom 27.08.2020. Hrsg. Stadt Taunusstein.
- [83] Stadt Wiesbaden. Gefahrenabwehrverordnung für die Landeshauptstadt Wiesbaden über die Einschränkung des Verbrauchs an Trinkwasser während Notständen in der Wasserversorgung vom 03.06.1991. Hrsg. Stadt Wiesbaden.
- [84] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Stand der Notfallvorsorgeplanung in der Wasserversorgung in Deutschland. *gwf-Wasser/Abwasser* 09/2020, S. 40–51.
- [85] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig. Sonderdruck *gwf-Wasser/Abwasser* 01/2020, S. 1–5.
- [86] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig. *BBK Bevölkerungsschutz* 3/2018, S. 12–17.
- [87] Fekete, A.; Neisser, F.; Tzavella, K.; Hetkämper, C. Wege zu einem Mindestversorgungskonzept. *Kritische Infrastrukturen und Resilienz*, 05/2019, Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Köln, ISBN 978-3946573142.

3 Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse

Water supply safety - Prioritization of hazards to drinking water supply

Felix Heumer, Thomas Grischek, Jens Tränckner

gwf-Wasser/Abwasser 03-2023, S. 63–75. doi:10.17560/gwfwa.v164i3.2642

Eingereicht am: 14.10.2022

Begutachtet im Peer-Review-Verfahren: 30.11.2022

Keywords: Risikomanagement, Risikoanalyse, Gefahrenanalyse, Notfallvorsorge

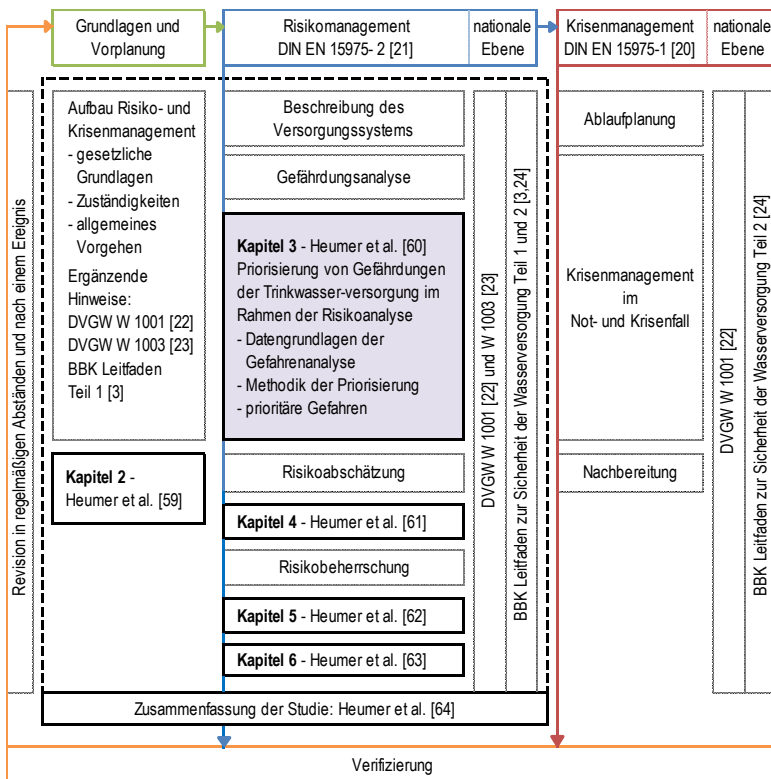


Abb. 3.1: Einordnung des Kapitels 3 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN EN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)

Zusammenfassung

Wasserversorgungsunternehmen sind in ihrem Betrieb und der Erfüllung ihrer Aufgaben einer Reihe potenzieller Gefährdungen ausgesetzt. So resultierten aus SARS-CoV-2-Infektionen personelle Engpässe, die Wahrscheinlichkeit von Cyberangriffen und hydrologischen Extremereignissen ist deutlich gestiegen und in vielen Gebieten ist zukünftig mit mehrperiodischen Dürren infolge des Klimawandels zu rechnen. Im vorliegenden Beitrag wird ein Werkzeug zur semi-quantitativen Priorisierung von Gefährdungen als elementarer Arbeitsschritt einer Risikoanalyse vorgestellt und am Fallbeispiel erprobt. Im Ergebnis werden prioritäre Gefährdungen ermittelt und Szenarien für weitere Arbeitsschritte abgeleitet. Außerdem wird eine Liste zum Mindestumfang der Gefahrenanalyse für öffentliche Wasserversorger vorgeschlagen.

Abstract

Water utilities face numerous potential threats in their operation and in fulfilling their tasks. Staff shortages were caused by SARS-CoV-2 infections, probabilities of cyberattacks and extreme hydrologic events have increased significantly, and many areas are expected to experience multi-period droughts in the future as a result of climate change. In this paper, a tool for semi-quantitative prioritization of hazards as a fundamental work step of a risk analysis is presented and tested on a case study. As a result, priority hazards are identified and scenarios for further work steps are derived. Furthermore, a list of the minimum level of hazard analysis activities for public water utilities is proposed.

3.1 Einleitung

Die vergangenen Extremereignisse haben gezeigt, dass die Wasserversorgung durch eine Reihe von Gefahren beeinträchtigt sein kann. Die Corona-Pandemie stellte die Wasserversorgungsunternehmen (WVU) insbesondere vor personelle Herausforderungen, wobei die Versorgung mit Trinkwasser sichergestellt werden konnte [1-3]. Eine Verbreitung des Coronavirus SARS-CoV-2 über das Trinkwasser wurde als unwahrscheinlich eingestuft [4,5]. Im Kontext der betrieblichen Pandemieplanung waren eine Reihe von nationalen [6-8] und internationalen [9-11] Regelungen zur Bewältigung umzusetzen.

Im Ahrtal wurden 2021 ganze Infrastrukturbereiche durch die Flutkatastrophe zerstört [12]. Mit einer Zunahme derartiger Extremwetterlagen ist infolge des Klimawandels zu rechnen [13].

Eine neue Bedrohungslage ergibt sich durch militärische Konflikte. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) u. a. [14-15] rechnen mit vermehrten Cyberangriffen, in deren Folge es auch zum Ausfall von Kritischer Infrastrukturen kommen kann. Weiterhin können Lieferketten beeinträchtigt werden und somit zu Lieferengpässen z. B. für Maschinen, Betriebs- und Hilfsstoffen oder der Erdgasversorgung führen.

Zur Bewältigung von Krisen und Katastrophen benötigt die Wasserversorgung ein Risiko- und Krisenmanagement. Als methodischer Ansatz wurde der Water Safety Plan der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [16] mit den Normen DIN EN 15975-1 [17] und DIN EN 15975-2 [18] ins europäische Regelwerk überführt. Ergänzend zu den Normen werden vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) zwei Fachinformationen zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung empfehlend bereitgestellt [19,20].

Den Stand der Notfallvorsorgeplanung in der Wasserversorgung in Deutschland beschreiben Broß et al. [21]. Sie machen deutlich, dass die größten Defizite in der Umsetzung des Risikomanagements im Bereich der Risikoanalyse liegen.

Die Gefahrenanalyse ist neben der Systembeschreibung der erste Arbeitsschritt einer Risikoanalyse [18,19]. Mit der Gefahrenanalyse sollen relevante Gefahren herausgearbeitet und der Umfang nachfolgender Arbeitsschritte reduziert werden. Die Gefahrenanalyse sollte grundsätzlich eine Priorisierung und Ableitung von Maßnahmen ermöglichen. Die Eignung der vorhandenen Instrumente [18,19] ist zu analysieren. Es ist zu prüfen, ob eine quantitative Bewertung der Gefahren zu einer verbesserten Priorisierung der Gefahren beitragen kann. Die Begriffsdefinitionen des nachfolgenden Berichts richten sich nach dem Glossar des BBK [22].

3.2 Stand des Wissens und Zielstellung

3.2.1 Potenzielle Gefahren

Das Gesamtspektrum der Gefahren beschreibt das Bundesministerium des Inneren (BMI) [23] mit dem All-Gefahren-Ansatz. Dieser Ansatz ist für alle Kritischen Infrastrukturen maßgebend und bildet eine grundsätzliche Zusammenstellung möglicher Gefährdungen. Resultierende Schäden sind z. B. Verknappung der Wasserressourcen, Qualitätsbeeinträchtigungen, Ausfall von einzelnen Komponenten oder des gesamten Versorgungssystems. In der Folge kann es zu einer Einschränkung oder Unterbrechung der Wasserversorgung kommen. Grundsätzlich lassen sich die Gefahren nach [23] in drei Hauptgruppen einteilen: (1) Naturgefahren; (2) technische Störungen und menschliches Versagen und (3) Anschläge, Sabotage und kriegsähnliche Handlungen. Bisher nicht betrachtet werden betriebswirtschaftliche Gefährdungen [23]. Im Dokument „Road map to a secure and resilient water sector“ [24] werden gegenüber [23], ökonomische Risiken für den Wasserversorger durch Versorgungsunterbrechungen beschrieben, wie z. B. Strafzahlungen an Industriebetriebe.

Die Wirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten von (1) **Naturgefahren** lassen sich auf der Grundlage historischer Ereignisse und bekannter naturwissenschaftlicher Datengrundlagen beurteilen und prognostizieren. Die größte aktuelle Herausforderung ergibt sich aus den Projektionen des Klimawandels. Der erwartete Temperaturanstieg führt zu steigenden Verdunstungsraten und geändertem Niederschlagsverhalten. Es muss mit einer Zunahme von Extremwittersituationen gerechnet werden. Neben Trockenperioden ist auch mit häufigeren Hochwässern und Starkniederschlägen [13,25-27] zu rechnen. Die Auswirkungen von hydrologischen Extremereignissen auf die Wasserwirtschaft lassen sich jetzt schon mit vielen Beispielen belegen. So kam es 2002 zur Überflutung der Wasserwerke in Dresden [28], 2010 wurden Teile des Wasserwerkes Görlitz überflutet [29] und 2021 wurden im Ahrtal ganze Infrastrukturbereiche durch Hochwasser zerstört [12]. 2018 wurden mehrere Wasserversorger durch eine langanhaltende Trockenperiode in Deutschland beeinträchtigt [30-32] und 2022 gab es in Norditalien die schlimmste Trockenperiode seit 70 Jahren [33]. Des Weiteren können auch lokale Ereignisse, wie z. B. starke Gewitter oder Stürme, zum Ausfall von Wasserversorgungsanlagen führen. Diese Ereignisse betreffen meist nur vereinzelte Anlagen oder Anlagenteile. Auch Pandemien und Epidemien zählen zu den natürlichen Gefahrenquellen [19]. So führte die aktuelle Corona-Pandemie zu personellen Engpässen beim Betrieb der Trinkwasserversorgungsanlagen [1-3].

Bei (2) **technischen Störungen** fokussieren die Betreiber der wasserwirtschaftlichen Anlagen zuerst den Ausfall ihrer betriebseigenen Anlagenteile wie Brunnen, Wasserwerke, Pumpstationen, Wasserspeicher oder das Verteilungsnetz. Meist betreffen derartige Störungen aber nur einzelne Anlagenkomponenten. Komplizierter wird es, wenn die Störung nicht direkt durch die betriebseigenen Anlagen ausgelöst wird. So ist die Wasserversorgung z. B. von der Stromversorgung abhängig, die für den Betrieb der Anlagen benötigt wird. Laut BBK [34] zählt die Stromversorgung in Deutschland zu den sichersten in Europa. Dennoch gibt es auch in Deutschland Beispiele mit flächendeckenden Stromausfällen. So waren im Winter 1978/79 ganze Regionen in Deutschland von der Stromversorgung abgeschnitten [34], beim Wintereinbruch 2005 waren tagelange Stromausfälle im Münsterland zu verzeichnen [34] und 2019 waren zwei Tage ca. 30.000 Einwohner in Berlin ohne Stromversorgung [35].

Das BBK [19] beschreibt weitere Ereignisse, die zu massiven Beeinträchtigungen der Wasserversorgung führen können: Betriebs- und Transportunfälle mit wassergefährdenden Stoffen, Industrieunfälle, Großbrände, Nuklearunfälle und Staumauerschäden. Insbesondere für Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen lassen sich Beispiele mit Beeinträchtigung der Wasserqualität finden. So kam es 2013 in Bornheim zu einer Überdosierung von Natronlauge mit einer Verletzung von Trinkwasserverbrauchern [36] und in Düsseldorf zu einer Kontamination des Trinkwassers durch ein Kanalreinigungsfahrzeug [37]. Allgemein lässt sich feststellen [19], dass Ereignisse mit größeren Auswirkungen eine geringere Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen. Zudem kann der Wasserversorger derartige Katastrophen nicht allein bewältigen und benötigt die Unterstützung der Behörden. Zur Reduzierung von technischen Störungen und Fehlbedienungen ist neben einer ordnungsgemäßen Instandhaltung auch die personelle Besetzung beim Wasserversorger von Bedeutung.

Neben **kriegerischen Ereignissen** (3), wie z. B. Bombenabwurf oder Terrorakte, sind **Sabotagen und Anschläge** auf die Wasserwirtschaft möglich. Das BBK [19] zeigt einige Vorfälle an Beispielen: so plante Ende der Siebziger die Rote-Armee-Fraktion die Wasserversorgung von 20 deutschen Städten zu verseuchen; 2003 wurde die Vergiftung der Stadt Einbeck angedroht und 2005 wurden 4 Behälter mit dem Pflanzenschutzmittel Atrazin in der Nähe der Rohwasserfassung im Bodensee eingebracht. Zunehmend stehen Cyberangriffe im Fokus als Gefahr für die Wasserversorgung [14-15]. Laut BBK [19] besitzen die meisten großen WVU eigene Netzwerke und erschweren so den Zugriff von außen. Außerdem ist seit 2015 das IT-Sicherheitsgesetz in Kraft getreten, nach dem die deutschen IT-Systeme, vor allem im Bereich der Kritischen Infrastruktur, gegenüber Cyberangriffen abgesichert werden müssen

[39]. Zur Sabotage zählen auch Vandalismus, Einbruch und Diebstahl, zum Risikobeurteilung des Objektschutzes existiert das Merkblatt DVGW W 1050 [40].

3.2.2 Instrumente der Gefahrenanalyse

Die Durchführung der Gefahrenanalyse als Aufgabe der Risikoanalyse wird in der DIN EN 15975-2 [18] und im BBK-Leitfaden für Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1 [19] dargestellt. Die Anforderungen aus den beiden Dokumenten können wie folgt zusammengefasst werden:

- systematische Erfassung von Gefahren,
- Einbeziehung von Erfahrungswerten und historischen Ereignissen,
- Abschätzung von potenziellen Gefahren,
- Abschätzung der Auswirkungen auf die Prozesse und die Beteiligten,
- Priorisierung der Gefahren.

Zur Durchführung der Gefahrenanalyse beinhaltet der BBK-Leitfaden [19] einen Fragebogen. Der Fragebogen enthält eine Gefahrenliste inklusive einer vierstufigen Einteilung der Gefahren nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Größe der Gefahr. Eine Bewertung der Gefahren auf der Grundlage eines quantitativen Ansatzes ist im Leitfaden nicht enthalten.

Halbquantitative Ansätze zur Priorisierung von Gefahren werden von Bartram et al. [41], im „*Water Safety Plan Manual Step-by-step Risk Management for Drinking-water Suppliers*“ und von Abuzerr et al. [42] am Beispiel der Gefährdung von Trinkwasserquellen im Gazastreifen beschrieben. Im Ergebnis dieser Verfahren entsteht eine mit Zahlen belegte Priorisierung unter Nutzung einfacher mathematischer Verfahren.

Methoden der multikriteriellen Entscheidungsfindung werden im „*Handbook on Constructing Composite Indicators*“ [43] als grundsätzliche Arbeitsweise und von Terekhanova et al. [44] zur Gebietspriorisierung von Wasserversorgungssystemen als Vorstufe einer Risikoanalyse dargestellt. Diese Methoden sind komplex und erfordern die Einbeziehung mehrerer Einflussfaktoren und kausaler Wirkungsketten.

3.2.3 Zielstellung

Aus den vorgenannten Darstellungen wird deutlich, dass das Gefahrenspektrum sehr umfassend und für jeden Standort individuell zu beurteilen ist. Die vorhandenen Instrumente der Gefahrenanalyse [18,19] sind weiterzuentwickeln. Dabei sollen die grundsätzlichen Anforderungen aus [18,19] beibehalten werden. Durch ein Beurteilungssystem soll eine differenzierte Auswertung ermöglicht werden, dabei soll eine mengenmäßige Zuordnung der Relevanz für jede Gefahr erfolgen. Da aber auch eine quantitative Priorisierung nur begrenzt

möglich ist, wurde ein halbquantitativer Ansatz in Anlehnung an [41,42] gewählt. Als Ergebnis wurde eine fachlich begründete Priorisierung der Gefahren erwartet. Die Methodik zur Entwicklung des Beurteilungssystems wird in den nächsten Kapiteln beschrieben.

3.3 Methodik der Gefahrenanalyse

3.3.1 Erarbeitung der Gefahrenliste

Die systematische Erfassung der Gefahren sollte auf Basis von bekannten und potenziellen Gefährdungen erfolgen. Zur Auflistung der Gefahren wurden die Dokumente Fachinformation zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung [19], das Konzept zum Schutz Kritischer Infrastrukturen [45], das Beiblatt DVGW W 1001-B1 [46] und die Störfalldokumentation des Wasserversorgers [30] genutzt. Die Liste der Gefahren kann im Bedarfsfall erweitert werden (**Tab. 3.1, Spalte A-G**).

Die Gefahren wurden nach dem All-Gefahren-Ansatz [23] eingeteilt. In der Summe wurden 18 Naturgefahren, 30 technische Gefahren und 10 Gefahren durch Anschläge, Sabotage oder kriegsrische Handlungen identifiziert (**Tab. 3.1, Spalte A-C**).

Anschließend erfolgte eine Einteilung zur Ursache (intern oder extern) und Exposition der Gefährdung in Bezug auf das Untersuchungsgebiet (**Tab. 3.1, Spalte H-J**). Gefährdungen die keine Exposition auswiesen, wurden nicht weiter betrachtet.

Weiterhin erfolgte eine Einteilung nach Verantwortungsbereichen nach [19,21]. So wurde jede Einzelgefahr dem Wasserversorger (Normalbetrieb), dem Land/ dem Landkreis/ der Kommune (Krisen- und Katastrophenschutz) und/ oder dem Bund (Wassersicherstellung im Verteidigungsfall) zugeordnet (**Tab. 3.1, Spalte K-M**).

3.3.2 Priorisierung der Gefahren

Die Betroffenheit wurde durch eine Bewertung der Auswirkungen auf die Bauwerke und Anlagen, das Verteilungsnetz, das Betriebspersonal und die Region abgebildet (**Tab. 3.1, Spalte N-Q**). Die regionale Betroffenheit stellt die indirekte Verfügbarkeit von Personal des eigenen und benachbarter WVU sowie Hilfsorganisationen dar. Bei flächenwirksamen Ereignissen ist davon auszugehen, dass auch private Haushalte oder andere Kritische Infrastruktur betroffen sind. Dies beeinflusst die Verfügbarkeit von Personal, die Kapazität von Hilfsorganisationen und den zu erwartenden Wasserbedarf. So ist z. B. bei einer technischen Störung des WVU die regionale Betroffenheit sehr gering, bei einem Hochwasser mindestens mit einer gebietsabhängigen Betroffenheit zu rechnen und bei einem flächendeckenden Stromausfall die gesamte Region betroffen.

Die Einstufung der Betroffenheit erfolgte durch folgende Kriterien:

- 1 – nicht betroffen,
- 2 – punktuell betroffen,
- 3 – flächendeckend betroffen.

Das Gefahrenausmaß stellt den Mittelwert der Betroffenheit dar (**Tab. 3.1, Spalte R**). Die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde in folgende Stufen eingeteilt (**Tab. 3.1, Spalte S**):

- 1 – niedrig (alle > 1.000 a),
- 2 – mittel (alle 101- 1.000 a),
- 3 – hoch (alle 0 – 100 a).

Die Einteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit erfolgte in Anlehnung an die Fachinformation zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung [19], die fünfstufige Einteilung wurde zur Vereinfachung auf drei Stufen reduziert.

Zur Einschätzung der Betroffenheit und Eintrittswahrscheinlichkeit wurden für jede Gefahr Literaturrecherchen durchgeführt, bereitgestellte Daten von Behörden oder Versicherern genutzt, Hinweise aus dem technischen Regelwerk aufgenommen, Betriebserfahrungen ausgewertet, Experten befragt und/oder lokale Medienberichte genutzt (**Bewertung Tab. 3.1, Spalte N-Q, S**). Die grundlegend verwendeten Quellen werden nachfolgend kurz beschrieben:

- Daten von Behörden oder Versicherern: insbesondere für Naturgefahren existieren eine Reihe von Extremwertstatistiken so z. B. Hochwassergefahrenkarten der Landesämter, Beurteilung der Auswirkungen der Klimaprojektionen durch die Länder oder Gefahreinstufungen durch den Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) für Sturm und Überspannungsschäden.
- technisches Regelwerk: die a.a.R.d.T in der Wasserversorgung werden durch den Deutschen Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW) beschrieben, bei Einhaltung der Vorschriften kann auch von einer geringeren Betroffenheit und Eintrittswahrscheinlichkeit ausgegangen werden.
- Betriebserfahrungen: insbesondere die Dokumentation von Störfällen zeigt Schwachstellen der vorhandenen Systeme auf, so können Rückschlüsse auf die Betroffenheit und Eintrittswahrscheinlichkeiten für Störfallarten abgeleitet werden. In dem Fallbeispiel (Kap. 4) konnten so Störungen der vergangenen 13 Jahre ausgewertet werden.
- Experten: durch die Einstufung der Gefahren von mehreren Experten kann die Subjektivität verringert werden. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn keine oder nur eine geringe Datengrundlage zur Beurteilung der Gefahr vorliegt, wie z. B. die Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Stromausfällen

Die Relevanz der Gefährdung wurde als Produkt des Gefahrenausmaßes und der Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelt (Gl. 3.1). Hohe Zahlen weisen dabei auf eine höhere Relevanz hin (Tab. 3.1, Spalte T). Zusätzliche Bemerkungen wurden in der Tab. 3.1 Spalte U dokumentiert.

$$R = E \cdot G = E \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad (3.1)$$

R – Relevanz

G - Gefahrenausmaß

E - Eintrittswahrscheinlichkeit (1...3)

B_i - Betroffenheit (i = 1...n)

Tab. 3.1: Mustertabelle Gefahrenanalyse

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Gefahren			Quelle			Ursache			Verantwortl.			Betroffenheit			Relevanz					
Kategorie	Nr.	Gefahrenquelle	Leitfaden BBK [19]	Schutz Kritischer Infrastrukturen [45]	DVGW W 1001-B1[46]	Störfalldokumentation des WWU [30]	Intern	Extern	Exposition im VG	Wasserversorger	Land/ Kommune	Bund	Anlagen, Bauwerke	Verteilungsnetz	Personal	Region	Gefahrenausmaß	Eintrittswahrscheinlichkeit	Relevanz	Bewertung zur Szenarioauswahl, Bemerkungen
N	1	Gefahr 1	x	x	x			x	x				1	1	1	1	1,0	2	2,0	
T	2	Gefahr 2		x				x	x				3	3	3	3	3,0	2	6,0	Szenario ableiten
A	n	Gefahr n				x	x		x				1	1	2	3	1,8	2	3,5	

N= Naturgefahren, T= technische Störungen/ menschliches Versagen, A= Anschläge, Sabotage, kriegerische Handl.

Einstufung der Betroffenheit: 1- nicht relevant, 2- punktuelle Betroffenheit, 3- flächendeckende Betroffenheit

Einstufung der Eintrittswahrscheinlichkeit 1- niedrige, 2- mittlere, 3- hohe Eintrittswahrscheinlichkeit

Als Grundlage für den anschließenden Arbeitsschritt Szenarioidentifikation wurde eine Liste mit prioritären Gefahren erarbeitet. Die prioritären Gefährdungen wurden anschließend zu einer möglichst geringen Anzahl an Szenarien zusammengefasst. Die Vorgehensweise wird nachfolgend am Fallbeispiel erläutert.

3.4 Fallbeispiel

3.4.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Unternehmen Süd-Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH (SOWAG) befindet sich in der Oberlausitz (**Abb. 3.2**) und versorgt ca. 75.000 Menschen mit Trinkwasser. Das Versorgungsgebiet hat einen ländlichen Charakter und ist in 21 Unterversorgungsgebiete unterteilt. Der Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung beträgt 99,5 %. Zur Herstellung und Verteilung des Trinkwassers werden 17 Wasserwerke, 40 Pumpwerke, 62 Trinkwasserspeicher und 1.035 km Trinkwasserversorgungsleitungen betrieben. Jährlich werden ca. 2,7 Mio. m³/a Grundwasser zur Trinkwasserversorgung selbst gefördert und 1,1 Mio. m³/a über die Fernwasserversorgung bezogen.



Abb. 3.2: Übersicht Versorgungsgebiet SOWAG [47]

3.4.2 Ergebnisse der Gefahrenanalyse

3.4.2.1 Naturgefahren

Zur Beurteilung der Gefahr durch **Hochwasser und Starkregen** existiert beim Wasserversorger eine Gefährdungsbeurteilung [48] nach dem Merkblatt DWA-M 103 [49]. Im Regelwerk des DVGW sind keine analogen Bewertungskriterien zum Hochwasserschutz enthalten. Die Auswertung der Hochwassergefahrenkarten zeigen bei einem 500-jährigen Ereignis (Extremereignis) nur geringe Beeinträchtigungen der Trinkwasseranlagen [47]. Vorhersagen darüber hinaus sind nicht vorhanden.

Die Bewertung der **Starkniederschläge und Sturzfluten** erfolgten auf Basis vergangener Störungen. Als Beispiel im Untersuchungsgebiet benennt das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) den Ort Spitzkunnersdorf (2017) [27]. Die Untersuchung entspricht einer vereinfachten Gefährdungsabschätzung nach dem Leitfaden „*Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge*“ [50]. Detailliertere Ergebnisse liefern topografische Gefährdungsanalysen oder hydraulische Analysen durch Überflutungssimulation [50]. Zusätzliche Informationen können dem Merkblatt DWA-M 119 [51] entnommen werden.

Aufgrund des Klimawandels ist mit einer Zunahme von **Trockenperioden** und mit einer weiteren **Reduzierung der Grundwasserneubildung** im Untersuchungsgebiet zu rechnen. Laut Klimaprojektionen des LfULG [47] wird die Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet von 157 mm/a (Ist-Daten von 1961 bis 1987) auf bis zu 32 mm/a (Klimaprojektion WETTREG2010_A1B_66 von 2071 bis 2100) zurückgehen. Diese drastische Prognose führt dazu, dass die Trockenheit die größte Gefährdung im Untersuchungsgebiet darstellt. Auch die Erfahrungen der Trockenperioden 2018 und 2019 [30] zeigen eine hohe Betroffenheit durch: einen hohen Wasserbedarf, rückläufige Schüttungen der Fassungen, Auslastung der Leistungsfähigkeit der technischen Systeme und eine erhöhte Anzahl an Rohrbrüchen, was zu einem zusätzlichen Personalbedarf führte.

Im Winter kann es im Untersuchungsgebiet zu ergiebigen **Schneefällen** und zu **Kältewellen** kommen. Massive Schneefälle behinderten Zufahrten zu einzelnen Anlagen, lange Frostperioden führten zu einer erhöhten Rohrbruchhäufigkeit mit punktuellen Beeinträchtigungen der Trinkwasserversorgung [30]. Trotz der durchschnittlich steigenden Temperaturen sind solche meteorologischen Ereignisse auch künftig gefährdungsrelevant.

Durch den Klimawandel ist auch mit der **Zunahme von Extremwetterereignissen wie Stürmen, Tornados und Gewittern** zu rechnen [13,25-27]. Der GDV beurteilt die Gefahr durch

Sturm und Hagel in der Oberlausitz als mäßig [52]. In der Vergangenheit kam es im Untersuchungsgebiet zu heftigen Unwettern mit Sachschäden, so z. B. Xaver (2013) und Friederike (2018). Durch diese Stürme entstanden auch Sachschäden an den Anlagen des Wasserversorgers z. B. zerstörte Zaunanlagen und versperrte Zuwegungen [30]. Die Gefahr eines Überspannungsschadens wird durch die GDV als mittel eingestuft [52]. Gewitter verursachten im Untersuchungsgebiet vereinzelte Überspannungsschäden [30].

Eine Gefährdung durch **Erdbeben** wurde anhand seismologischer Karten beurteilt [53]. Die verfügbare Karte zeigt keine Exposition im Untersuchungsgebiet.

Steinschläge, Felsstürze und Erdrutsche können grundsätzlich an Hanglagen auftreten. Im Bereich des Zittauer Gebirges kam es vereinzelt zu Steinschlägen [54]. Eine Betroffenheit der Wasserversorgung ist nicht eingetreten und auch unwahrscheinlich.

Erdsenkungen sind im Untersuchungsgebiet bisher noch nicht aufgetreten. Die Beurteilung sieht keine daher weitere Bearbeitung vor.

Die Gefährdung für **Groß- und Flächenbrände** ist im Untersuchungsgebiet als geringfügig eingestuft [55]. Durch Brandereignisse kann es zu einer direkten Zerstörung der Wasserversorgungsanlagen kommen. Zusätzlich sind Löschwasser- oder Stoffeinträge in Folge eines Brandes möglich. Aufgrund der Struktur des Versorgungsgebietes sind Gefährdungen durch Brände nur punktuell zu erwarten.

Pandemien und Epidemien können den Betrieb der Wasserversorgungsanlagen stören. Potenziell ist mit dem Ausfall von Mitarbeitern und mit Einträgen von pathogenen Mikroorganismen über das Trinkwassernetz zu rechnen. Die Gefahr eines Personalmangels ist sehr relevant. Der Eintrag von humanpathogenen Keimen kann aufgrund des Multibarrieren-Prinzip sehr konsequent minimiert werden. Durch die Corona- Pandemie gab es bei der SOWAG bereits Zeiten mit Personalknappheit ohne Folgen für die Wasserversorgungsanlagen [30]. Im Betrieb existiert im Rahmen des Risikomanagements, ein Notfall- und Kasernierungskonzept. Die Konzepte enthalten grundsätzliche Aufgaben und die benötigte Anzahl an Personal, dies ist in die Bewertung eingeflossen.

Natürliche Bodenkontaminationen können durch Hochwassereinträge, Starkniederschläge oder Schadstofffreisetzungen in Folge einer geänderten Grundwasserernutzung entstehen. Es wird davon ausgegangen, dass die konventionelle Wasseraufbereitung (Enteisung, Entmanganung, Partikelelimination) nicht geeignet ist, eingetragene Schadstoffe zurückzuhalten und dass derartige Ereignisse eher lokal auftreten.

Zu den natürlichen Gefahrenquellen zählen auch **kosmische Ereignisse** wie Meteorite und Sonnenstürme. Ein Meteoriteneinschlag kann theoretisch gesamte

Wasserversorgungsanlagen zerstören. Das resultierende Schadenspotenzial ist sehr hoch, jedoch wird das Ereignis als sehr unwahrscheinlich betrachtet. Sonnenstürme können durch erhöhte Strahlenbelastungen die Telekommunikationseinrichtungen stören und zum Ausfall der Elektroenergieversorgung führen.

Die **Tab. 3.2** zeigt die zusammengefasste Beurteilung der Naturgefahren.

Tab. 3.2: Beurteilung der Naturgefahren

Gefahren			Quelle			Ursache		Verantw.		Betroffenheit					Relevanz				
Nr.	Gefahrenquelle	Leitfaden BBK [19]	Schutz Krit. Infrastrukturen [45]		DVGW W 1001-B1[46]	Störfalldokumentation [30]	Intern	Extern	Exposition im VG	Wasserversorger	Land/ Kommune	Bund	Anlagen, Bauwerke	Verteilungsnetz	Personal	Region	Gefahrenausmaß	Eintrittswahrscheinlichkeit	Relevanz
N-1	Hochwasser < HQ 100	x	x	x				x	x				1	1	1	1	1	3	3
N-2	Hochwasser > HQ 100	x	x	x				x	x				1	1	2	2	2	2	3
N-3	Starkniederschlag	x	x		x			x	x				2	2	2	2	2	2	4
N-4	Sturzflut		x					x	x				2	2	2	2	2	2	4
N-5	Trübung, bakteriologische Beanstandung				x	x		x	x				2	2	1	2	2	3	5,25
N-6	Hitze	x	x					x	x				1	1	2	3	2	3	5,25
N-7	Trockenheit	x	x		x			x	x				3	3	3	3	3	3	9
N-8	Kälte	x	x	x	x			x	x				2	2	2	2	2	2	4
N-9	Schneefall	x	x					x	x				2	1	2	2	2	2	3,5
N-10	Sturm, Tornado, Unwetter	x	x		x			x	x				2	1	2	2	2	3	5,25
N-11	Erdbeben	x	x	x				x											
N-12	Erdbeben	x	x	x				x	x				2	1	1	1	1	1	1,25
N-13	Erdsenkung	x	x					x											
N-14	Groß- und Flächenbrand	x	x					x	x				2	1	2	2	2	2	3,5
N-15	Epidemie, Pandemie	x	x					x	x				1	2	3	3	2	2	4,5
N-16	Kontamination des Bodens		x	x				x	x				2	2	1	1	2	2	3
N-17	Meteoriten und Kometen		x					x	x				3	3	3	3	3	1	3
N-18	Sonnensturm		x					x	x				3	1	3	3	3	1	2,5

3.4.2.2 Technische Störungen und menschliches Versagen

Mängel in der **Betriebsführung** können zum Versagen technischer Anlagen führen. Nach § 50 Abs. 4 WHG [56] sind die a.a.R.d.T. einzuhalten. Anforderungen an die Qualifikation und die Organisation von WVU sind im DVGW W 1000 [38] enthalten. Der betrachtete Wasserversorger ist nach DIN EN ISO 9.001 und DIN EN ISO 14.001 zertifiziert. Damit wird dem WVU bescheinigt, dass die Rechtsvorschriften eingehalten und die Organisation abgesichert sind [57]. Die Substanzerhaltung wird durch eine Rehabilitationsstrategie regelmäßig überprüft. Die

technischen Anlagen werden nach den Vorgaben des DVGW Regelwerks errichtet und betrieben. Zur Havarievorsorge existieren eine Störreservematerialvorhaltung, Verträge mit Tiefbaufirmen, Notstromaggregate und Wasserwagen. Die Gefahren der unzureichenden Unternehmensorganisation (T-1), Zustandsbewertung (T-2) und Substanzerhaltung (T-3) beschreiben die grundsätzlichen Anforderungen. Deutliche Defizite in diesen Bereichen wie, z. B. eine zu geringe Reinvestition, können langfristig den Betrieb der Wasserversorgungsanlagen stören, dies führt zu der Beurteilung der höheren Betroffenheit der Anlagen und des Netzes. Die weiteren Gefahren der Betriebsführungsaufgaben (T-4 bis T-19) betreffen eher den Normalbetrieb, Abweichungen können punktuelle Ausfälle zu Folge haben. Eine besondere Betriebsstörung ist der Rohrbruch auf einer Fernversorgungsleitung (T-20), aus der eine höhere Betroffenheit resultieren kann. Als kritisch wird auch der Eintrag von Nicht-Trinkwasser ins Trinkwassernetz (T-21) gesehen, dazu sollten private Eigenversorgungsanlagen, die Befüllung von Kanalreinigungsfahrzeugen und die Wasserentnahme der Feuerwehr überprüft werden.

Die Trinkwasserversorgung hängt von einer Reihe **anderer Kritischer Infrastrukturen** ab. Sektorenübergreifende Risikobeurteilungen werden von Hokstad et al. [58] beschrieben.

Bei einem Stromausfall ist zur Beurteilung der Gefahr die räumliche Ausdehnung und Dauer des Stromausfalls zu unterscheiden. Ist der Ausfall lokal begrenzt, können mit den vorhandenen Netzersatzaggregaten die Anlagen weiterbetrieben werden [30]. Sind mehrere Anlagen betroffen und hält das Ereignis mehrere Tage an, dann können nur wenige Anlagen nach Priorität im Betrieb bleiben und es ist mit einer hohen und flächendeckenden Betroffenheit zu rechnen. Zur Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit fehlt es an belastbaren Daten. Aufgrund der potenziellen Möglichkeit wurde mit einer mittleren Eintrittswahrscheinlichkeit gerechnet.

Mit der Digitalisierung nimmt auch die Abhängigkeit von der Funktionsfähigkeit der Informationstechnik zu. Kommt es zum Ausfall der Informationstechnik, kann der Betrieb nur mit erhöhtem Personalaufwand aufrechterhalten werden. Durch technische Störungen kam es auch im Untersuchungsgebiet zu Ausfällen der Informationstechnik [30]. Die dadurch entstandenen Übertragungsausfälle wurden durch Notprogramme überbrückt. Es wurde für die Anlagen und für das Personal mit einer punktuellen Betroffenheit und einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit gerechnet.

Die Nutzung von Erdgas erfolgt bei der SOWAG nur punktuell zur Gebäudebeheizung. Ein Ausfall der Gasversorgung hat somit keine Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung.

Auch **Lieferengpässe** für Betriebs- und Hilfsstoffe können den Betrieb der wasserwirtschaftlichen Anlagen stören. Im Untersuchungsgebiet kann z. B. eine ausbleibende

Filtermateriallieferung zu punktuellen Qualitätsbeeinträchtigung in der Wasseraufbereitung führen.

Nuklearunfälle können sich durch den Ausfall von Atomkraftwerken (AKW), beim Transport von Atommüll, in Forschungseinrichtungen oder im medizinischen Bereich ergeben. Insbesondere ein Unfall in einem AKW kann zu gravierenden Umweltschäden führen. Das nächstgelegene AKW befindet sich in Temelin (Tschechische Republik) und ist ca. 200 km entfernt. Durch die Entfernung und geringe Größe des AKWs ist keine Auswirkung einer Explosion zu erwarten, jedoch kann je nach Wetterlage ein radioaktiver Niederschlag entstehen. Ein GAU am AKW Isar in Deutschland hätte größere Auswirkungen. Sollte es zu diesem Ereignis kommen, ist die Oberlausitz mit einer Wahrscheinlichkeit von 2 % langfristig nicht bewohnbar [59]. Für Westeuropa wird eine Eintrittswahrscheinlichkeit für einen GAU von einmal in 50 Jahren von Lelieveld et al. [60] angeben. Die hohe Eintrittswahrscheinlichkeit ergibt sich aus der hohen Anzahl der AKW, für ein einzelnes AKW wurde mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von einmal in 3.650 Jahren gerechnet. Da nur ein GAU am AKW Isar das Potenzial radioaktiven Kontamination für die Oberlausitz bewirkt, wurde die geringste Eintrittswahrscheinlichkeit für die Gefahrenanalyse gewählt.

Unfälle mit **Gefahrstoffen oder Gewässerunreinigungen** können zu einer Kontamination des Grundwassers führen. Im Untersuchungsgebiet sind 7 Fassungsgebiete mit 127 Quell- oder Schachtbrunnen vorhanden. Einzelne Betriebsstörungen, in Bezug auf Gefahrstoffeinträge, wurden auch in der Untersuchung festgestellt [30].

Eine Grundwasserunreinigung kann auch durch **landwirtschaftliche Einträge** entstehen, z. B. durch Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Wird Gülle eingesetzt, kann es zusätzlich zu einer höheren mikrobiologischen Belastung kommen. Auch zu dieser Gefährdung wurden vereinzelte Fälle im Untersuchungsgebiet ermittelt [30].

Zum Schutz der Fassungen sind Trinkwasserschutzzonen nach DVGW W 101 [61] ausgewiesen. Trotz der Umsetzung des technischen Regelwerkes, zeigt die Störfalldokumentation [30] die oben beschriebenen punktuellen Einträge mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit.

In der **Tab. 3.3** ist die Beurteilung der Gefahren durch technische Störungen und menschliches Versagen zusammengefasst.

Tab. 3.3: Beurteilung der Gefahren durch technische Störungen und menschliches Versagen

Gefahren		Quelle		Ursache		Verantw.		Betroffenheit				Relevanz							
Nr.	Gefahrenquelle	Leitfaden BBK [19]	Schutz Krit. Infrastrukturen [45]	DVGW W 1001-B1[46]	Störfalldokumentation [30]	Intern	Extern	Exposition im VG	Wasserversorger	Land/ Kommune	Bund	Anlagen, Bauwerke	Verteilungsnetz	Personal	Region	Gefahrenausmaß	Eintrittswahrscheinlichkeit	Relevanz	
T-1	Unternehmensorganisation	x	x			x		x				3	3	2	1	2,3	2	4,5	
T-2	unzur. Zustandsbewertung		x	x		x		x				3	3	1	1	2	2	4	
T-3	unzur. Substanzerhaltung		x	x		x		x				3	3	1	1	2	2	4	
T-4	Unzur. Bereitschaftsdienst			x		x	x	x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-5	Unzur. Wartung, Inspektion			x	x	x	x	x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-6	Unzureichende Anlagendokumentation			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-7	Fehlerhafte Netzdokument			x		x	x	x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-8	unzur. qualifiziertes Personal			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-9	unzureichend qualifizierte Dienstleister			x		x	x	x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-10	Baumaßnahmen Dritter			x	x			x	x			2	2	1	1	1,5	2	3	
T-11	fehlende Redundanz			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-12	Fehldimension			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-13	zu geringe Überdeckung			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-14	ungeeignete Bauverfahren			x		x	x	x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-15	falsche Werkstoffe			x		x	x	x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-16	unsachgemäße Desinfektion			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-17	unzulässiger Wasserdruck			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-18	Störungen an Anlagenteilen			x		x	x	x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-19	kritische Fließverhältnisse			x		x		x				2	2	1	1	1,5	2	3	
T-20	Rohrbruch auf Fernwasserleit.			x	x	x	x	x				2	3	1	1	1,8	3	5,25	
T-21	Einspei. Nicht- Trinkwasser			x				x	x			2	3	2	2	2,3	3	6,75	
T-22	Stromausfall kurz, punktuell	x	x	x	x			x	x			2	2	1	2	1,8	3	5,25	
T-23	Stromausfall lang, flächendeckend	x	x	x				x	x				3	3	3	3	3	2	6
T-24	Ausfall Informationstechnik	x	x					x	x			2	1	2	1	1,5	3	4,5	
T-25	Ausfall der Erdgasversorgung			x				x	x			2	1	1	2	1,5	2	3	
T-26	Lieferengpässe					x	x	x	x			2	2	1	1	1,5	3	4,5	
T-27	Atomunfall	x						x				3	3	3	3	3	1	3	
T-28	Unfälle mit Gefahrstoffen	x	x			x	x	x	x			2	3	1	2	2	3	6	
T-29	Gewässerunreinigung	x						x	x			2	2	1	1	1,5	3	4,5	
T-30	Landwirtschaftliche Einträge					x		x	x			2	3	1	2	2	3	6	

3.4.2.3 Anschläge, Sabotage, kriegerische Handlungen

Die Kommunikations- und Steuertechnik ist potenziell durch **IT-Angriffe** gefährdet. Unerlaubter Zugriff auf die Systeme kann zum Ausfall von Wasserversorgungsanlagen führen. Im Untersuchungsgebiet kommunizieren die Anlagen der Wasserversorgung nur von innen nach außen, somit ist ein Fremzugriff auf die Anlagentechnik unmöglich. Durch den speziellen

Aufbau des Netzwerkes sind Auswirkungen von Cyberattacken auf den Ausfall des Prozessleitsystems begrenzt und haben keine direkte Auswirkung auf die Wasserversorgungsanlagen.

Die Technik kann auch durch **Sabotage, Manipulation oder Terrorismus** zerstört oder in der Funktion unterbrochen werden. Zur Verhinderung müssen die Anlagen einen ausreichenden Objektschutz aufweisen. Das Merkblatt DVGW W 1050 [40] gibt Hinweise zur Durchführung einer Risikobetrachtung des Objektschutzes. Alle Wasserversorgungsanlagen im Untersuchungsgebiet erfüllen im Wesentlichen die Normvorgaben. Ein Einbruch mit Zerstörung der Anlagentechnik ist dennoch punktuell möglich, dies wurde in der Betroffenheit berücksichtigt.

Sabotage kann auch durch **Einbringung von gefährlichen Stoffen** erfolgen. In der Empfehlung des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches W 1007d [62] sind Möglichkeiten zum Erkennen von gefährlichen Stoffen und Gegenmaßnahmen beschrieben.

Anschläge und kriegerische Ereignisse können massive Auswirkungen auf die Wasserversorgung haben. Bei den Anschlägen wird zwischen Sprengstoff, biologischen, chemischen oder radiologischen Waffen unterschieden. Die öffentliche Wasserversorgung stellt ein mögliches Ziel für kriegerische Aktivitäten dar. Die Wahrscheinlichkeit eines Angriffes auf die öffentliche Wasserversorgung wird jedoch als sehr gering eingestuft [19]. Die **Tab. 3.4** zeigt die Beurteilung der Gefahren durch Anschläge, Sabotage und kriegerische Handlungen

Tab. 3.4: Beurteilung der Gefahren durch Anschläge, Sabotage und kriegerische Handlungen

Gefahren		Quelle				Ursache		Verantw.		Betroffenheit				Relevanz					
Nr.	Gefahrenquelle	Leitfaden BBK [19]	Schutz Krit. Infrastrukturen [45]		DVGW W 1001-B1[46]	Störfalddokumentation [30]	Intern	Extern	Exposition im VG	Wasserversorger	Land/ Kommune	Bund	Anlagen, Bauwerke	Verteilungsnetz	Personal	Region	Gefahrenausmaß	Eintrittswahrscheinlichkeit	Relevanz
A-1	IT- Angriff	x	x					x	x				2	2	1	1	1,5	2	3
A-2	Sabotage, Terrorismus	x		x				x	x				2	2	1	2	1,75	2	3,5
A-3	unzur.Objektschutz	x		x		x		x	x				2	2	1	1	1,5	3	4,5
A-4	Entführung		x					x	x				2	2	1	1	1,5	2	3
A-5	Erpressung		x					x	x				2	2	1	1	1,5	2	3
A-6	Sprengstoffanschlag	x	x					x	x				2	2	1	1	1,5	1	1,5
A-7	Biologischer Anschlag	x	x					x	x				2	2	1	2	1,75	1	1,75
A-8	Chemischer Anschlag	x	x					x	x				2	2	1	2	1,75	1	1,75
A-9	Kampfhandlung	x						x	x				3	3	3	3	3	1	3
A-10	Radiologisch. Anschlag	x	x					x	x				2	2	1	2	1,75	1	1,75

3.4.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der Fallstudie wurden 57 Einzelgefahren untersucht und bewertet. Im Ergebnis wurden 12 prioritäre Gefährdungen (Score > 4,0) ermittelt (Tab. 3.5).

Tab. 3.5: Prioritäre Gefährdungen im betrachteten Versorgungsgebiet

Nr.	Gefahrenquelle	Relevanz	Bewertung zur Szenarioauswahl, Bemerkungen
N-5	Überflutung Wasserfassung	5,25	1. Szenario: Gefahrstoffeintrag
N-7	Trockenheit	9	2. Szenario: lange Trockenperiode mit potenziellem Bedarfsdeckungsdefizit
N-10	Sturm, Tornado, Unwetter	5,25	3. Szenario: Ausfall einer Einzelanlage
T-1	Unternehmensorganisation	4,5	Absicherung über Qualitäts-, Umwelt- und Energiemanagementsys.
T-20	Rohrbruch auf Fernwasserleitung	5,25	4. Szenario: Rohrbruch auf einer Hauptversorgungsleitung
T-21	Einspeisung von Nicht- Trinkwasser	6,75	1. Szenario: Gefahrstoffeintrag
T-22	Stromausfall kurz, punktuell	5,25	3. Szenario: Ausfall einer Einzelanlage
T-23	Stromausfall lang, flächendeckend	6	5. Szenario: flächendeckender Stromausfall
T-24	Ausfall Informationstechnik	4,5	3. Szenario: Ausfall einer Einzelanlage
T-27	Unfälle mit Gefahrstoffen	6	1. Szenario: Gefahrstoffeintrag
T-28	Gewässerverunreinigung	4,5	1. Szenario: Gefahrstoffeintrag
T-29	Landwirtschaftliche Einträge	6	1. Szenario: Gefahrstoffeintrag
A-3	unzureichender Objektschutz, Einbruch, Diebstahl, Vandalismus	4,5	3. Szenario: Ausfall einer Einzelanlage

Die prioritären Gefährdungen wurden zu 5 Szenarien zusammengefasst und bilden die Grundlage für eine Szenarioidentifikation als nächsten Arbeitsschritt der Risikoanalyse [19].

3.5 Diskussion und Ausblick

Die vorgestellte Methodik zur Priorisierung von Gefahren zeigt potenzielle Gefährdungen der öffentlichen Wasserversorgung auf.

Naturgefahren sind dabei standortspezifisch. Deren Relevanz kann in den Versorgungsgebieten sehr unterschiedlich ausfallen. So ist z. B. die Gefährdung durch Hochwasser im Untersuchungsgebiet sehr gering. In anderen Versorgungsgebieten zählt Hochwasser jedoch zu einer der primären Gefahrenquellen [28-29]. Bei den Naturereignissen lassen sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten i.d.R. gut durch Modellierung oder statistische Auswertungen bestehender Datenreihen ermitteln [48,63]. Zum Teil können auch Onlinetools [47, 52-55] zur Bewertung der Naturgefahren genutzt werden. Die Auswirkungen des Klimawandels lassen sich zunehmend mit Beispielen [28-33,63] belegen. Die konkrete

Gefährdung ist schwieriger zu beurteilen, zumal die Intensität des Klimawandels von der weiteren Entwicklung der Treibhausgasemissionen abhängig ist. Tendenziell werden durch den Klimawandel Extremereignisse, wie Hochwasser, Sturzfluten, Trockenheit und Dürre, zunehmen und die Grundwasserneubildung abnehmen [13,25- 27]. Die Entwicklung der Wasserhaushaltsgrößen als mittlerer Trend ist dabei belastbarer vorhersagbar als die Wahrscheinlichkeit und Intensität singulärer Extremereignisse. Für eine strategische Analyse der Versorgungssicherheit bedarf es vor allem genauerer Prognose zur quantitativen und qualitativen Entwicklung der nutzbaren Grundwasserdarangebote. Hier besteht Forschungsbedarf.

Technische Störungen und menschliches Versagen können zur Beeinträchtigung der Wasserversorgung führen. Dabei können die Wasserversorger mit Betriebsstörungen, wie z. B. kleinen Rohrbrüchen und technischen Defekten gut umgehen. Derartige Betriebsstörungen führen - wenn überhaupt - zu kurzen und lokal begrenzten Ausfällen der Trinkwasserversorgung und sind dem Normalbetrieb des WVU zuzuordnen [64]. Dies konnte auch für das untersuchte Versorgungsgebiet bestätigt werden. Im Rahmen des Risikomanagements sollte daher der Fokus auf außergewöhnliche Ereignisse, wie z. B. einen flächendeckenden Stromausfall oder den Eintrag von Gefahrstoffen, gelegt werden. Die Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für derartige Ereignisse ist jedoch nur begrenzt möglich, dies wurde auch durch Hüttner et al. festgestellt [65].

Bei Anschlägen, Sabotage und kriegesischen Handlungen wird u. a. der Cyberangriff als potenzielle Gefahrenquelle identifiziert [63-65], wobei im Beispielgebiet die Gefährdung als gering bewertet wurde. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten für IT-Angriffe sind schwer abzuschätzen, die Wahrscheinlichkeit steigt aber gemäß BMI [14]. Bei Cyberattacken besteht nicht nur die Gefahr eines direkten IT-Ausfalls. Es können auch andere Kritische Infrastrukturen betroffen sein, was z. B. zur Unterbrechung der Strom- oder Gasversorgung führen kann.

Der größte Vorteil in der Anwendung der Methodik ist, im Vergleich zu [18,19], eine fachlich begründete Priorisierung der Gefährdungen. Durch die Quantifizierung wird ein mit Zahlen belegte Reihenfolge erreicht und damit der subjektive Anteil reduziert. Die Nachteile der Methodik liegen in den umfangreichen Recherchen für jede Einzelgefahr. Weiterhin wurden nach dem All-Gefahren-Ansatz [23] auch für den Wasserversorger sehr abstrakte Gefahren, wie z. B. Meteoriteneinschlag, Atomunfälle oder Anschläge untersucht. Hierfür werden konkretere Vorgaben zur flächenhaften Ausdehnung und Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse benötigt, um die Subjektivität weiter zu reduzieren und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen. Zu diskutieren ist auch ein weiterer Einbezug von mehreren

Expertenmeinungen für die Bewertung der Gefahren, dies könnte zu einem höheren Arbeitsaufwand aber gleichzeitig auch zur einer geringeren Subjektivität führen.

In der Anwendung der Methodik durch die Aufgabenträger der öffentlichen Trinkwasserversorgung, und insbesondere in Bezug auf kleine bis mittlere WVU, stellt sich die Frage, ob dieser Arbeitsschritt zu leisten ist oder ob für prioritäre Gefahren ein Mindestumfang definiert werden kann. Ähnliche Erkenntnisse wurden auch von Hüttner & Winkler [64] und Hüttner et al. [65] am Beispiel von Leipzig und Dresden gewonnen.

Im Vergleich zu [64] wird eine erweiterte Liste zum Mindestumfang der Gefahrenanalyse und zur Szenarioidentifikation vorgeschlagen (Tab. 3.6).

Tab. 3.6: Mindestumfang der Gefahrenanalyse

Naturgefahren	Technisches und menschliches Versagen	Anschläge, Sabotage, kriegerische Handlungen
Hochwasser	Ausfall von Einzelanlagen*	IT-Angriff
Sturzflut	Rohrbruch auf Verbundleitungen	
Trockenheit	flächendeckender Stromausfall*	
Erdbeben	Unfälle mit Gefahrstoffen	
Groß- und Flächenbrand		
Epidemie, Pandemie		

* vorrangige Nutzung zur Szenariobildung

Aktuell besteht auch in Deutschland ein Defizit bezüglich der Umsetzung von Risikoanalysen [21]. Das vorgeschlagene Werkzeug zur Priorisierung der Gefahren und die Vorgabe eines Mindestumfangs zu bewertender, relevanter Gefahren können zu einer verbesserten Umsetzungsquote der Risikoanalyse beitragen.

3.6 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V (BDEW). Corona-Virus: Derzeit keine Auswirkungen auf Energieversorgung und Trinkwasserqualität - Der BDEW informiert zum aktuellen Stand in Energie- und Wasserwirtschaft, in Zeiten der Corona-Pandemie, 23.03.2020, Hrsg. BDEW, Berlin.
- [2] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW). Presseinformation Aktuelle Lage Corona-Virus: Gas- und Wasserversorgung in Deutschland ist sichergestellt, 13.03.2020, Hrsg. DVGW, Berlin.
- [3] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V (BDEW). Corona-Virus: BDEW zum ersten Bericht des Expertenrats der Bundesregierung/ Auswirkungen der Omikron-Variante auf kritische Infrastrukturen, 20.12.2021, Hrsg. BDEW, Berlin.
- [4] Umweltbundesamt (UBA). Trinkwasser und Coronavirus SARS-CoV-2 – Übertragung unwahrscheinlich. 12.03.2020, Hrsg. UBA Fachgebiet II 3.5, Bad Elster.
- [5] United States Environmental Protection Agency (EPA). Water Utility Resources for the COVID-19 Pandemic, <https://www.epa.gov/coronavirus/water-utility-resources-covid-19-pandemic> (aufgerufen am 16.05.2022).
- [6] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Handbuch Betriebliche Pandemieplanung, 2. Aufl., Version 3.0, Dez. 2010, Hrsg. BBK, Bonn.
- [7] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Betriebliche Pandemieplanung – Anpassungen an die aktuelle Coronalage, 30.12.2021, Hrsg. BBK, Bonn.
- [8] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Pandemiemaßnahmen in Abwasserbetrieben Information des DWA Fachausschusses BIZ-4 „Arbeits- und Gesundheitsschutz“, 26.01.2021, Hrsg. DWA, Hennef.
- [9] Direktionsbereich Öffentliche Gesundheit (BAG). Pandemieplan Handbuch für die betriebliche Vorbereitung, 2. Aufl., 2015, Hrsg. BAG, Direktionsbereich Öffentliche Gesundheit, Abteilung Übertragbare Krankheiten, Bern.
- [10] World Health Organization (WHO). COVID-19 Strategic Preparedness and Response Plan Operational Planning Guideline, 2022. Hrsg. WHO, Genf.
- [11] Water Research Foundation (WRF). Business Continuity Planning for Water Utilities: Guidance Document, 2013, Hrsg. WRF, Denver.
- [12] Kahle, M.; Kempf, M.; Martin, B.; Glaser, R. Classifying the 2021 'Ahrtal' flood event using hermeneutic interpretation, natural language processing, and instrumental data analyses, *Environmental Research Communications* 4(5). doi:10.1088/2515-7620/ac6657.
- [13] Pörtner, H.-O.; Roberts, D.C.; Poloczanska, E.S.; Mintenbeck, K.; Tignor, M.; Alegría, A.; Craig, M.; Langsdorf, S.; Löschke, S.; Möller, V.; Okem, A. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working*

- Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; März 2022; ISBN 9789291691593.
- [14] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Einschätzung der aktuellen Cyber-Sicherheitslage in Deutschland nach dem russischen Angriff auf die Ukraine, 04.03.2022, Hrsg. BSI, Bonn.
- [15] Cybersecurity & Infrastructure Security Agency. Alert (AA22-110A) Russian state-sponsored and criminal cyber threats to critical infrastructure, <https://www.cisa.gov/uscert/ncas/alerts/aa22-110a> (aufgerufen am 09.05.2022).
- [16] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking water quality: fourth edition incorporating the first Addendum. Hrsg. WHO, ISBN 978-9241549950.
- [17] DIN EN 15975-1. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement. Deutsche Fassung, Stand 03/2016. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [18] DIN EN 15975-2. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement. Deutsche Fassung, Stand 12/2013. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [19] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1: Risikoanalyse. Jan. 2016. Hrsg. BBK, Bonn.
- [20] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung. BBK Fachinformation Praxis im Bevölkerungsschutz. Ausgabe 06/2019, Hrsg. BBK, Band 15, Bonn.
- [21] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Stand der Notfallvorsorgeplanung in der Wasserversorgung in Deutschland. gwf-Wasser/Abwasser 09/2020, S. 40–51.
- [22] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). BBK-Glossar, https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/glossar_node.html (aufgerufen am 19.07.2022).
- [23] Bundesministerium des Inneren (BMI). Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS- Strategie). Stand 2009, Hrsg. BMI, Berlin.
- [24] Critical Infrastructure Partnership Advisory Council (CIPAC). Roadmap to a Secure and Resilient Water and Wastewater Sector. Mai 2017, Hrsg. Water and Wastewater Sector Strategic Roadmap Work Group.
- [25] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Nationale Wasserstrategie Entwurf des Bundesumweltministeriums; Stand Juni 2021, Hrsg. BMU Arbeitsgruppe WR I 1-w, Bonn.
- [26] DVGW-Landesgruppe Rheinland-Pfalz. Rheinland-Pfalz im Blick. Informationszeitschrift für Mitglieder und Interessierte aus dem Gas- und Wasserfach. Ausgabe 1/2021, S. 1–3.
- [27] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen (KliWES) Schriftenreihe, Heft 32/2014, Hrsg. LfULG, Dresden.

- [28] Landeshauptstadt Dresden. Folgen der Hochwasserschäden 2002 und 2013, <https://www.dresden.de/de/stadtraum/umwelt/umwelt/055/trink-wasser.php> (aufgerufen am 12.06.2022).
- [29] Görlitzer Anzeiger. Wasserversorgung in Görlitz normalisiert sich, https://www.goerlitzer-anzeiger.de/goerlitz/service/5930_wasserversorgung-in-goerlitz-normalisiert-sich.html (aufgerufen am 13.06.2022).
- [30] Süd-Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH (SOWAG). Störfalldokumentation der Trinkwasserversorgung durch die SOWAG der Jahre 2009-2022. Hrsg. SOWAG mbH, Zittau.
- [31] Welt. In Norddeutschland herrscht die größte Dürre seit 15 Jahren, <https://www.welt.de/wirtschaft/article177217410/Wasserversorgung-In-Deutschland-herrscht-die-groesste-Duerre-seit-15-Jahren.html>, veröffentlicht 08.06.2018 (aufgerufen am 13.06.2022).
- [32] Lippe-News. Hitze und Trockenheit – Kreis Lippe ruft zu sorgsamem Umgang mit Trinkwasser auf, <https://www.lippe-news.de/2018/08/02/hitze-und-trockenheit-kreis-lippe-ruft-zu-sorgsamem-umgang-mit-trinkwasser-auf/> (aufgerufen am 13.06.2022).
- [33] Frankfurter Rundschau GmbH. Italien leidet unter Trockenheit: „Die Situation ist kritisch und kann nur schlimmer werden“, <https://www.fr.de/panorama/italien-wasser-duerre-trockenheit-fluss-po-verona-pisa-wassernutzung-situation-kritisch> (aufgerufen 05.07.2022).
- [34] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Stromausfall Vorsorge und Selbsthilfe. Ausgabe 3, Jan. 2019, Hrsg. BBK, Bonn.
- [35] FOCUS Online. Zwei Tage lang kein Strom - Ursache für Mega-Stromausfall in Berlin gefunden - Betroffenen winkt Schadensersatz, https://www.focus.de/panorama /welt/zwei-tage-lang-kein-strom-ursache-fuer-mega-stromausfall-in-berlin-gefunden-betroffenen-winkt-schadensersatz_id_10595344.html (aufgerufen am 22.06.2022).
- [36] General Anzeiger Bonn. Ätzende Lauge im Trinkwasser Bornheimer Rheinorte entgehen nur knapp einer Katastrophe, <http://www.general-anzeiger-bonn.de/region/vorgebirge-voreifel/bornheim/Bornheimer-Rheinorte-entgehen-nur-knapp-einer-Katastrophe-article1025734.html>, veröffentlicht am 12.04.2013 (aufgerufen am 22.06.2022).
- [37] Wienand, I. Kritische Infrastrukturen – Was ist zu tun? Vortrag anlässlich der Fachtagung für Führungskräfte der Versorgungs- und Entsorgungswirtschaft am 16.04.2014, Bad Wiesensee.
- [38] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW W 1000 Arbeitsblatt, Anforderungen an die Qualifikation und die Organisation von Trinkwasserversorgern. Stand 01/2016, Bonn: Hrsg. DVGW.
- [39] BSI-Gesetz vom 14. August 2009 (BGBl. I S. 2821), das zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes vom 23. Juni 2021 (BGBl. I S. 1982) geändert worden ist.
- [40] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW W 1050 Merkblatt, Objektschutz von Wasserversorgungsanlagen. Stand 2019, Bonn: Hrsg. DVGW.

- [41] Bartram, J.; Corrales, L.; Davison, A.; Deere, D.; Drury, D.; Gordon, B.; Howard, G.; Rinehold, A.; Stevens, M. Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. Stand 2009, Genf: Hrsg. World Health Organization.
- [42] Abuzerr, S.; Hadi, M.; Zinszer, K.; Nasser, S.; Yunesian, M.; Mahvi, A. H.; Nabizadeh, R.; Mohammed, S. H. Comprehensive risk assessment of health-related hazardous events in the drinking water supply system from source to tap in Gaza strip, Palestine. *Journal of Environmental and Public Health* 2020 (11), 1–10. doi:10.1155/2020/7194780.
- [43] Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD). Handbook on Constructing Composite Indicators- Methodology and user guide. Stand: 2008, ISBN 9789264043459.
- [44] Terekhanova, T.; Traenckner, J.; Gruettner, T.; Perdu, G. Risikomanagement: Sensitivitätsauswertung von Trinkwasserversorgungsgebieten ohne hydraulische Modellierung. *gwf-Wasser/Abwasser* 12/2013, S. 1348-1356.
- [45] Bundesministerium des Inneren (BMI). Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement Leitfaden für Unternehmen und Behörden. Stand 05/2011, Berlin: Hrsg. BMI.
- [46] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW W 1001 B1 Merkblatt, Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Umsetzung für Wasserverteilungsanlagen. Stand 11/2011, Bonn: Hrsg. DVGW.
- [47] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). iDA Datenportal für Sachsen - Aufgabenträger der öffentlichen Wasserversorgung. Stand 26.04.2022, Dresden: Hrsg. LfULG.
- [48] Süd-Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH (SOWAG). Gefährdungsbeurteilung zur Hochwassersituation im Trinkwasserbereich. Stand 2012, Zittau: Hrsg. SOWAG mbH.
- [49] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Merkblatt DWA-M 103 Hochwasserschutz für Abwasseranlagen. Stand: 10/2013, Hennef: Hrsg. DWA.
- [50] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.. Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. BWK-Fachinformation 1/2013.
- [51] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Merkblatt DWA-M 119 Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Stand: 11/2016, Hennef: Hrsg. DWA.
- [52] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV). Kompass Naturgefahren. http://www.kompassnaturgefahren.de/platform/resources/apps/Kompass_Naturgefahren/index.html?lang=de (aufgerufen am 27.04.2022).
- [53] Seismologie-Verband. Seismologischer Verband zur Erdbebenbeobachtung in Mitteldeutschland, Kartendienst Erdbeben in Mitteldeutschland. <http://antares.thueringen.de/cadenza/pages/map/default/index.xhtml?sessionId=9854055DF608F23742F34502FCFD3402> (aufgerufen am 02.05.2022).

- [54] Sächsische Staatskanzlei. Freistaat Sachsen, Naturgefahren. <http://www.naturgefahren.sachsen.de/index.html> (aufgerufen am 17.05.2022).
- [55] Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Waldbrandgefahrenklasse. <http://www.wald.sachsen.de/waldbrandgefahr-4186.html> (aufgerufen am 05.05.2022).
- [56] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) geändert worden ist.
- [57] Süd-Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH (SOWAG). Bericht über das Management-Review für das Jahr 2021. Zittau: Hrsg. SOWAG mbH.
- [58] Hokstad, P.; Utne, I.B.; Vatn, J. Risk and vulnerability analysis of critical infrastructures. In: Hokstad, P., Utne, I., Vatn, J. (eds) Risk and interdependencies in critical infrastructures. 2012, Springer, London. doi:10.1007/978-1-4471-4661-2_3.
- [59] Spiegel Online. Interaktive Karte Angst vor der Atomwolke. <https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/atomkraft-diese-interaktive-karte-zeigt-das-strahlenrisiko-a-1133716.html> (aufgerufen am 05.05.2022).
- [60] Lelieveld, J.; Kunkel, D.; Lawrence, M.G. Global risk of radioactive fallout after major nuclear reactor accidents, Atmos. Chem. Phys., 12, 4245–4258. doi:10.5194/acp-12-4245-2012.
- [61] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW W 101 Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. Stand 06/2006, Bonn: Hrsg. DVGW.
- [62] Schweizer Verein des Gas- und Wasserfachs (SVGW). SVGW W1007 d: Empfehlung Sabotageschutz von Trinkwasserversorgungen. Stand 2010, Zürich: Hrsg. SVGW.
- [63] Wienand, I.; Broß, L.; Lübbers, N.; Krause, St. Sichere Wasserversorgung? Erhöhung der Resilienz durch Maßnahmen des Risiko- und Krisenmanagements. BBK Bevölkerungsschutz 1/2020 S. 20–23.
- [64] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig. Sonderdruck gwf-Wasser/Abwasser 01/2020, S. 1–5.
- [65] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig. BBK Bevölkerungsschutz 3/2018, S. 12–17.

4 Vulnerabilitätsmessungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse

Water supply safety - Vulnerabilities of the drinking water supply

Felix Heumer, Wolfram Kritzner, Thomas Grischek, Jens Tränckner

gwf-Wasser/Abwasser 09-2023, S. 71–79. doi:10.17560/gwfw.v164i09.2671

Eingereicht am: 31.03.2023

Begutachtet im Peer-Review-Verfahren: 23.05.2023

Keywords: Risikomanagement, Resilienz, Bilanz-Struktur-Modelle, Notfallvorsorge, Ausfall von Anlagen, Blackout

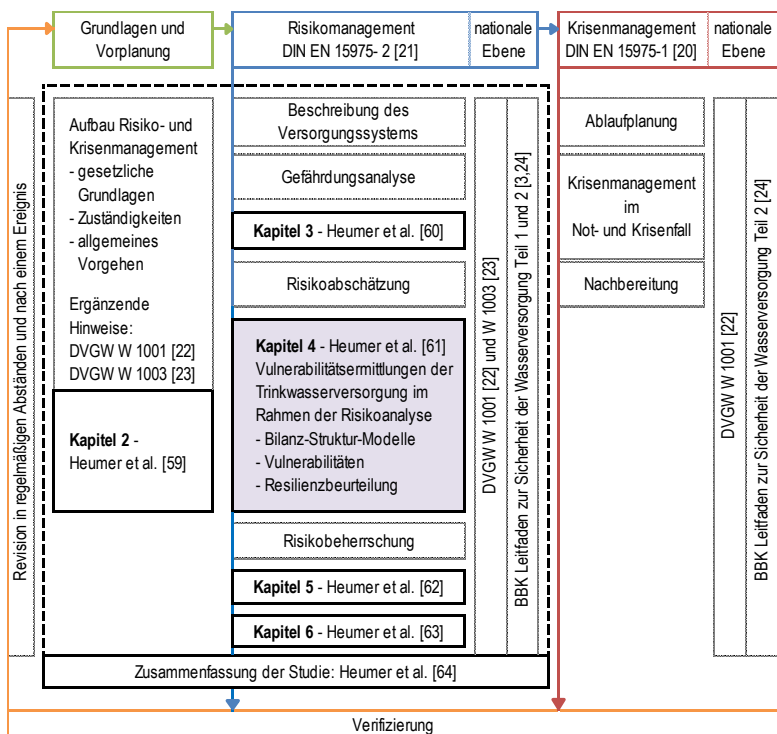


Abb. 4.1: Einordnung des Kapitels 4 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN EN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)

Zusammenfassung

Die Trinkwasserversorgung kann durch einen Blackout, Hochwasser, Cyberangriffe oder andere Gefahren beeinträchtigt werden. Doch wie wirken sich konkrete Szenarien auf die betriebseigenen Versorgungsanlagen aus und wie viele Einwohner können noch über welchen Zeitraum versorgt werden? Die Verwundbarkeit der Anlagen ist in Abhängigkeit der Szenarien und der Versorgungsstruktur sehr divers. Im vorliegenden Beitrag wird die Methodik der Bilanz-Struktur-Modelle zur Ermittlung der Vulnerabilität und des Schadensausmaßes vorgestellt und am Fallbeispiel erprobt. Im Ergebnis der betrachteten Szenarien wird das Schadensausmaß anhand der Anzahl der betroffenen Verbraucher sowie der verbleibenden Zeit bis zum Ausfall der Versorgung ermittelt. Auf der Grundlage der Simulationen lassen sich weitere Arbeitsschritte wie die Risikobewertung, Maßnahmen der Härtung der Wasserversorgung und Grundlagen für ein Krisenmanagement ableiten.

Abstract

Drinking water supplies can be affected by a blackout, flood, cyberattack or other hazards. But how do specific scenarios affect your own supply facilities and how many residents can still be supplied and for how long? The vulnerability of the plants is very diverse depending on scenarios and supply structure. In this paper, the methodology of balance structure models to determine vulnerability and extent of damage is presented and tested on a case study.

As a result of the scenarios considered, the extent of damage is determined based on the number of consumers affected and the remaining supply time.

Based on specific simulations, further steps such as risk assessment, planning of measures and concepts for crisis management can be derived and demonstrated.

4.1 Einleitung

Die Wasserversorgung ist einer Reihe potenzieller Gefährdungen ausgesetzt, wie z. B. Hochwässern, Trockenperioden, Cyberangriffen, Pandemien, Ausfall von Einzelanlagen oder einem Blackout [1]. Aus den potenziellen Gefahren können relevante Szenarien abgeleitet [1,2] und in einer Szenarioidentifikation [2] beschrieben werden. Doch wie wirken sich diese Szenarien auf die Systemkomponenten der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung aus? Kann durch den Ausfall von Anlagen oder Anlagenteilen die Trinkwasserversorgung nicht mehr sichergestellt werden und endet damit das Szenario in einer Krise oder Katastrophe?

Wasserversorgungsunternehmen (WVU) benötigen zur Beantwortung dieser und weiterer Fragestellungen ein Risiko- und Krisenmanagement. Der Water Safety Plan der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [3] sowie die Normen DIN EN 15975-1 [4] und DIN EN 15975-2 [5] beschreiben methodische Ansätze. Weiterführend veröffentlichte das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) zwei Fachinformationen zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung [2,6].

Die größten Defizite in der Gestaltung des Risikomanagements liegen im Bereich der Risikoanalyse [7]. Schlussfolgernd wird Handlungsbedarf bei der Entwicklung praktikabler Instrumente zur Umsetzung eines integrierten Risiko- und Krisenmanagementprozesses gesehen [7].

Die Vulnerabilitätsanalyse ist laut BBK [2] der umfangreichste Schritt in der Risikobetrachtung und basiert auf der Szenarioidentifikation. Mit der Vulnerabilitätsanalyse werden Expositionen, Funktionsanfälligkeiten und die Ersetzbarkeit von Systemkomponenten bestimmt. Nach der Vulnerabilitätsanalyse gemäß [2] wird das Schadensausmaß ermittelt. Zu diesem Arbeitsschritt gehört die Ermittlung der betroffenen Einwohner und der Dauer des Ereignisses und seiner Auswirkungen. Als Ergänzung der vorhandenen Instrumente [2,5] ist zu analysieren, ob Modellierungen auf Basis von Mengenbilanzen zu verbesserten Erkenntnissen beitragen.

4.2 Stand des Wissens und Zielstellung

4.2.1 Vulnerabilität, Risiko und Resilienz

Der Begriff der Vulnerabilität umfasst laut United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) [8] die physische, soziale, wirtschaftliche oder umweltbedingte Anfälligkeit eines Individuums, einer Gemeinschaft oder eines Systems gegenüber den Auswirkungen von Gefahren. Im Vergleich zu [8] beschreibt das BBK [2,9] die Vulnerabilität im Kontext der Risikoanalyse als Maß für die anzunehmende Schadensanfälligkeit eines Schutzgutes in Bezug auf ein bestimmtes Ereignis. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Vulnerabilität als Wirkung eines

Gefahrenereignisses auf die Anlagen zur Trinkwasserversorgung (Schutzgut) und eine daraus resultierende Versorgungsunterbrechung (Schadensanfälligkeit) definiert. Zur Bestimmung des Schadensausmaßes werden die durch die Versorgungsunterbrechung entstehenden bilanziellen Defizite und nicht versorgten Einwohner im zeitabhängigen Verlauf ermittelt.

Der Terminus des Risikos wird von Birkmann [10] als Produkt der Interaktion zwischen Gefahrenereignis und Vulnerabilität beschrieben. In [2-6,8] wird die Definition des Risikos nach [10] durch die Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefahrenereignisse ergänzt. Im Folgenden wird der Begriff des Risikos als Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit und des resultierenden Schadensausmaßes einer Gefährdung der Wasserversorgung definiert.

Die Resilienz ist laut UNDRR [8] die Fähigkeit einer Gesellschaft, einer Gemeinschaft oder eines Systems, den Gefahrenauswirkungen zu widerstehen, sie zu absorbieren, sich an sie anzupassen und sich von der Schädigung zu erholen. Zur Beurteilung der Resilienz werden von Bross [11] folgende Resilienzeigenschaften beschrieben: Anpassungsfähigkeit, Absorptionfähigkeit, Beständigkeit, Redundanz, Ressourceneffizienz, Robustheit, Schnelligkeit und Wiederherstellungsfähigkeit. In Bezug auf diese Arbeit wird unter Resilienz im engeren Sinne die Widerstandsfähigkeit des Wasserversorgungssystems gegenüber Gefahrenereignissen gesehen. Die Beurteilung der Widerstandsfähigkeit basiert im Wesentlichen auf der zeitabhängigen Beurteilung von Versorgungsausfällen unter Ausnutzung der vorhandenen Systemkapazitäten und -steuerungsmöglichkeiten.

4.2.2 Methoden der Vulnerabilitäts- und Resilienzbeurteilung

Zur Ermittlung der Resilienzeigenschaften werden ökologiebasierte, technikorientierte, gesellschaftsorientierte oder ökonomiebasierten Verfahren, z.T. auch kombiniert eingesetzt [11]. Zu den technikorientierten Verfahren zählen hydraulische Modellierungen, wie z. B. Rohrnetzmodelle [12-14], und graphentheoretische Verfahren, wie z. B. System Dynamics Modellierungen [15-18], oder das n-1-Prinzip beispielsweise nach DVGW W 399 [19] oder DVGW W 400-1 [20].

Die Risikoanalysen der Trinkwasserversorgung nach [2,5] sind gemäß der beschriebenen Definition technikorientierte Verfahren zur Ermittlung der Resilienzeigenschaften. So sind die Ermittlung der Vulnerabilität und des Schadensausmaßes als Bestandteile der Risikoanalyse im BBK-Leitfaden [2] enthalten. Das Vorgehen der Vulnerabilitätsanalyse nach [2] ist in folgende Schritte unterteilt:

- Festlegung der zu analysierenden Komponenten,
- Überprüfung der Exposition,

- Überprüfung der Funktionsanfälligkeit,
- Überprüfung der technischen Ersetzbarkeit,
- Überprüfung der organisatorischen Ersetzbarkeit.

Im Ergebnis wird jeder Anlagenkomponente eine Vulnerabilitätsklasse zwischen I (gering) bis V (hoch) zugewiesen. Mögliche Hilfsangebote, wie z. B. Einsatz der Feuerwehr oder des Technischen Hilfswerkes, sind laut BBK [2] in die Vulnerabilitätsanalyse nicht mit einzubeziehen.

Zur Ermittlung des Schadensausmaßes gemäß [2] wird in Abhängigkeit der betroffenen Einwohner und der Dauer des Ereignisses dem Szenario über eine Matrizie eine Schadensklasse zugewiesen. Im Vergleich zu [2] sind in der DIN EN 15975-2 [5] die Arbeitsschritte einer Vulnerabilitätsanalyse und der Ermittlung des Schadensausmaßes nur sehr allgemein durch eine Risikoabschätzung beschrieben.

Praktische Erfahrungen in der Umsetzung von Risikoanalysen der Trinkwasserversorgung sind et al. für die Städte Leipzig [21] und Dresden [22] beschrieben. Die Arbeitsschritte der Vulnerabilitätsanalyse und die Ermittlung des Schadensausmaßes nach [2] wurden durch Bilanz-Struktur-Modelle (BSM) ergänzt. Die Beschreibung der Methodik ist jedoch auf das grundsätzliche Verfahren begrenzt. Mit Hilfe der BSM wurden die betroffenen Einwohner und verbleibende Versorgungszeiten für die technischen Systeme ermittelt.

4.2.3 Zielstellung

In Ergänzung der vorhandenen Instrumente der Risikoanalyse der Trinkwasserversorgung [2,5] soll ein technikorientiertes Verfahren zur Ermittlung der Resilienzeigenschaften entwickelt werden. Gegenüber den beschriebenen Instrumenten der Literatur [11-20] sollen vor allem folgende Punkte im Fokus der Entwicklung liegen:

- Anwenderfreundlichkeit für den operativen Bereich;
- Vereinfachte Systemdarstellungen in Abhängigkeit des Gefahrenereignisses und -verlaufs unter Berücksichtigung der vorhandenen Systemkapazitäten wie die Kapazität von Wasserfassungen, Wasserwerken, Pumpwerken, Speichern, Leitungen sowie Ein- und Ausspeisepunkten;
- Ausweisung von Bilanzdefiziten und zeitabhängigen Versorgungsausfällen unter Beachtung von Kaskadeneffekten.

Die BSM beinhalten eine vereinfachte Systemdarstellung und weisen Bilanzdefizite sowie Versorgungsausfälle aus. In Anlehnung an [21,22] soll die Modellbezeichnung übernommen und die Methodik der BSM erarbeitet werden (Kap. 4.3).

4.3 Methodik der Bilanz-Struktur-Modelle

4.3.1 Mathematische Operatoren

BSM bilden wasserwirtschaftliche Bilanzen in Abhängigkeit der vorhandenen Systemkomponenten und Topologie ab. Das Grundprinzip der BSM unterliegt der mathematischen Beziehung einer Mengenbilanz in Abhängigkeit der zeitlichen Änderung (Gl. 4.1).

$$\frac{dS(t)}{dt} = \Sigma Q(t) = \Sigma Q_{zu}(t) - \Sigma Q_{ab}(t) \quad (4.1)$$

Der Minuend der Bilanz umfasst die Zuflussströme (ΣQ_{zu}), wie der Zufluss von Wassergewinnungsanlagen oder Einspeisepunkten. Der Subtrahend umfasst alle Abflussströme (ΣQ_{ab}), wie Trinkwasserverbraucher, Verluste und Ausspeisepunkte. Das Ergebnis der Bilanz wird als Differenzwert (ΣQ) ermittelt. Der Bilanzraum endet an der Systemgrenze des Versorgungsgebietes, die Zu- und Abflüsse stellen die Ströme über die Systemgrenzen dar.

Das Integral der Differenz aus Zu- und Abflüssen stellt somit die Änderung des Systemzustands über einen bestimmten Zeitraum dar. Zur Ermittlung der verbleibenden Versorgungszeit (t) sind vorhandene Speicherkapazitäten (S) zu berücksichtigen, wie z. B. Erd- oder Hochbehälter. Resultierend ist das Integral zur Änderung des Systemzustands in den Integralgrenzen vom vorhandenen Speichervolumen (S) bis zum Leerlaufen der Speicher (0) zu betrachten (Gl. 4.2).

$$\int_{S_0}^0 dS = \int_0^t (Q_{zu} - Q_{ab}) dt \quad (4.2)$$

Für stationäre Bedingungen (Q_{zu} und Q_{ab} = konstant) kann ausgehend von einem Ausgangsspeichervolumen S_0 die verbleibende Versorgungszeit (t) abgeleitet werden (Gl. 4.3.1).

$$t = \frac{S_0}{-(Q_{zu} - Q_{ab})} \quad (4.3.1)$$

Im Normalbetrieb der wasserwirtschaftlichen Anlagen sollte die im betrachteten Versorgungsgebiet (Bilanzraum) eingespeiste Trinkwassermenge (Zuflüsse) dem verbrauchten Trinkwasser inkl. Verlusten (Abflüssen) entsprechen (Gl. 4.3.2, Fall 1: $S > 0$; $Q_{zu} \approx Q_{ab}$). Auch für Systeme ohne Speicher wird für den Normalbetrieb ein minimales Speichervolumen zum

Erhalt der mathematischen Funktion angenommen. Die Versorgung kann im Fall des Normalbetriebs dauerhaft aufrechterhalten werden und es gilt:

$$\lim_{(Q_{zu}-Q_{ab}) \rightarrow 0} t = \frac{S_0}{-(Q_{zu}-Q_{ab})} = \infty \quad (4.3.2).$$

Kommt es zu einem Bilanzdefizit, dann ist der Verbrauch inkl. Verluste größer als die eingespeiste Trinkwassermenge. Die Versorgung kann bis zum Leerlaufen der Speicher aufrechterhalten werden (Gl. 4.3.3, Fall 2: $S > 0$; $Q_{zu} < Q_{ab}$) und es gilt:

$$t = \frac{S_0}{-(Q_{zu}-Q_{ab})} > 0 \quad (4.3.3)$$

Sind mehrere Speicher im System mit einem unterschiedlichen Druckniveau vorhanden, dann müssen vorhandene Kaskadeneffekte berücksichtigt werden. Die Versorgungszeit am Punkt n (t_n) ergibt sich aus der Summe der verbleibenden Versorgungszeiten der einzelnen aktiven Speicherkaskaden (Gl. 4.3.4, Abb.4.2)

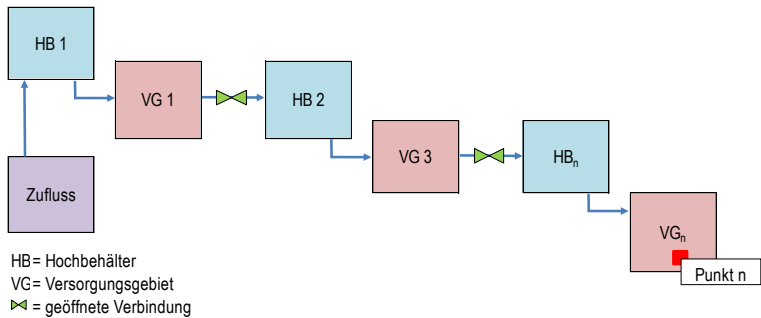


Abb. 4.2: Berücksichtigung von Kaskadeneffekten

$$t_n = \frac{S_1}{-(Q_{zu,1}-Q_{ab,1})} + \frac{S_2}{-(Q_{zu,2}-Q_{ab,2})} + \dots + \frac{S_n}{-(Q_{zu,n}-Q_{ab,n})} \quad (4.3.4)$$

Ein Sonderfall stellen die Systeme ohne Speichermöglichkeiten dar, wie z. B. Unterversorgungsgebiete nach einer Druckerhöhungsstation (DEST). In diesem Fall wird in den BSM ein sofortiges Ende der Versorgung mit dem Beginn des Bilanzdefizits angenommen (Gl. 4.3.5, Fall 3: $S = 0$; $Q_{zu} < Q_{ab}$) und es gilt:

$$t = \frac{S_0}{-(Q_{zu}-Q_{ab})} = 0 \quad (4.3.5).$$

Der theoretische Fall eines negativen Nenners der **Gl. 4.3.1 bis 4.3.5** (Fall 4: $Q_{zu} > Q_{ab}$) wird in den BSM nicht berücksichtigt. Bei Annahme eines vollständig gefüllten Speichers führen Überschüsse beim Zufluss zu einem Behälterüberlauf und werden somit mathematisch durch erhöhte Verluste auf der Verbrauchsseite ausgeglichen.

4.3.2 Modelltechnische Umsetzung

Der mathematische Ansatz wurde im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel umgesetzt. Die BSM beinhalten mehrere Systemkomponenten, diese entsprechen dem Systemaufbau des Trinkwasserversorgungsgebietes. Die Anordnung der Systemkomponenten richtet sich nach der Topologie, berücksichtigt Fließrichtungen im System und technologische Zusammenhänge, wie z. B. Druckzonen.

Zur Trinkwassereinspeisung (Zuflüsse) existieren Wasserfassungen mit dazugehörigen Wasseraufbereitungsanlagen und Einspeisepunkten. Im Trinkwassernetz befinden sich Trinkwasserspeicher, Zwischenpumpwerke und DEST. Der Trinkwasserverbrauch (Abflüsse) entsteht durch Verbrauchsgruppen und Ausspeisepunkte. Die Verbrauchsgruppen und Ausspeisepunkte schließen auch die Netzverluste ein.

Die Parametrierung erfolgt über globale Einstellmöglichkeiten für einen szenarioabhängigen Verbrauchsfaktor (f_{dx}) und die Laufzeit des betrachteten Szenarios. Der Verbrauchsfaktor wirkt über die gesamte Szenariozeit konstant und bildet Mehr- oder Mindermengen des Trinkwasserverbrauchs ab. An den Komponenten der Trinkwassereinspeisung müssen vorhandene Kapazitäten und deren Nutzbarkeit ausgewiesen werden. Die vorhandenen Kapazitäten sind technisch oder durch Rahmenvorgaben begrenzt. Die Rahmenvorgaben können z. B. durch eine wasserrechtliche Erlaubnis oder durch die Entwicklung der Grundwasserneubildung limitierend wirken. Bei den Trinkwasserspeichern sind der anzunehmende Füllgrad und das nutzbare Volumen vorzugeben. Für Pumpwerke und DEST sind die technischen Kapazitäten für die möglichen Fördermengen zu erfassen. Bei den Verbrauchereinheiten sind die versorgten Einwohner und der Trinkwasserverbrauch zu ermitteln. Die Einstellung des szenarioabhängigen Verbrauchsfaktors jeder Verbrauchseinheit kann global oder differenziert vorgegeben werden. Insbesondere bei gewerblichen oder industriellen Abnehmern können individuelle Verbrauchsfaktoren notwendig werden. Für die Ausspeisepunkte sind die vorhandenen Kapazitäten zu ermitteln. Die **Abb. 4.3** zeigt die Systemkomponenten inkl. vorhandener Parametrierungselemente.

Abb. 4.3: Systemkomponenten der BSM

Das Diagramm zeigt ein Wassernetz mit folgenden Komponenten:

- Wasserwerke:**
 - WF Brunnen 1 (lila)
 - WF Brunnen 2 (lila)
 - G-1 Wasserwerk (lila)
 - Ausfall WW (rot)
- Speicher (HB):**
 - S-1 HB A (hellblau): Bilanz: -204,9 m³/d, Zeit bis zum Leerlaufen 0,7 d
 - S-2 HB B (hellblau): Bilanz: -673,6 m³/d, Zeit bis zum Leerlaufen 0,5 d
 - S-3 HB C (hellblau): Bilanz: -669,5 m³/d, Zeit bis zum Leerlaufen 2,9 d
- Abwasserpunkte (VG):**
 - VG-1 Stadt A, Zone A (rosa): Bilanz: -21,6 m³/d
 - VG-1 Stadt A, Zone B (rosa): Bilanz: -200,6 m³/d
 - VG-1 Stadt A, Zone C (rosa): Bilanz: -673,6 m³/d
 - VG-1 Stadt C (rosa): Bilanz: -669,5 m³/d
 - VG-2 Stadt B (rot): Bilanz: -4,3 m³/d
- Einleitspässe (E):**
 - E-1 Einspeisung A (grün)
 - E-2 Einspeisung B (grün)
 - E-3 Einspeisung C (grün)
- Zusätzliche Komponenten:**
 - DMV (blau)
 - F-1 DEST A (blau)
 - ZU (blau)

Die Bilanzwerte sind in m³/d angegeben. Die Zeit bis zum Leerlaufen ist in Tagen (d) angegeben. Die Diagrammkomponenten sind farblich markiert: lila für Wasserwerke, hellblau für Speicher, rosa für Abwasserpunkte, grün für Einleitspässe, rot für Ausfall WW, und blau für DMV, F-1 DEST A, ZU.

Neben der Visualisierung und der Gesamtbilanz existieren Auswertetabellen und Versorgungsdiagramme. Die Auswertetabellen beinhalten die Anzahl der betroffenen Einwohner, sensible Verbraucher, die verbleibende Versorgungszeit und eine Abschätzung des benötigten Notwasserbedarfs.

73

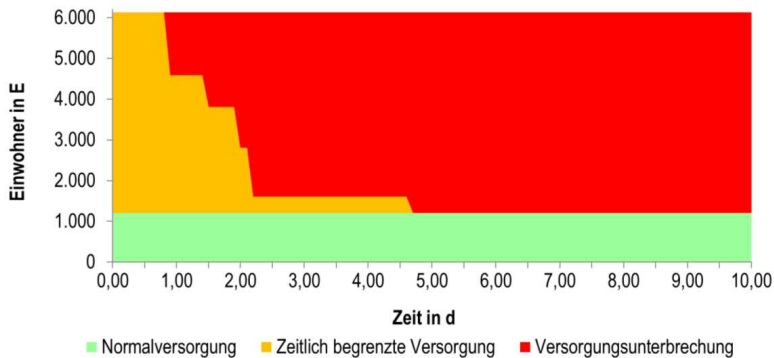


Abb. 4.5: Versorgungsdiagramm Musterszenario

Die programmtechnische Umsetzung ist in einem Mustermmodell enthalten, welches über den im Kapitel „Veröffentlichungen im Rahmen der Dissertation“ angegebenen Link zum Download zur Verfügung steht. Das Mustermmodell beinhaltet die Verknüpfungen der Systemkomponenten, Laufzeitablen und Makros für die Steuerelemente, wie z. B. Ein- und Ausschalter der Anlagen.

4.3.3 Eingangsparametrierung

Nach Erstellung der BSM sind die mittleren Trinkwasserverbrauchsmengen (Q_{dm}) der Verbrauchs- und Ausspeiseeinheiten zu erfassen oder zu verknüpfen. Auf Basis des gewählten Referenzjahres werden die BSM kalibriert, dazu sind ein Verbrauchsfaktor (f_{dx}) von 1,0 und eine Laufzeit von 365 d zu wählen. Die Kalibrierung erfolgt durch einen Bilanzabgleich zwischen den System- und Realwerten. Im System werden alle Zuflüsse und Abflüsse einzeln erfasst. Der Abgleich erfolgt anschließend an der Gesamtbilanz.

Zur Ermittlung der notwendigen Systemeinstellungen sind Szenarien zur Betriebsbeeinträchtigung zu identifizieren. Dies erfolgt auf Basis der Gefahrenanalyse nach [1,2]. Die Wirkung der Szenarien auf die Systemkomponenten kann über Vulnerabilitätsanalysen nach [2] ermittelt werden. Alternativ zur Vulnerabilitätsanalyse nach [2] können die Wirkungen der Szenarien auf die Systemkomponenten direkt in die BSM eingetragen werden. In Abhängigkeit der Szenarien werden anschließend die Verbrauchsfaktoren, Laufzeiten und die Nutzbarkeiten der Wasserfassungen ermittelt. Die Eingangsparametrierung für die szenarioabhängigen Verbrauchsfaktoren wird für folgende Szenarien anschließend erläutert:

a) Ausfall von Einzelanlagen als systemrelevante Komponente, Rohrbrüche und Gefahrstoffeinträge

b) Trockenperioden

c) Stromausfall

c1) Ansatz Ersatzwasserbedarf

c2) Ansatz Notwasserbedarf

Bei Szenarien a) zum Ausfall von Einzelanlagen als systemrelevante Komponente, für große Rohrbrüche oder bei Gefahrstoffeinträgen ist von keiner geänderten Wassernutzung auszugehen und folglich mindestens mit Q_{dm} bzw. $f_{dm} = 1,0$ zu rechnen. Unter dem Ausfall einer systemrelevanten Komponente wird in diesem Beitrag eine Störung von gesamten Anlagen oder Anlagenteilen des Wasserversorgungssystems verstanden so z. B. der Ausfall einer Wasserfassung, eines Wasserwerks, einer gesamten Pumpstation, eines Trinkwasserspeichers oder von Einspeisepunkten. Nicht betrachtet wurden hingegen Betriebsstörungen wie z. B. der Ausfall von einzelnen Aggregaten.

Trockenperioden b) führen zu höheren Wasserverbräuchen, dies sollte mit höheren szenarioabhängigen Verbrauchsfaktoren Berücksichtigung finden. Dazu kann der maximale Trinkwasserverbrauch einer Wochenperiode ($f_{d,7}$; $Q_{d,7}$) genutzt werden (Gl. 4.4 und 4.5). Bei Trockenperioden können auch die Nutzbarkeiten der Wasserfassungen reduziert sein. Beeinträchtigungen von Quelfassungen werden von [1] beschrieben.

$$Q_{d,7} = \frac{\text{max. Wasserverbrauch einer 7 Tagesperiode}}{7 d} \quad (4.4)$$

$$f_{d,7} = \frac{Q_{d,7}}{Q_{dm}} \quad (4.5)$$

Im Falle c) eines langandauernden und flächendeckenden Stromausfalls kann von einem reduzierten Trinkwasserverbrauch ($f_{d,EW}$; $Q_{d,EW}$) ausgegangen werden. Im internationalen Vergleich lassen sich sehr heterogene Mengenansätze für den Wasserbedarf in Not- und Krisenfällen recherchieren [23,24]. Aufgrund der Unsicherheiten in den Wasserverbrauchswerten scheint die Erstellung einer Wasserbedarfsanalyse für Not- und Krisenfälle keine belastbaren Daten zu liefern.

Auf nationaler Ebene wird c1) der leitungsgebundene Ersatzwasserbedarf (q_{EW}) mit 50 l/(E*d) angegeben [25,26]. Der angegebene Pro-Kopf-Verbrauch wurde auch zur näherungsweisen Ermittlung des Gesamtwasserbedarfs in den BSM genutzt, inkl. des Industrie- und Gewerbebedarfs (Gl. 4.6 und 4.7).

$$Q_{d,EW} = Q_{dm} \cdot f_{d,EW} \quad (4.6)$$

$$f_{d,EW} = \frac{q_{EW} \cdot E}{Q_{dm,Haushalt \text{ und } Kleingewerbe}} \quad (4.7)$$

Analog zur Ermittlung des Ersatzwasserbedarfs erfolgte c2) die näherungsweise Ermittlung des Notwasserbedarfs ($Q_{d,NW}$; $f_{d,NW}$) mit den **Gl. 4.8 und 4.9**. Als Notwassermenge (q_{NW}) wurde mit 15 l/(E·d) gerechnet [25-27].

$$Q_{d,NW} = Q_{dm} \cdot f_{d,NW} \quad (4.8)$$

$$f_{d,NW} = \frac{q_{NW} \cdot E}{Q_{d,Haushalt \text{ und } Kleingewerbe}} \quad (4.9)$$

Die Begriffsdefinitionen des Ersatz- und Notwasserbedarfs sind unter [25] nachzulesen.

Die Anwendung der Methodik der BSM wird im Kap. 4 am Fallbeispiel dargestellt.

4.4 Fallbeispiel

4.4.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die SOWAG versorgt ca. 75.000 Menschen mit Trinkwasser im Südosten von Sachsen - Deutschland. Die Versorgungsanlagen verteilen sich auf 21 Versorgungsgebiete mit 17 Wasserwerken, 40 Pumpwerken, 62 Trinkwasserspeichern, 63 Ein- und Ausspeisepunkten und 1.035 km Trinkwasserversorgungsleitungen. Inklusive vorhandener Aus- und Einspeisepunkte umfasst das Untersuchungsgebiet somit 182 Systemkomponenten ohne Verbrauchseinheiten. Weitere Informationen und die Lage des Untersuchungsgebietes werden von Heumer et al. [1] beschrieben.

4.4.2 Erstellung der BSM mit gewählten Szenarien

Die 21 Versorgungsgebiete der SOWAG wurden in 19 BSM abgebildet. Die Bilanzräume der Modelle variieren zwischen 20.470 Einwohnern mit 52 Systemkomponenten und 10 Einwohnern mit 3 Systemkomponenten. Die Auswahl der Bilanzräume entspricht der Abgrenzung der Versorgungsgebiete im Normalbetrieb, bestehende Verbundleitungen wurden als Ein- und Ausspeisepunkte aufgenommen.

Als Referenzjahr wurde das Jahr 2018 ausgewählt. Aufgrund der langanhaltenden Trockenheit in 2018 lag der Trinkwasserverbrauch sechs Prozent über dem Jahresdurchschnitt der Jahre 2013 – 2022. Angesichts des fortschreitenden Klimawandels wird die Auswahl des Referenzjahres 2018 als realistische Lastannahme für die nächsten Jahre eingeschätzt.

Zur Kalibrierung der Modelle wurde ein Referenzszenario mit dem Normalverbrauch aus dem Jahr 2018 gewählt.

In Anlehnung an [1] wurden aus den relevanten Gefahren folgende Szenarien für die untersuchten Versorgungsgebiete identifiziert:

- Gefahrstoffeintrag in eine Wasserfassung, Laufzeit 30 d, mittlerer Wasserverbrauch,
- langanhaltende Trockenperiode im gesamten Versorgungsgebiet, Laufzeit 110 d, erhöhter Wasserverbrauch,
- Rohrbruch auf einer Hauptversorgungsleitung, Laufzeit 2 d, mittlerer Wasserverbrauch,
- Ausfall einer systemrelevanten Komponente, Laufzeit 7 d, mittlerer Wasserverbrauch und
- flächendeckender Stromausfall, Laufzeit 7 d, Ersatzwasserverbrauch.

Zur Modellierung der Szenarien Gefahrstoffeintrag, Rohrbruch auf einer Hauptversorgungsleitung und Ausfall einer systemrelevanten Komponente wurde mit einem globalen Verbrauchsfaktor (f_{dm}) von 1,0 und damit mit einem durchschnittlichen Verbrauch (Q_{dm}) gerechnet.

Für das Szenario einer langanhaltenden Trockenperiode wurde von einem Rückgang der oberflächennahen Wasserfassungen auf 70 % [28] ausgegangen und mit einem Verbrauchsfaktor ($f_{d,7}$) von 1,52 gerechnet [28]. Die erhöhten Verbrauchsmengen ($Q_{d,7}$) wurden über **Gl. 4.4** in den BSM berechnet.

Für den flächendeckenden Stromausfall wurde der Ersatzwasserfaktor ($f_{d,EW}$) mit 0,45 nach **Gl. 4.7** ermittelt. Der reduzierte Trinkwasserverbrauch ($Q_{d,EW}$) ergibt sich in den BSM nach **Gl. 4.6**.

Die Ermittlung des Notwasserbedarfs ($Q_{d,NW}$) erfolgte über **Gl. 4.8 und 4.9**. Der berechnete Notwasserfaktor ($f_{d,NW}$) beträgt 0,14.

Die Wirkung der Szenarien auf die Trinkwasserversorgungssysteme wurde anschließend in Vulnerabilitätsanalysen nach [2] für jede Systemkomponente ermittelt. Dazu wurden für die 182 technischen Systemkomponenten 854 Einzelanalysen durchgeführt.

Festgestellte Beeinträchtigungen aus der Vulnerabilitätsanalyse wie z. B. der Ausfall eines Wasserwerkes oder eine reduzierte Bereitstellungskapazität wurden als Systemeinstellung in die BSM übertragen.

4.4.3 Ergebnisse der Modellierungen

Insgesamt wurden 90 Simulationen durchgeführt, die Ergebnisse der Modellierungen sind in **Abb. 4.6** als Versorgungsdiagramme mit einer Laufzeit von 10 d dargestellt. Jede Zelle in **Abb. 4.6** stellt das Simulationsergebnis eines Versorgungsgebiets dar.

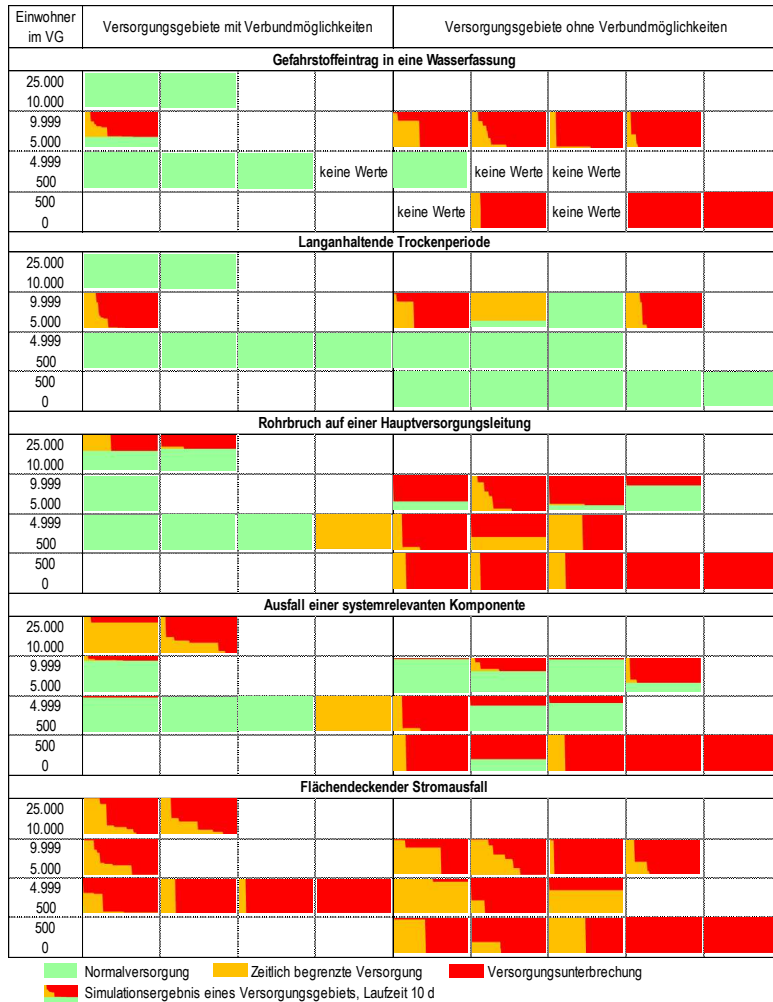


Abb. 4.6: Simulationsergebnisse der BSM, geclustert nach Verbundstrukturen,
Simulationslaufzeit 10 d

Der Gefahrstoffeintrag in eine Wasserfassung entspricht in den vorhandenen BSM dem jeweiligen Ausfall eines Wasserwerks. Fünf der betrachteten Versorgungsgebiete werden durch benachbarte Wasserversorgungsunternehmen versorgt, aus diesem Grund wurden die Szenarien zum Gefahrstoffeintrag in eine Wasserfassung dort nicht betrachtet. Versorgungsgebiete mit Verbundmöglichkeiten weisen eine höhere Resilienz aus. Kann über

den Verbund der Normalverbrauch ausgeglichen werden, kommt es folglich zu keinen Versorgungsausfällen. In Versorgungsgebieten mit reduzierten oder keinen Verbundmöglichkeiten endet die Versorgung nach dem Leerlaufen der vorhandenen Speicher. Die Szenarien der langanhaltenden Trockenperiode zeigen für einzelne Versorgungsgebiete Defizite auf. Die Simulationsergebnisse entsprechen der praktischen Erfahrung aus dem Trockenjahr 2018 [28]. In Hinblick auf die Prognosen zur Entwicklung der Grundwasserneubildung laut [1] ist künftig mit einer Zunahme der defizitären Gebiete zu rechnen.

Die Berechnungsergebnisse für die Szenarien der Rohrbrüche auf Hauptversorgungsleitungen zeigen zum Teil sofortige Versorgungsunterbrechungen. Durch zweiseitige Einspeisungen und Speichersysteme lässt sich die Trinkwasserversorgung aufrechterhalten. Aufgrund der geringen Laufzeit von maximal zwei Tagen sind in der Vergangenheit keine Not- und Krisenfälle eingetreten [28]. Die schnelle Störungsbeseitigung und damit geringe Szenariolaufzeit kann nur durch eine Havariematerialvorhaltung aufrechterhalten werden.

Die Szenarien zum Ausfall einer systemrelevanten Komponente wurden für Einspeisungen, wichtige Pumpwerke und Hochbehälter durchgeführt. Anstelle der Betrachtung eines Gefahrstoffeintrags könnte auch der Ausfall eines Wasserwerks in diesem Szenario betrachtet werden. Die Ergebnisse zeigen Versorgungsausfälle in Teil- oder gesamten Versorgungsgebieten auf. Auf der Grundlage der Simulationsergebnisse lassen sich operative und technische Ersatzmaßnahmen zur Stärkung der Resilienz ableiten.

Das kritischste Szenario ist im untersuchten Fallbeispiel der flächendeckende Stromausfall. Für alle Versorgungsgebiete entstehen beim Blackout bilanzielle Defizite und die Wasserversorgung ist zeitlich begrenzt. Aufgrund der Flächenwirksamkeit des Szenarios sind auch die Verbundmöglichkeiten und ein bilanzieller Ausgleich nicht gegeben.

Die Berechnung der je Szenario verbleibenden Versorgungszeiten und der ermittelte Notwasserbedarf können im Rahmen des Krisenmanagements unterstützend wirken. Ableitend aus dem zeitlich definierten Ende der leitungsgebundenen Wasserversorgung ergeben sich vorhandene Reaktionszeiten für die Einleitung von Gegenmaßnahmen oder Bereitstellung einer Notwasserversorgung. Aus dem Notwasserbedarf ergibt sich die notwendige Kapazität der leitungsungebundenen Notwasserbereitstellung.

4.5 Diskussion und Ausblick

Die BSM stellen eine aussagekräftige Ergänzung der vorhandenen Instrumente zur Vulnerabilitätsermittlung dar. Das Verfahren der BSM ersetzt komplexe hydraulische Modelle durch eine graphenbasierte semi-dynamische Bilanzierung.

Durch die vereinfachte Darstellung ist eine einfache Handhabung der Modelle in einem Tabellenkalkulationsprogramm möglich. Mit den BSM kann die Vulnerabilität betrachteter Szenarien Topologie abhängig dargestellt werden. Die Simulation der verbleibenden Versorgungszeit betroffener Einwohner sowie der sensiblen Verbraucher ermöglicht eine Prognose zum zeitabhängigen Schadensausmaß. Die Berechnungsergebnisse eignen sich nicht zur exakten Wasserbedarfsermittlung und hydraulischen Simulation. Aufgrund vorhandener Unsicherheiten des Ersatz- und Notwasserbedarfs [23-27] kann die Systemwirkung und die Ermittlung des Notwasserbedarfs nur näherungsweise ermittelt werden. Die semi-dynamischen Bilanzierungen beschränken sich auf die Berücksichtigung von Pumpwerken und Kaskadeneffekten der Behälter.

In Auswertung des Fallbeispiels zeigt sich erwartungsgemäß die kritischste Betroffenheit im Szenario des flächendeckenden Stromausfalls. Aber auch der Ausfall von systemrelevanten Komponenten kann zu massiven Versorgungsunterbrechungen führen. Die Ursache des Ausfalls der systemrelevanten Komponenten ist im Hinblick auf die Systemwirkung vorerst unabhängig, beeinflusst aber die erforderliche Zeit bis zur Wiederherstellung des Normalbetriebs. Durch Verschnitt von erwarteter Ausfallzeit und verbleibender Versorgungszeit lassen sich die Szenarien entsprechend weiter untersetzen. Aufgrund der zuvor beschriebenen Erkenntnisse wird empfohlen, Szenarien zum Ausfall einer systemrelevanten Komponente und flächenwirksame Ereignisse, wie z. B. den flächendeckenden Stromausfall, vorrangig zu untersuchen.

Ein besonderes Szenario stellt die langanhaltende Trockenperiode dar. Im Fallbeispiel wird die Trinkwasserversorgung unter den derzeit vorliegenden Bedingungen in vereinzelt Versorgungsgebieten beeinträchtigt. Dabei entstehen defizitäre Gebiete, bei denen der Trinkwasserverbrauch die gewonnene Wassermenge übersteigt. Ein Ausgleich des Defizits ist im begrenzten Maße innerhalb des Versorgungsgebiets durch Speicher oder durch eine externe Zusp eisung aus einem Verbund möglich. Unter Beachtung der Klimaprojektionen [1] ist künftig mit einer Zunahme der defizitären Gebiete im Versorgungsbereich der SOWAG zu rechnen.

Neben der Vulnerabilitätsermittlung können perspektivisch mit Hilfe der BSM Maßnahmen zur Härtung der Wasserversorgung verglichen und geplant werden. Durch den Vergleich mehrerer

Möglichkeiten lassen sich operative und technische Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz ableiten. Die größten Unsicherheitsfaktoren in der Vulnerabilitätsermittlung und in der Planung der Maßnahmen zur Härtung der Wasserversorgung mit Hilfe der BSM resultieren aus den heterogenen Angaben zum Ersatz- und Notwasserbedarf [23-27], hier bedarf es weitergehender Untersuchungen.

4.6 Literatur

- [1] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Sicherheit der Wasserversorgung – Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. *gwf-Wasser/Abwasser* 03/2023, S. 63-75. doi:10.17560/gwfw.v164i3.2642.
- [2] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1: Risikoanalyse. Jan. 2016. Hrsg. BBK, Bonn.
- [3] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. Stand: 2022, Hrsg. WHO, ISBN 9789240045064.
- [4] DIN EN 15975-1. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement. Deutsche Fassung, Stand 03/2016. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [5] DIN EN 15975-2. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement. Deutsche Fassung, Stand 12/2013. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [6] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung. *BBK Fachinformation Praxis im Bevölkerungsschutz*. Ausgabe 06/2019, Hrsg. BBK, Band 15, Bonn.
- [7] Bross, L.; Wienand, I.; Krause, S. Batten Down the Hatches – Assessing the Status of Emergency Preparedness Planning in the German Water Supply Sector with Statistical and Expert-Based Weighting. *Sustainability* 2020, 12, 7177. doi:10.3390/su12177177.
- [8] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. United Nations General Assembly A/71/644, Stand: 12/2016, Hrsg. UNDRR, Genf.
- [9] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). *BBK-Glossar*. https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/glossar_node.html (aufgerufen am 30.12.2022).
- [10] Birkmann, J. Global Environmental Change, Natural Hazards, Vulnerability and Disaster Resilience: Necessity of a Widening of Perspectives in Spatial Planning. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning* 2008, 66(1), 5–22. doi:10.1007/BF03184043.
- [11] Broß, L. Wasserversorgung in Notsituationen – Verfahren zur Beurteilung der Resilienz von Wasserversorgungssystemen unter Berücksichtigung der Ersatz- und Notwasserversorgung, 2020, Mitteilungen Institut für Wasserwesen Nr. 133, Hrsg. Universität der Bundeswehr München, ISBN 9783943297514.
- [12] Klingel, P. *Rohrnetzanalyse – Modellierung von Wasserverteilungssystemen*. 2018, Springer Vieweg, Wiesbaden. doi:10.1007/978-3-658-21270-4_9.

- [13] Mayr, E.; Lukas A.; Möderl, M.; Rauch, W.; Perfler, R. Integrales Risikomanagement für die Trinkwasserversorgung in Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 2011, 63, 82–86. doi:10.1007/s00506-011-0290-x.
- [14] Zhuang, B.; Lansey, K.; Kang, D. Resilience/Availability Analysis of Municipal Water Distribution System Incorporating Adaptive Pump Operation. Journal of Hydraulic Engineering 2013, 139(5), 527–537. doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000676.
- [15] Bross, L.; Krause, S. Will There Be Enough Water? A System Dynamics Model to Investigate the Effective Use of Limited Resources for Emergency Water Supply. Systems 2021, 9, 2. doi:10.3390/systems9010002.
- [16] Daniel, D.; Prawira, J.; Al Djono, T.P.; Subandriyo, S.; Rezagama, A.; Purwanto, A. A System Dynamics Model of the Community-Based Rural Drinking Water Supply Program (PAMSIMAS) in Indonesia. Water 2021, 13, 507. doi:10.3390/w13040507.
- [17] Zarghami, M.; Akbariyeh, S. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. Resources, Conservation and Recycling 2012, 60, 99–106. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.008.
- [18] Phan, T.D.; Smart, J.C.R.; Sahin, O.; Capon, S.J.; Hadwen, W.L. Assessment of the vulnerability of a coastal freshwater system to climatic and non-climatic changes: A system dynamics approach. Journal of Cleaner Production 2018, 183, 940–955. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.169.
- [19] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW W 399 Arbeitsblatt, Ungeplante Versorgungsunterbrechung, Stand 09/2020, Bonn: Hrsg. DVGW.
- [20] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW W 400-1 Arbeitsblatt, Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWW). Stand 10/2020, Bonn: Hrsg. DVGW.
- [21] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig. Sonderdruck gwf-Wasser/Abwasser 01/2020, S. 1–5.
- [22] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung – Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig. BBK Bevölkerungsschutz 3/2018, S. 12–17.
- [23] World Health Organization (WHO); Water, Engineering and Development Centre (WEDC). Technical notes on drinking water, sanitation and hygiene in emergencies. Second edition: Sept. 2013, ISBN 9781843801528.
- [24] Bross, L.; Krause, S.; Wannenitz, M.; Stock, E.; Sandholz, S.; Wienand, I. Insecure Security: Emergency Water Supply and Minimum Standards in Countries with a High Supply Reliability. Water 2019, 11, 732. doi:10.3390/w11040732.
- [25] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Sicherheit der Wasserversorgung – Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten aus Sicht der Wasserversorgung. gwf-Wasser/Abwasser 11/2022, S. 73–82, doi:10.17560/gwfwa.v163i11.2624.

- [26] Konzeption Zivile Verteidigung (KZV). Aug. 2016. Hrsg. Bundesministerium des Innern, Berlin.
- [27] Erste Wassersicherstellungsverordnung vom 31. März 1970 (BGBl. I S. 357).
- [28] Süd-Oberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH (SOWAG). Störfalldokumentation der Trinkwasserversorgung durch die SOWAG der Jahre 2009–2022. Hrsg. SOWAG mbH, Zittau.

5 Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen

Dimensioning of an intermediate pumping station considering emergency and crisis situation

Felix Heumer, Ina Wienand, Thomas Grischek, Jens Tränckner

gwf-Wasser/Abwasser 12-2023, S. 63–72. doi.org/10.17560/gwfwa.v164i12.2699

Eingereicht am: 04.09.2023

Begutachtet im Peer-Review-Verfahren: 24.10.2023

Keywords: Risikoanalyse, Risikomaßnahmen, Härtung der Wasserversorgung, Verbundsystem, Zwischenpumpwerk

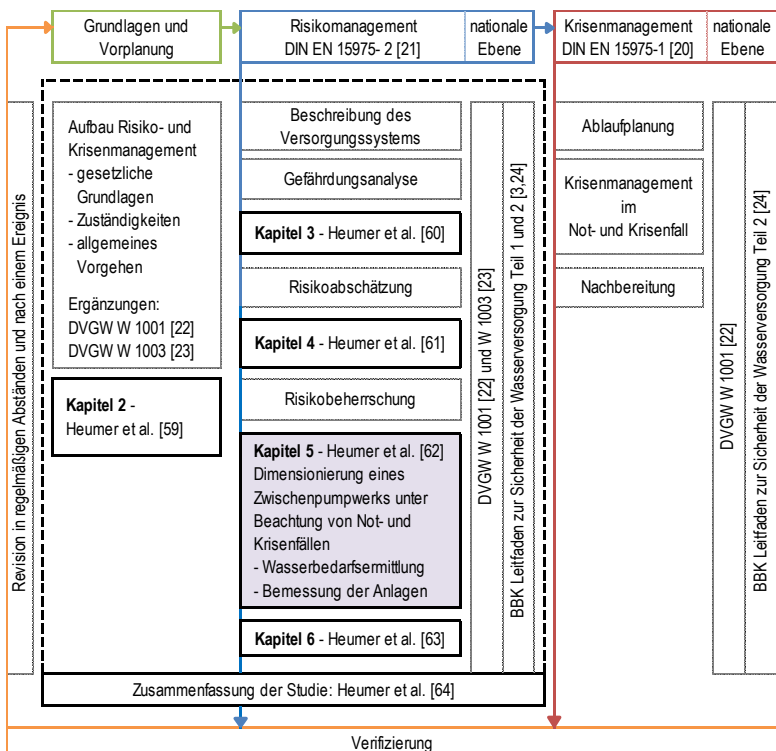


Abb. 5.1: Einordnung des Kapitels 5 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN EN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)

Zusammenfassung

Zur Sicherstellung der Wasserversorgung, insbesondere in Not- und Krisenfällen, ist ein Ausbau der Verbundmöglichkeiten von Wasserversorgungssystemen sinnvoll. Die Bemessung der technischen Anlagen unterliegt anderen Systembedingungen gegenüber dem Normalbetrieb. So können die erforderlichen Fördermengen deutlich abweichen. Der Artikel beschreibt die Dimensionierung eines Zwischenpumpwerkes unter Beachtung des Ausbaus von Verbundmöglichkeiten zur Härtung der öffentlichen Wasserversorgung.

Abstract

To ensure water supply, especially in emergency and crisis situations, it is useful to expand the interconnection capabilities of water supply systems. The dimensioning of technical systems is subject to different system conditions compared to normal operation. Thus, the required pumping rates may differ significantly. The article describes the dimensioning of an intermediate pumping station taking into account the expansion of interconnection options.

5.1 Einleitung

Auf der Grundlage von Risikoanalysen werden potenzielle Gefahren ermittelt [1,2], Szenarien abgeleitet [2,3] und über eine Abschätzung der Exposition die Vulnerabilität der Wasserversorgungsanlagen festgestellt [1,2]. Im anschließenden Risikovergleich nach [2] zeigt sich das größte Schadensausmaß erfahrungsgemäß bei flächenwirksamen Ereignissen, wie z. B. einem Blackout [3-5]. Aber auch der Ausfall von systemrelevanten Komponenten kann zu signifikanten Beeinträchtigungen der Wasserversorgung führen [3-5]. Demgegenüber ergeben sich höhere Resilienzen z. B. bei einem Verbund von Versorgungssystemen oder durch Notstromabsicherung der Anlagen [3]. Neben der Errichtung von Verbundleitungen und der Beschaffung von Notstromaggregaten beschreiben Broß et al. [6] in der Fachinformation „Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 2: Notfallvorsorgeplanung“ weitere Maßnahmen zur Härtung der öffentlichen Wasserversorgung.

Die potenziellen technischen Lösungen sind bekannt. Doch welche Maßnahmen zu einer effektiven Steigerung der Resilienz der öffentlichen Trinkwasserversorgung beitragen und auf welcher Grundlage Anlagen unter Beachtung der Not- und Krisenvorsorge dimensioniert werden, dies ist im Ergebnis einer Risikoanalyse abzuleiten. Die Risikoanalyse selbst sowie die Umsetzung von vorbeugenden Maßnahmen sind dabei Teile eines ganzheitlichen Risiko- und Krisenmanagements [7-9] (**Abb. 5.1**). Darunter gliedert sich der Inhalt des vorliegenden Artikels in die Risikobeherrschung (**Abb. 5.1**) als Bestandteil des Risikomanagements ein.

Im nachfolgenden Beitrag werden vorhandene Grundlagen der Risikoanalyse analysiert und unter Nutzung von Bilanz-Struktur-Modellen (BSM) nach [3] Maßnahmen zur Dimensionierung von Verbundsystemen am Fallbeispiel erprobt. Dabei beschränkt sich die Betrachtung im Fallbeispiel auf die Dimensionierung eines Pumpwerkes in einem bestehenden Verbundsystem.

5.2 Stand des Wissens und Zielstellung

5.2.1 Begriffsdefinitionen

In diesem Beitrag richten sich die Begriffsdefinitionen für den Normalbetrieb nach DIN 2000 [12] sowie für die Ersatz- und Notwasserversorgung nach DIN 2001-3 [13]. Hierbei meint der Begriff Normalbetrieb sämtliche Betriebsbedingungen und -prozesse, einschließlich Störungen, in der Wasserversorgung, die durch die vom Wasserversorger gewählten betriebsgewöhnlichen Mittel oder Organisationsstrukturen beherrschbar sind.

Kommt es zu einer qualitativen oder quantitativen Beeinträchtigung der Wasserversorgung im Normalbetrieb, dann kann eine zeitlich begrenzte Ersatzwasserversorgung, unter Einhaltung der Anforderungen der TrinkwV, notwendig werden.

Ist auch eine Ersatzwasserversorgung nicht mehr möglich, so verbleibt nur die Möglichkeit den lebensnotwendigen Bedarf durch eine Notwasserversorgung, mit reduzierten Qualitätsanforderungen, zu decken.

Die Definitionen des Risikos und der Resilienz richten sich nach DVGW W 1003 [11]. Die Begriffsbestimmungen der Vulnerabilität und der systemrelevanten Komponente wurden von Heumer et al. [3] übernommen.

Das Risiko wird als Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit und des resultierenden Schadensausmaßes einer Gefährdung der Wasserversorgung [11] definiert. Als Resilienz wird die Widerstandsfähigkeit des Wasserversorgungssystems gegenüber Gefahrenereignissen gesehen [11].

Die allgemeine Definition der Vulnerabilität aus dem Glossar des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) [14] wurde durch die Konkretisierung des Schutzgutes als „Anlagen der Trinkwasserversorgung“ genauer definiert. Somit meint der Begriff der Vulnerabilität in diesem Beitrag die Wirkung eines Gefahrenereignisses auf die Anlagen zur Trinkwasserversorgung (Schutzgut) und deren Schadensanfälligkeit [3].

In Differenzierung zum DVGW W 1003 [11] ist der Ausfall einer systemrelevanten Komponente in Bezug auf Not- und Krisenfälle zu betrachten. So beschreibt [3] die Definition wie folgt: „Eine Störung von gesamten Anlagen oder Anlagenteilen des Wasserversorgungssystems so z. B. der Ausfall einer Wasserfassung, eines Wasserwerks, einer gesamten Pumpstation, eines Trinkwasserspeichers oder von Einspeisepunkten. Nicht betrachtet wurden hingegen Betriebsstörungen wie z. B. der Ausfall von einzelnen Aggregaten“.

Die Definitionen für den Not-, Krisen-, Katastrophen- oder Verteidigungsfall richten sich nach dem BBK- Glossar [14]. Nachfolgend wird der Not-, Krisen-, Katastrophen- oder Verteidigungsfall für einen verbesserten Lesefluss als Not- und Krisenfall bezeichnet.

5.2.2 Rechtliche Grundlagen

Die Aufgabenträger der öffentlichen Wasserversorgung sind für den Normalbetrieb ihrer Anlagen verantwortlich [2,6,15]. Dabei muss die Planung, der Bau und der Betrieb der Trinkwasseranlagen nach § 50 Abs. 4 WHG [16] und nach § 17 Abs. 1 TrinkwV [17] den Anforderungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) genügen. Die Umsetzung der gesetzlichen Forderungen nach [16-17] werden durch das technische

Regelwerk konkretisiert. Die DIN 2000 [12] inkl. der Normverweise enthalten die Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Trinkwasserversorgungsanlagen im Normalbetrieb. So werden in Bezug auf die Versorgungssicherheit in der DIN 2000 [12] Maßnahmen, wie eine redundante Auslegung von Anlagen und die Errichtung von Verbundstrukturen, beschrieben.

Mit Eintritt eines Not- und Krisenfalls geht die Verantwortung für die Gewährleistung der öffentlichen Wasserversorgung an die Kommune, den Kreis oder den Bund über [2,6,15]. In diesen Ausnahmesituationen kann es zur Notwendigkeit einer Ersatz- und Notwasserversorgung kommen [2,6,15]. Die Anforderungen an nicht ortsfeste Anlagen zur Ersatz- und Notwasserversorgung werden in der DIN 2001-3 [13] konkretisiert.

Die Landeswasser- sowie Brand- und Katastrophenschutzgesetze zeigen in Bezug auf den Umgang mit Not- und Krisenfällen sehr heterogene Regelungsinhalte [15]. So ist für die Wasserversorgungsunternehmen (WVU) nicht immer eindeutig geregelt, ob sie in Maßnahmen zur Sicherstellung der Wasserversorgung gebührenfähig investieren können.

5.2.3 Dimensionierung von Wasserversorgungsanlagen

Für die Dimensionierung der Trinkwasserversorgungsanlagen im Normalbetrieb existieren unter anderem folgende a.a.R.d.T.:

- Wasserbedarfsermittlung nach DVGW W 410 [18],
- ggf. Ermittlung des Löschwasserbedarfs nach DVGW W 405 [19],
- technische Regeln für die Wasseraufbereitung nach DVGW W 202 [20],
- technische Regeln für Wasserverteilungsnetze nach DVGW W 400-1-2 [21-22],
- Planung und Bau von Wasserbehältern nach DVGW W 300-1 [23],
- Pumpensysteme nach DVGW W 610 [24] und
- Resilienz und Versorgungssicherheit nach DVGW W 1003 [11].

In den genannten Normen und Regelwerken finden sich Hinweise zur Erhöhung der Versorgungssicherheit für Betriebsstörungen, so z. B. das n-1 Prinzip für Verteilungsleitungen, die redundante Vorhaltung von Aggregaten und die Forderung der Notstromversorgung für relevante Anlagen. Weiterhin werden vom WVU Betriebsdaten im Normalbetrieb erfasst, welche für die Bemessung zur Ertüchtigung oder Erweiterung von Bestandanlagen genutzt werden können.

Kommt es zu einem Not- oder Krisenfall soll die öffentliche Wasserversorgung so lange wie möglich aufrechterhalten werden [6,15]. Ist die Aufrechterhaltung für das gesamte Netz oder einzelner Teilbereiche nicht mehr möglich, kann eine leitungsgebundene

Ersatzwasserversorgung erfolgen. Endet dagegen der leitungsgebundene Betrieb, bleibt die leitungsungebundene Ersatz- oder Notwasserversorgung. Zusammenfassend werden folgende Mindestversorgungsziele empfohlen [6,25-27]:

Leitungsgebunden unbefristet:

- 50 Liter pro Einwohner und Tag

Leitungsungebunden für 14 Tage:

- 15 Liter pro Einwohner und Tag
- 75 Liter pro Krankenbett und Tag für Pflegeeinrichtungen
- 150 Liter pro Krankenbett und Tag für Krankenhäuser
- 40 Liter pro Großvieheinheit und Tag

In Bezug auf die Mindestversorgungsziele der sensiblen Einrichtungen und der Großvieheinheiten besteht laut BBK [27] Aktualisierungsbedarf. Ergänzend zu den Mindestversorgungszielen für die Trinkwasserbereitstellung enthält die 1. WasSV [25] auch Anforderungen zur Löschwasserbereitstellung.

Für das WVU ist zur Bemessung der leitungsgebundenen Ersatzwasserversorgung nur das Mindestversorgungsziel von 50 Litern pro Einwohner und Tag relevant. Auf eine Differenzierung der Bedarfsansätze verschiedener Schadensereignisse wird nicht eingegangen.

5.2.4 Zielstellung

Die Identifikation und Planung von effektiven Maßnahmen zur Härtung der öffentlichen Wasserversorgungsanlagen sollte auf der Basis von Risikoanalysen [2,3,9] erfolgen. Unter effektiv wird verstanden, vorhandene Systemstrukturen zu berücksichtigen, mit möglichst wenigen Maßnahmen die Versorgungssicherheit zu erhöhen und die zu betreibende Anzahl an Anlagen möglichst gering zu halten.

Daraus leiten sich folgende Zielstellungen für die Maßnahmeplanung ab:

- Nutzung vorhandener Wasserversorgungsanlagen, auch zur Gewährleistung und Sicherstellung der Versorgung im Not- und Krisenfall,
- Minimierung des Eingriffs in bekannte Betriebsabläufe,
- Minimierung der Anzahl zu betreibender Anlagen bei flächenwirksamen Ereignissen, wie dem Blackout
- Nutzung oder Erweiterung vorhandener Verbundstrukturen bzw. Schaffung neuer Verbünde
- Entwicklung von praktikablen Planungsgrundsätzen für Not- und Krisenfälle wie z. B. Verbrauchsfaktoren, Kapazitäten oder notwendige Redundanzen.

Nach der methodischen Beschreibung wird die Dimensionierung am Fallspiel erläutert und erprobt.

5.3 Methodik

5.3.1 Bilanz-Struktur-Modelle

Das Grundprinzip der angewendeten Bilanz-Struktur-Modelle (BSM) nach [3] (Kap.4) basiert auf wasserwirtschaftlichen Bilanzen in Abhängigkeit vorhandener Systemkomponenten und der Topologie. Die Bilanz ergibt sich aus den Zuflüssen (Wassergewinnungsanlagen oder Einspeisepunkte) und den Abflüssen (Trinkwasserverbraucher, Verluste und Ausspeisepunkte) laut **Gl. 5.1.1** [3].

$$\frac{dS(t)}{dt} = \Sigma Q(t) = \Sigma Q_{zu}(t) - \Sigma Q_{ab}(t) \quad (5.1.1)$$

Der Bilanzraum endet an der Systemgrenze des Versorgungsgebietes (VG), die Zu- und Abflüsse stellen die Ströme über die Systemgrenzen dar [3]. In der Betrachtung eines erweiterten Bilanzraums werden die Systemgrenzen verschoben, so dass mehrere VG in einer gemeinsamen Bilanz betrachtet werden (Kap. 5.3.2).

Aus dem Integral der Differenz aus Zu- und Abflüssen ergibt sich die Änderung des Systemzustands [3]. Unter Berücksichtigung vorhandener Speichervolumen, kann über die **Gl. 5.2** [3] die verbleibende Versorgungszeit ermittelt werden.

$$t = \frac{S_0}{-(Q_{zu}-Q_{ab})} \quad (5.2)$$

Eine Fallunterscheidung zur **Gl. 5.2** und die modelltechnische Umsetzung der BSM im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel werden von Heumer et al. in [3] (Kap. 4) beschrieben.

5.3.2 Bestimmung des erweiterten Bilanzraums

Auf der Basis von BSM nach [3] erfolgten Simulationen der Systemwirkung, um so die effektivsten Maßnahmen zu ermitteln. Insbesondere wenn in den betrachteten Versorgungsgebieten Überkapazitäten vorhanden waren oder eine Verbrauchsreduzierung betrachtet wurde, existierten Möglichkeiten der gebietsübergreifenden Versorgung. Die Verbrauchsreduzierung ergab sich in Abhängigkeit des Szenarios, so z.B. bei einer Ersatzwasserversorgung bei einem flächendeckenden Stromausfall.

In der Planung der Maßnahmen wurden vorhandene und potenzielle Verbundstrukturen berücksichtigt. So wurde in den BSM ein erweiterter Bilanzraum über mehrere

Versorgungsgebiete betrachtet (**Abb. 5.2, Gl. 5.1.2**). Dies erfolgte auch durch Verknüpfung der Ein- und Ausspeisepunkte.

$$\frac{dS(t)}{dt} = \Sigma Q(t) =$$

$$\Sigma Q_{zu,1}(t) - \Sigma Q_{ab,1}(t) + \Sigma Q_{zu,2}(t) - \Sigma Q_{ab,2}(t) + \dots + \Sigma Q_{zu,n}(t) - \Sigma Q_{ab,n}(t) \quad (5.1.2)$$

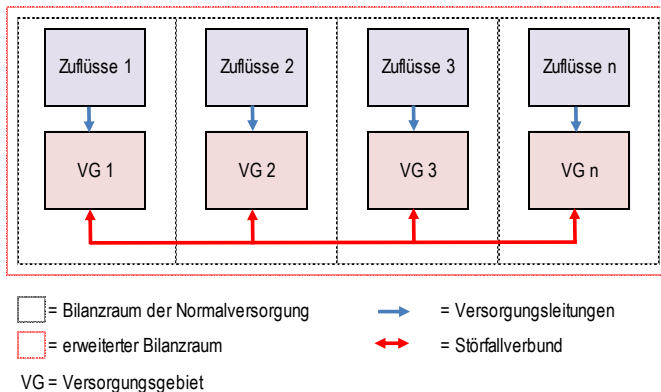


Abb. 5.2: Darstellung eines erweiterten Bilanzraumes

Im Ergebnis der Simulation wurden unter Berücksichtigung vorhandener Systemkapazitäten Schwachstellen im Verbundsystem dargestellt. So kann z. B. die Kapazität eines Pumpwerkes für den Normalbetrieb ausreichen, aber für die Bedarfsabdeckung im Not- oder Krisenfall zu gering dimensioniert sein. Das Ergebnis der Simulation eines erweiterten Bilanzraumes ermöglichte zusätzlich kumulierte Auswertungen als Globalübersicht des Schadensausmaßes. Die vorhandenen Druckverhältnisse wurden in der Modellierung mit den BSM [3] nur eingeschränkt berücksichtigt. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, Druckdifferenzen an den Systemgrenzen zu prüfen. Wurde ein Druckausgleich notwendig, dann müssen druckausgleichende Maßnahmen, wie z. B. Druckminderer oder Druckerhöhungsstationen, in der Planung und Umsetzung berücksichtigt werden.

5.3.3 Berechnungsgrundsätze

Trinkwasserversorgungsanlagen sind nach den a.a.R.d.T. für den Normalbetrieb auszulegen (siehe Kap. 5.2.1-5.2.2). Abweichend zu den a.a.R.d.T. [18,21-24] wurde zur Berücksichtigung von Not- und Krisenfällen ein geänderter Wasserbedarf über Verbrauchsfaktoren und Formeln nach [3] ermittelt. Die **Tab. 5.1** bietet einen Überblick zu den betrachteten Szenarien,

angewendeten Formeln (Gl. 5.3.1, 5.3.2, 5.4.1, 5.4.2) und Bemerkungen zu den gewählten Grundlagen der Wasserbedarfsermittlung.

Tab. 5.1: Wasserbedarfsermittlung für Not- und Krisenfälle

Szenario	Verbrauchsfaktor (f_{dx}) [3]	Wasserbedarf (Q_{dx}) [3]	Bemerkungen
Ausfall systemrelevante Komponente	$f_{dm} = 1,0$	Q_{dm}	kein geändertes Verbrauchsverhalten
Rohrbruch	$f_{dm} = 1,0$	Q_{dm}	kein geändertes Verbrauchsverhalten
Gefahrstoffeintrag	$f_{dm} = 1,0$	Q_{dm}	kein geändertes Verbrauchsverhalten
Trockenperioden	$f_{d,7} = Q_{d,7} / Q_{dm}$ (5.3.1)	$Q_{d,7} = f_{d,7} \cdot Q_{dm}$ (5.3.2)	erhöhter Verbrauch
flächendeckender Stromausfall	$f_{d,EW} = \frac{q_{EW} \cdot E}{Q_{dm,HG}}$ (5.4.1)	$Q_{d,EW} = f_{d,EW} \cdot Q_{dm}$ (5.4.2)	geminderter Verbrauch, $q_{EW} = 50$ l/(E*d), Pauschalisierung Industrie- und Gewerbebedarf, $Q_{dm,HG}$ = Verbrauch Haushalt und Gewerbe

Der maßgebende Förderstrom in der Planung der Anlagen ergibt sich anschließend aus dem Vergleich der Dimensionierung nach den a.a.R.d.T und der Dimensionierung für Not- und Krisenfälle. Dabei wurden in der Planung der Maßnahmen zur Bewältigung von Not- und Krisenfällen die vollen technischen Kapazitäten und keine Redundanzen berücksichtigt.

5.4 Fallbeispiel

5.4.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die SOWAG befindet sich im Südosten von Sachsen – Deutschland. Das WVU versorgt ca. 75.000 Menschen mit Trinkwasser. Die Versorgungsstruktur ist ländlich geprägt und verteilt sich auf 21 Versorgungsgebiete mit 17 Wasserwerken, 40 Pumpwerken, 62 Trinkwasserspeichern, 63 Ein- und Ausspeisepunkten und 1.035 km Trinkwasserversorgungsleitungen [3]. So ergeben sich in der Summe 182 Systemkomponenten der Trinkwasserversorgungsanlagen. Weitere Informationen und die Lage des Untersuchungsgebietes werden von Heumer et al. [1] (Kap. 2) beschrieben.

Zur Analyse eines erweiterten Bilanzraumes sowie zur Planung und Umsetzung von Maßnahmen der Wasserhärtung existieren für alle Versorgungsgebiete BSM nach [3] (Kap. 4) und eine Risikoanalyse für die gesamte SOWAG.

5.4.2 Erweiterte Bilanzraumbetrachtung

Die Risikoanalyse aus dem Fallbeispiel [3] zeigt hohe Vulnerabilitäten für den Ausfall von systemrelevanten Komponenten und den flächendeckenden Stromausfall. Dies entspricht auch den Ergebnissen vergleichbarer Untersuchungen (Kap. 5.1).

In der Betrachtung des erweiterten Bilanzraumes über alle 21 Versorgungsgebiete ergeben sich die Berechnungsergebnisse für den flächendeckenden Stromausfall nach **Abb. 5.3** (reduzierter Verbrauchsansatz nach **Gl. 5.4.1** und **5.4.2**).

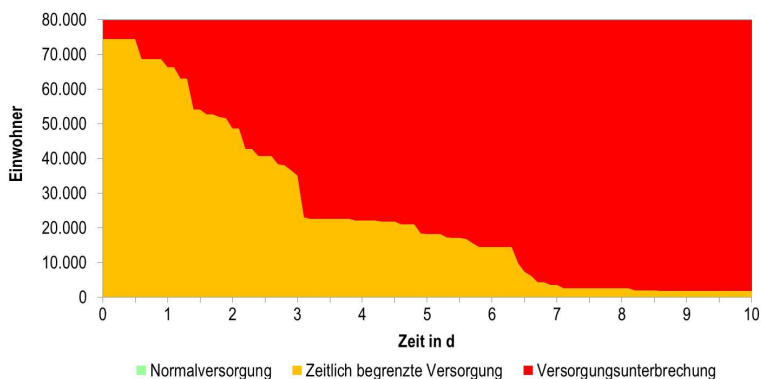


Abb. 5.3: Versorgungsdiagramm IST-Stand im Szenario flächendeckender Stromausfall, $f_{d,EW}$, $Q_{d,EW}$, Laufzeit 10 d

Das Simulationsergebnis zeigt, dass nach 3 Tagen 70 % und nach 7 Tagen 97 % der Einwohner nicht weiter versorgt werden können.

Bei Betrachtung des erweiterten Bilanzraumes wurden der Ausbau von Verbundleitungen für 11 Versorgungsgebiete und die Erweiterung von zwei Zwischenpumpwerken als effektivste Maßnahmen identifiziert. Mit Umsetzung der Maßnahmen können bei einem flächendeckenden Stromausfall bis zu 60.000 Einwohner (E) bzw. 75 % der Verbraucher mit einer leitungsgebundenen Ersatzwasserversorgung durch den Betrieb von nur zwei Zwischenpumpwerken und einem Wasserwerk versorgt werden (**Abb. 5.4**). Bei den verbleibenden Verbrauchern wird nach 3,0 d für 13 % und nach 7,0 d für 23 % die Wasserversorgung enden.

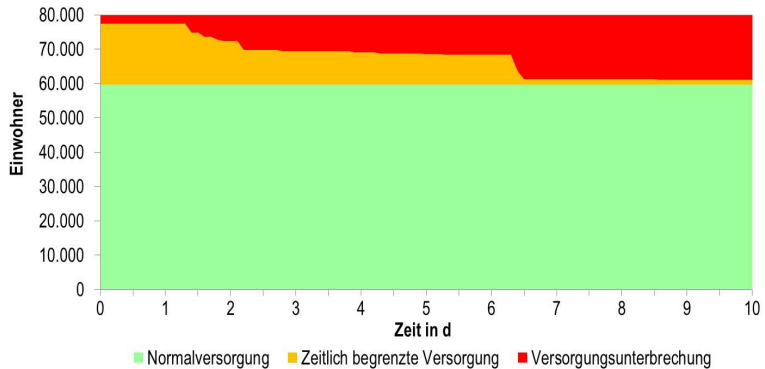


Abb. 5.4: Versorgungsdiagramm Ausbau des Verbundsystems im Szenario flächendeckender Stromausfall, $f_{d,EW}$, $Q_{d,EW}$, Laufzeit 10 d

Zur Umsetzung der Maßnahmen müssen die vorhandenen Kapazitäten der Zwischenpumpwerke erweitert und für die Szenarien zum Ausfall des Hauptwasserwerkes im Versorgungsgebiet A (ca. 20.000 E, zwei Krankenhäuser) sowie zur Schaffung von Verbundmöglichkeiten angrenzender Versorgungsgebiete dimensioniert werden (**Abb. 4**). Eine komplette Versorgung im Gebiet A ist bei Ausfall des Wasserwerkes bisher nur teilweise und beim Ausfall der Wasserwerke angrenzender Versorgungsgebiete nicht gesichert. Die Zielstellungen aus Kap. 2.3 konnten im genannten Beispiel vollständig umgesetzt werden.

Die Neudimensionierung der Anlagen wird am Beispiel eines der Zwischenpumpwerke im Kap. 4.3 erläutert.

5.4.3 Beispiel der Neudimensionierung eines Zwischenpumpwerkes

5.4.3.1 Beschreibung der technischen Anlage

Zur Einordnung des Zwischenpumpwerks in die geplante Versorgungsstruktur und zur Visualisierung des erweiterten Bilanzraums wurde eine schematische Darstellung erstellt (**Abb. 5.5**).

Im Normalbetrieb versorgen das Zwischenpumpwerk und das Wasserwerk die Versorgungsgebiete (VG) A und B (**Abb. 5.5 – blau dargestellte Leitungen**). Hierfür sind die Anlagen dimensioniert und erfüllen die Anforderungen des DVGW- Regelwerkes [18,21-24]. So wird im Normalbetrieb des Zwischenpumpwerks das Trinkwasser wahlweise in die Förderrichtung A gepumpt oder über eine Regelstrecke in Richtung B durchgeleitet.

In Betrachtung des erweiterten Bilanzraumes wurde ein Störfallverbund der VG C- I (**Abb. 5.5 – rot dargestellte Leitungen**) geprüft. Im Ergebnis sind die vorhandenen Kapazitäten zur

Abdeckung der betrachteten Szenarien zu gering und sollen erweitert werden. Zur Ermittlung des bemessungsrelevanten Lastfalls werden die Ersatzwassermenge für den flächendeckenden Stromausfall, der Ausfall des Hauptwasserwerkes und der Ausfall von angrenzenden Versorgungsgebieten betrachtet (Kap. 5.4.3.2).

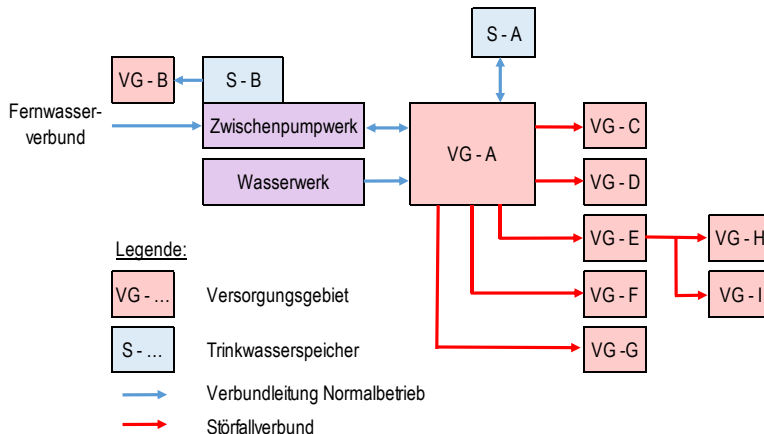


Abb. 5.5: Einordnung des Zwischenpumpwerkes in die Versorgungsstruktur

5.4.3.2 Dimensionierung der Anlage

Die Dimensionierung der Pumpen in Förderrichtung A erfolgt für die Lastfälle a) Normalversorgung, b) langanhaltende Trockenperiode im Versorgungsgebiet A, c) Ausfall der Versorgungsanlagen angrenzender Versorgungsgebiete und d) Ersatzwassermenge für den flächendeckenden Stromausfall.

Für den Normalbetrieb soll die Förderung energieeffizient und redundant erfolgen. Mit Einwohnerzuwachs ist aufgrund der demographischen Entwicklung in der Region nicht zu rechnen. Für die Szenarien der Risikobetrachtung wurde keine Redundanz oder Reserve eingeplant.

a) Normalversorgung

In der Normalversorgung wird das Versorgungsgebiet über das Wasserwerk versorgt und nur im Bedarfsfall zusätzlich Trinkwasser über das Zwischenpumpwerk eingespeist (**Abb. 5.5 – blau dargestellte Leitungen**). Die tägliche Fördermenge des Zwischenpumpwerkes schwankt zwischen 0 m³/d und 2.040 m³/d. Die mittlere tägliche Fördermenge liegt bei 639,6 m³/d.

Aufgrund der großen Schwankungsbreite und zur Reduzierung von Druckspitzen sollte die Pumpanlage als mehrstufige Anlage mit großem Regelbereich und Frequenzumrichter ausgelegt werden. Bei einer vierstufigen Anlage sollte die Förderung der 2.040 m³/d mit drei Stufen möglich sein, die vierte Stufe ist als Redundanz vorzuhalten. Bei dieser Dimensionierung müssen die drei Stufen einen Förderstrom von insgesamt **85 m³/h** gewährleisten. Die Betrachtung von Stundenspitzen ist aufgrund der vorhandenen Hochbehälter im Versorgungsgebiet A nicht notwendig.

b) Langanhaltende Trockenperiode im Versorgungsgebiet A

Im Szenario der Trockenperiode im Versorgungsgebiet A kann es aufgrund von oberflächennahen Grundwasserfassungen zum Ausfall des Wasserwerkes kommen. Der Ausfall soll durch Fernwasserbezug kompensiert werden. Als Datengrundlage wird das Referenzjahr 2018 mit einer längeren Trockenperiode genutzt. Der durchschnittliche TW-Verbrauch basiert ebenfalls auf den Daten von 2018.

Der Wochen-Spitzenfaktor $f_{d,7}$ wird mit 1,52 angesetzt, dieser Faktor wurde aus den Betriebsdaten des Versorgers ermittelt (**Gl. 5.3.1, Tab. 5.1**).

Die erforderliche Kapazität wurde mit **Gl. 5.3.2 (Tab. 5.1)** berechnet.

$$Q_{d,7} = 2.239,6 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1,52 = 3.404,2 \text{ m}^3/\text{d} \quad (5.3.2)$$

Für den Ausfall des Wasserwerkes ergibt sich somit ein mittlerer Förderstrom von **141,8 m³/h**.

c) Angrenzende Versorgungsgebiete

Es wurden Szenarien zum Ausfall angrenzender Wasserwerke untersucht (**Abb. 5.5 – Einzelbetrachtung der rot dargestellten Leitungen**). Das jeweilige Defizit soll über das Versorgungsgebiet A kompensiert werden. Betrachtet wird dabei nur das Versorgungsgebiet mit dem höchsten Trinkwasserverbrauch, so ist auch eine Havarieversorgung der weiteren Versorgungsgebiete abgesichert.

Die **Tab. 5.2** enthält eine Übersicht angrenzender Versorgungsgebiete inkl. des durchschnittlichen und maximalen Trinkwasserverbrauchs, berechnet als Wochenmittelwert. Maßgebend für die Bemessung ist das Versorgungsgebiet D. Der benötigte Förderstrom ergibt sich aus dem Trinkwasserbedarf der Versorgungsgebiete A und D abzüglich der eingespeisten Menge des Wasserwerkes im Versorgungsgebiet A (**Gl. 5.5**).

Tab. 5.2: Angrenzende Versorgungsgebiete

Versorgungsgebiet	Q_{dm} in m³/d	Q_{dm} in m³/h	$Q_{d,7}$ in m³/d	$Q_{d,7}$ in m³/h
B	keine Förderung durch das ZPW			
C	643,6	26,8	978,3	40,8
D	1.337,8	55,7	2.033,5	84,7
E	360,8	15,0	548,4	22,9
E-H*	389,4	16,2	591,9	24,7
E-I*	865,6	36,1	1.315,7	54,8
F	710,9	29,6	1.080,6	45,0
G	93,2	3,9	141,7	5,9

**erweiterter Verbund zum nächsten Versorgungsgebiet

Zur Berechnung der notwendigen Fördermenge wurde von einer mittleren Wasserproduktion im Wasserwerk im Versorgungsgebiet A und von einem durchschnittlichen Verbrauchsverhalten ausgegangen.

$$Q_{dm,A} + Q_{dm,D} - Q_{dm,WW} = Q_{dm, ZPW \text{ Ausfall D}} \quad (5.5)$$

$$2.239,6 \text{ m}^3/\text{d} + 1.337,8 \text{ m}^3/\text{d} - 1.600 \text{ m}^3/\text{d} = 1.977,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

Der benötigte Förderstrom beträgt **82,4 m³/h**.

d) Ersatzwassermenge für den flächendeckenden Stromausfall

Die Fördermenge für den flächendeckenden Stromausfall ergibt sich aus der leitungsgebundenen Ersatzwassermenge. Für die Ermittlung wurden die BSM mit einem erweiterten Bilanzraum unter Beachtung des möglichen Störfallverbundes genutzt (**Abb. 5.5 – blau und rot dargestellte Leitungen**). Die Berechnung eines Ersatzwasserfaktors erfolgte mit **Gl. 5.4.1**.

$$f_{d,EW} = 50 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d}) / 111 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d}) = 0,45 \quad (5.4.1)$$

Die ermittelten Ersatzwassermengen nach **Gl. 5.4.2** sind in der **Tab. 5.3** als Übersicht der Versorgungsgebiete im Verbund dargestellt.

Die Betrachtung von Stundenspitzen ist aufgrund der vorhandenen Hochbehälter im Versorgungsgebiet A nicht notwendig. Somit ergibt sich für den flächendeckenden Stromausfall ein notwendiger Förderstrom von **124,5 m³/h**.

Tab. 5.3: Ersatzwassermengen Förderrichtung A

Versorgungsgebiet	Q_{dm} in m³/d	$Q_{d,EW}$ in m³/d	$Q_{d,EW}$ in m³/h
A	2239,6	1.007,8	
B	keine Förderung durch das ZPW		
C	643,6	289,6	
D	1337,8	602,0	
E	360,8	162,4	
E-H**	389,4	175,2	
E-I**	865,6	389,5	
F	710,9	319,9	
G	93,2	41,9	
Summe	6.640,9	2.988,4	124,5

*erweiterter Verbund zum nächsten Versorgungsgebiet

Bemessungsrelevanter Lastfall

Für den Normalbetrieb muss die Anlage eine Förderkapazität von **85 m³/h** gewährleisten, dabei ist mindestens eine Stufe als Redundanz in einer vierstufigen Anlage vorzuhalten.

Der bemessungsrelevante Lastfall ergibt sich aus dem Szenario einer langanhaltenden Trockenperiode im Versorgungsgebiet A mit dem resultierenden Ausfall der oberflächennahen Grundwasserfassungen. Der benötigte Förderstrom beträgt in diesem Fall **141,8 m³/h**. Damit kann der Wasserbedarf in allen betrachteten Szenarien vollständig abgedeckt werden.

Die vier Stufen wurden baugleich ausgewählt, somit werden die Forderung der Redundanz für den Normalbetrieb und der maximale Förderstrom für die langanhaltende Trockenperiode gewährleistet.

5.4.3.3 Investitionskostenübersicht

Ergänzend zur technischen Planung des Zwischenpumpwerkes sind in der **Tab. 5.4** die Investitionskosten für den Umbau angegeben (gerundete Werte). Die Umsetzung wurde aus Mitteln der Wassersicherstellung (WasSG) im Rahmen des Konjunkturprogramm des Bundes 2022 teilfinanziert.

Tab. 5.4: Kostenfeststellung Umbau ZPW

KG/ OZ*	Leistung	GP in €
300	Bauwerk und Baukonstruktionen	3.500,00
400	Bauwerk Technische Anlagen	75.600,00
700	Baunebenkosten	12.500,00
Gesamt in € (Netto)		91.600,00
MwSt. 19,00 % in €		17.404,00
Gesamt in € (Brutto)		109.004,00

* Kostengruppen nach DIN 276 [26]

5.5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Resilienz der leitungsgebundenen Wasserversorgung kann durch einen erweiterten Planungshorizont gesteigert werden. Dazu müssen Verbundmöglichkeiten geprüft und Anlagen auch für Not- und Krisenfälle bemessen werden.

Die Identifizierung der Maßnahmen ist Teil des Risiko- und Krisenmanagements [2,7-9] und erfolgt qualifiziert auf der Basis von Risikoanalysen [1-6]. Hierbei können die BSM nach [3] durch Betrachtung eines erweiterten Bilanzraumes die Maßnahmeplanung unterstützen, wobei sich die Betrachtung auf Mengenbilanzen unter Berücksichtigung der Topologie beschränkt. Die dadurch identifizierten Maßnahmen sollten vorhandene Systemstrukturen berücksichtigen und so einen leitungsgebundenen Betrieb mit einer minimalen Anzahl an Anlagen ermöglichen, dies gilt insbesondere für flächenwirksame Schadensereignisse, wie einen Blackout.

Die gebührenfähige Umsetzung von Maßnahmen zur Härtung der öffentlichen Wasserversorgung ist nicht bundeseinheitlich geregelt [15], dies erschwert die Umsetzung beim WVU, weil die Finanzierung nicht immer gesichert ist.

Zur Dimensionierung der Anlagen existieren für den Normalbetrieb fundierte Vorgaben im technischen Regelwerk [18-24]. Gleichzeitig kann für Bestandsanlagen auf vorhandene Betriebsdaten zurückgegriffen werden. Bei ausreichender Verfügbarkeit der unternehmenseigenen Daten sollten diese vorrangig zur Ermittlung des Wasserbedarfs und der Spitzenfaktoren genutzt werden.

Demgegenüber werden Vorgaben für eine leitungsgebundene Mindestversorgung gemäß [25-27] auf 50 l/(E·d) konkretisiert, wobei die Versorgung so lange wie möglich aufrechterhalten werden soll [6,15]. Zudem zeigen sich im internationalen Vergleich sehr heterogene Mengenansätze der Ersatz- und Notwasserversorgung [29-30]. So existiert z. B. in der

Regelwerksempfehlung des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) W1012d [31] eine Zielstellung von 100 l/(E·d) für eine eingeschränkte leitungsgebundene Versorgung. Und die Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW) beschreibt in der Richtlinie W 74 [32] die Erstellung eines Wasserbedarfsplans, in welchem die leitungsgebundene Wassermenge für Not- oder Krisenfälle zu ermitteln ist. Die Mengenangaben der Notwasserversorgung bewegen sich zwischen 3 und 20 l/(E·d). Noch größere Differenzen existieren in der Notversorgung von Krankenhäusern mit einem Bereich von 40 bis 300 l/(Patient·d).

Weiterhin ist laut [6,30] eine systemabhängige Mindestversorgungs menge zu beachten, welche über hydrodynamische Simulationen ermittelt wird. Durch die Beachtung der Mindestversorgungs menge werden unzulässige Unterdrücke und damit der Eintrag von hygienisch belasteten Wasser wie z. B. Löschwasser vermieden. Die Simulationsergebnisse werden durch das Verbrauchsverhalten beeinflusst. So scheint ein reduzierter Verbrauchsansatz für das Szenario eines flächendeckenden Stromausfalls und der damit eingeschränkten Warmwasserbereitung richtig, aufgrund von fehlenden Daten ist jedoch eine genaue Bedarfsermittlung nicht möglich. Dagegen wird z. B. der Ausfall einzelner Anlagen im Versorgungssystem zu keinem geänderten Verbrauchsverhalten führen.

Zur Berücksichtigung von Not- und Krisenfällen in der Bemessung der Trinkwasserversorgungsanlagen werden folgende Planungsgrundsätze vorgeschlagen:

- Risikoanalysen der Wasserversorgungssysteme unter Beachtung von relevanten Gefahren nach [1],
- Aufrechterhaltung des Betriebes mit einer minimalen Anzahl an Anlagen,
- Verzicht auf einen Mindestversorgungsdruck,
- Ausnutzung der vollen technischen Kapazität ohne Berücksichtigung von Redundanz für den Not- und Krisenfall,
- szenarioabhängige Verbrauchsansätze nach **Tab. 5.1** [3].

Die Umsetzung dieser Planungsgrundsätze wurden am Fallbeispiel erprobt. Durch die Berücksichtigung des Not- und Krisenfalls in der Planung von Trinkwasserversorgungsanlagen reduziert sich die Ausfallwahrscheinlichkeit.

Weiterhin wurde im Ergebnis aufgezeigt, dass durch die Errichtung von Verbundsystemen die Anzahl der benötigten Anlagen reduziert und dass durch (geringfügige) Kapazitätserweiterungen die Resilienz des Versorgungssystems erhöht werden kann.

In diesem Kontext stellen staatliche Anreizfinanzierungen zur Härtung der öffentlichen Wasserversorgung ein geeignetes Instrument zur Erhöhung der Versorgungssicherheit in Extremsituationen dar.

5.7 Literaturverzeichnis

- [1] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Sicherheit der Wasserversorgung – Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. gwf-Wasser/Abwasser 03/2023, S. 63–75. doi:10.17560/gwfw.v164i3.2642.
- [2] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1: Risikoanalyse. Jan. 2016. Hrsg. BBK, Bonn.
- [3] Heumer, F.; Kritznier, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Vulnerabilitätsmessungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. gwf-Wasser/Abwasser 09/2023, S.71–79. doi:10.17560/gwfw.v164i09.2671.
- [4] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig. Sonderdruck gwf-Wasser/Abwasser 01/2020, S. 1–5.
- [5] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung – Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig. BBK Bevölkerungsschutz 3/2018, S. 12–17.
- [6] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung. BBK Fachinformation Praxis im Bevölkerungsschutz. Ausgabe 06/2019, Hrsg. BBK, Band 15, Bonn.
- [7] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. Stand 2022, Hrsg. WHO, ISBN 9789240045064.
- [8] DIN EN 15975-1. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement. Deutsche Fassung, Stand 03/2016. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [9] DIN EN 15975-2. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement. Deutsche Fassung, Stand 12/2013. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [10] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technischer Hinweis – Merkblatt DVGW M 1001 (M) Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risiko- und Krisenmanagement. Stand 11/2020, WVGW-Verlag, Bonn.
- [11] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 1003 (A) Resilienz und Versorgungssicherheit in der öffentlichen Wasserversorgung. Stand 06/2022, WVGW-Verlag, Bonn.
- [12] DIN 2000. Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen. Ausg. 02/2017, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

- [13] DIN 2001-3. Trinkwasserversorgung aus Kleinanlagen und nicht ortsfesten Anlagen Teil 3: Nicht ortsfeste Anlagen zur Ersatz- und Notwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an das abgegebene Wasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Anlagen. Aug. 12/2015, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [14] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). BBK-Glossar, https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/glossar_node.html (aufgerufen am 02.06.2023).
- [15] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Sicherheit der Wasserversorgung – Gesetzliche Grundlagen und Zuständigkeiten aus Sicht der Wasserversorgung. gwf-Wasser/Abwasser 11/2022, S. 73–82. doi:10.17560/gwfa.v163i11.2624.
- [16] Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) geändert worden ist.
- [17] Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- [18] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 410 (A) Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen. Stand 12/2008, WVGW-Verlag, Bonn.
- [19] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 405 (A) Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung. Stand 02/2008, WVGW-Verlag, Bonn.
- [20] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW W 202 (A) Technische Regeln Wasseraufbereitung (TRWA). Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung. Stand 03/2010, WVGW-Verlag, Bonn.
- [21] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 400-1 (A) Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) Teil 1: Planung. Stand 02/2015, WVGW-Verlag, Bonn.
- [22] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 400-2 (A) Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) Teil 2: Bau und Prüfung. Stand 08/2022, WVGW-Verlag, Bonn.
- [23] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 300-1 (A) Trinkwasserbehälter; Teil 1: Planung und Bau. Stand 10/2014, WVGW-Verlag, Bonn.
- [24] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 610 (A) Pumpensysteme in der Trinkwasserversorgung. Stand 03/2010, WVGW-Verlag, Bonn.
- [25] Erste Wassersicherstellungsverordnung vom 31. März 1970 (BGBl. I S. 357).
- [26] Konzeption Zivile Verteidigung (KZV). Aug. 2016. Hrsg. Bundesministerium des Innern, Berlin.

- [27] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Rahmenkonzept der Trinkwassernotversorgung- Neukonzeption zur Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen in Anlehnung an die Konzeption zivile Verteidigung. Stand 02/2022. Hrsg. BBK, Bonn.
- [28] DIN 276. Kosten im Bauwesen. Ausg. 12/2018, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [29] World Health Organization (WHO); Water, Engineering and Development Centre (WEDC). Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies. Second edition: Sept. 2013, ISBN 9781843801528.
- [30] Bross, L.; Krause, S.; Wannewitz, M.; Stock, E.; Sandholz, S.; Wienand, I. Insecure Security: Emergency Water Supply and Minimum Standards in Countries with a High Supply Reliability. Water 2019, 11, 732. doi:10.3390/w11040732.
- [31] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW). Empfehlung W1012 d (vormals W/VN300 d) - Wegleitung für die Planung und Realisierung der Trinkwasserversorgung in Notlagen (TWN), Stand 02/2007, Hrsg. SVGW, Zürich.
- [32] Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW). Richtlinie W74 - Trinkwassernotversorgung - Erfolgreiches Krisenmanagement in der Wasserversorgung, Stand 02/2017, Hrsg. ÖVGW, Wien.

6 Blackout Vorsorge – Pilotprojekt der Dieselbevorratung

Blackout prevention - pilot project for diesel storage

Felix Heumer, Ina Wienand, Thomas Grischek, Jens Tränckner

gwf-Wasser/Abwasser 04-2024, S. 109–120. doi.org/10.17560/gwfw.v165i4.2732

Eingereicht am: 01.03.2024

Begutachtet im Peer-Review-Verfahren: 11.03.2024

Keywords: Risikoanalyse, Risikomaßnahmen, Härtung der Wasserversorgung, Stromausfall, Treibstoffversorgung

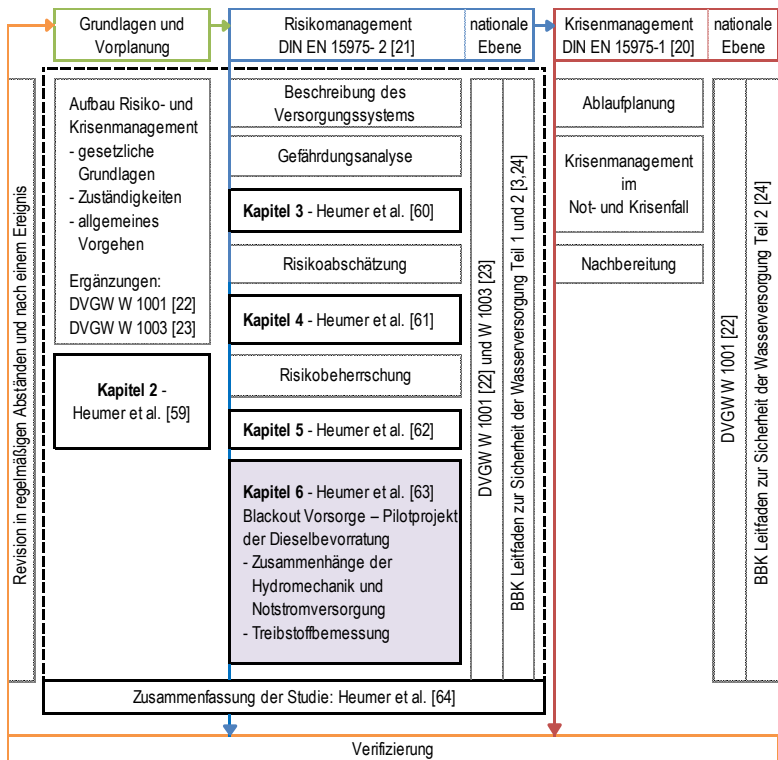


Abb. 6.1: Einordnung des Kapitels 6 in das Risiko- und Krisenmanagement nach DIN EN 15975 Teil 1 und 2 (Quellenangabe nach Kap.1.4)

Zusammenfassung

Die Trinkwasserversorgung ist von der Stromversorgung abhängig, da elektrische Energie für den Betrieb der Anlagen und Ausrüstungen benötigt wird. Können die betreffenden Wasserversorgungsanlagen im Falle einer Unterbrechung der Elektroenergieversorgung nicht mit Notstromanlagen versorgt werden, endet die leitungsgebundene Versorgung mit Trinkwasser. Für den Betrieb der Netzersatzanlagen wird Treibstoff benötigt, der in ausreichender Menge vorgehalten werden muss. Die Vorhaltung kann durch eine Betriebstankstelle abgesichert werden. Zur Errichtung der Anlagen müssen diverse Rahmenbedingungen und Anforderungen identifiziert und berücksichtigt werden. Welche das sind und wie die Umsetzung erfolgt, wird im nachfolgenden Beitrag am Pilotprojekt „Errichtung einer Betriebstankstelle zur Dieselbevorratung“ erläutert. Die beschriebenen Arbeitsschritte sind in einer Checkliste zusammengefasst. Ergänzend werden Formeln und ein Excel-Tool für die Dieselbedarfsermittlung bereitgestellt.

Abstract

The drinking water supply is dependent on the power supply, as electrical energy is required to operate the systems and equipment. If the relevant water supply systems cannot be supplied with emergency power systems in the event of an interruption to the electrical power supply, the piped supply of drinking water ends. Fuel is required to operate the emergency power systems and must be kept in sufficient quantities. The supply can be secured by a company filling station. Various framework conditions and requirements must be identified and taken into account for the construction of the systems. What these are and how they are implemented is explained in the following article on the pilot project "Construction of a company filling station for diesel storage". The work steps described are summarized in a checklist. Formulas and an Excel tool for determining diesel requirements are also provided.

6.1 Einleitung

Überregionale und langandauernde Stromausfälle (Blackouts) sind in Deutschland wenig wahrscheinlich, können jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden [1-2]. Kommt es zu einem derartigen Szenario, ist mit Ausfällen in der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung zu rechnen. Die hohe Vulnerabilität der Trinkwasserversorgungssysteme bei einem flächendeckenden und langanhaltenden Stromausfall wurde durch Risikoanalysen verschiedener Autoren [3-6] bestätigt. Die Resilienz der Trinkwasserversorgungssysteme lässt sich durch die Bereitstellung von Notstromaggregaten steigern [7-8]. Doch welche Treibstoffmenge sollte durch das Wasserversorgungsunternehmen (WVU) vorgehalten werden und welche Grundlagen sind bei der Planung, der Errichtung und dem Betrieb der Anlagen zur Treibstoffbevorratung zu berücksichtigen?

Zur Beantwortung der Fragestellungen werden nachfolgend die planerischen und organisatorischen Grundlagen analysiert. Die Analyse beschränkt sich auf den Betrieb von Notstromaggregaten mit Dieselmotorkraftstoff (Diesel) und die daraus resultierende Vorhaltungsmenge. Die Ergebnisse werden in einer Checkliste und einem Excel-Tool zusammengefasst und am Pilotprojekt erprobt.

6.2 Stand des Wissens und Zielstellung

6.2.1 Begriffsdefinitionen

Diesel ist ein flüssiger Kraftstoff, welcher zum Großteil aus Kohlenwasserstoffen besteht. Die Zusammensetzung des Diesels wird in der DIN EN 590 [9] beschrieben. Nach [9] enthält Diesel bis zu 7 % Fettsäuremethylester (FAME) als sogenannten Biodieselanteil. Der Biodieselanteil ist auszuweisen. So wird ein Diesel, welcher bis 7 % FAME enthält, als B-7 Diesel bezeichnet. Diesel ohne biogenen Anteil wird als B-0 Diesel beschrieben. Der Biodieselanteil wirkt sich negativ auf die Lagerfähigkeit aus [10].

Der Begriff der **Eigenverbrauchstankstelle** wird durch die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) [11] definiert. Nach [11] sind Eigenverbrauchstankstellen Lager- und Abfüllanlagen, welche für die Öffentlichkeit nicht zugänglich sind, die für die Kraftstoffversorgung von betriebseigenen Fahrzeugen und Geräten genutzt werden, deren Jahresabgabe 100 m³ nicht übersteigt und die ausschließlich vom Betreiber bedient werden.

Der Begriff **Katastrophenschutz** (KatS) wird gemäß Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) wie folgt definiert [12]: „...landesrechtliche Organisationsformen der kommunalen und staatlichen Verwaltungen in den Ländern zur Gefahrenabwehr bei

Katastrophen, bei der alle an der Gefahrenabwehr beteiligten Behörden, Organisationen und Einrichtungen unter einheitlicher Führung durch die örtlich zuständige Katastrophenschutzbehörde zusammenarbeiten.“

6.2.2 Dimensionierung einer Eigenverbrauchstankstelle

Maßgebend für die Bemessung der Mindestlagermenge an Diesel sind vor allem die zu betreibenden Trinkwasserversorgungsanlagen und die Dauer zur Aufrechterhaltung der Notstromversorgung im Falle eines flächendeckenden Stromausfalls.

Dabei sollte die Anzahl der zu betreibenden Trinkwasserversorgungsanlagen auf ein Minimum reduziert werden [8].

Die Notstromversorgung sollte mindestens 72 h aufrechterhalten werden können. Die Empfehlung ergibt sich aus dem Rahmenkonzept zur Trinkwassernetzversorgung und dem Leitfaden zur Notstromversorgung des BBK [13,14]. Abweichende Forderungen können sich aus landesrechtlichen Regelungen ergeben. Nach Ablauf der 72 h sollte durch das WVU eine Nachbetankung organisiert werden. Dies kann über den KatS oder auch über regionale Mineralöllieferanten organisiert werden [1,7,14].

Informationen zur Ermittlung des Treibstoffbedarfs können dem Leitfaden für die Planung, Einrichtung und den Betrieb einer Notstromversorgung in Unternehmen und Behörden des BBK [14] entnommen werden. Spezifische Information für WVU sind jedoch nur eingeschränkt enthalten.

Weiterhin ist aufgrund der begrenzten Haltbarkeit des Diesels ein Nutzungskonzept zum Austausch des Tankinhaltes zu entwerfen [10]. Alternativ wird die Verwendung von schwefelarmem Heizöl nach DIN 51603 empfohlen [10]. Zur Verwendung des Heizöls wird eine Freigabe des Motorenherstellers benötigt. Die Rechtsgrundlagen für den Heizölbetrieb finden sich laut [10]: „in § 2 Abs. 3 i.V.m. § 3 Abs. 1 Nr. 1 des Energiesteuergesetzes (EnergieStG)“. Das Heizöl darf jedoch nur in ortsfesten Anlagen und nicht für den Betrieb von Betriebsfahrzeugen oder Baumaschinen eingesetzt werden [10].

6.2.3 Anforderungen an den Bau und Betrieb einer Eigenverbrauchstankstelle

Diesel ist ein wassergefährdender Stoff der Wassergefährdungsklasse WGK 2 [15]. Die Errichtung und der Betrieb einer Eigenverbrauchstankstelle unterliegen daher besonderen Anforderungen.

Die baulichen Anforderungen werden im Arbeitsblatt DWA-A 781 [16] beschrieben. Bei vollständiger Überdachung oder der Errichtung in einem Gebäude kann ein Leichtflüssigkeitsabscheider entfallen und damit die Abfüllfläche als Rückhaltung genutzt

werden. **Abb. 6.2** zeigt eine Bodenbeschichtung und Aufkantung zur Errichtung einer Abfüllfläche.



Abb. 6.2: Bodenbeschichtung und Aufkantung zur Errichtung einer Abfüllfläche

Vor Beginn der Baumaßnahme ist für die Dieseltankstelle eine Eignungsfeststellung nach § 63 Abs.1 WHG [17] zu erstellen. Alternativ zur Eignungsfeststellung kann das Gutachten eines Sachverständigen nach § 41 Abs. 2 AwSV [11] vorgelegt werden. Aus dem Gutachten nach § 41 Abs. 2 AwSV [11] muss klar hervorgehen, dass dem Sachverständigen die abschließende Planung vorlag und er auf deren Grundlage zum Ergebnis kommt, dass alle Anlagenteile in ihrem Zusammenwirken die Gewässerschutzanforderungen erfüllen. Auf der Grundlage der Eignungsfeststellung oder des Gutachtens muss anschließend die Anlage der Unteren Wasserbehörde angezeigt werden.

Vor der Inbetriebnahme ist gemäß § 46 Abs. 2 AwSV [11] eine Sachverständigenprüfung durchzuführen. Der Nachweis zur Sachverständigenprüfung ist zu dokumentieren und sichtbar an der Anlage zu kennzeichnen (**Abb. 6.3**).



Abb. 6.3: Nachweis der Sachverständigenprüfung

Die Dieseltankstelle muss nach § 39 AwSV [11] eingestuft und in einem Register erfasst werden. Ergänzend sind landesspezifische Anforderungen zu berücksichtigen so z. B. § 6 der SächsVAwS [18]. Die Gefährdungsstufen ergeben sich im Wesentlichen aus der **Tab. 6.1**.

Tab. 6.1: Gefährdungsstufen der Anlagen nach AwSV [18]

Volumen (V) in m³	Wassergefährdungsklasse		
	WGK 1	WGK 2	WGK 3
≤ 0,2	Stufe A	Stufe A	Stufe A
> 0,2 ≤ 1	Stufe A	Stufe A	Stufe B
> 1 ≤ 10	Stufe A	Stufe B	Stufe C
> 10 ≤ 100	Stufe A	Stufe C	Stufe D
> 100 ≤ 1000	Stufe B	Stufe D	Stufe D
> 1000	Stufe C	Stufe D	Stufe D

Nach § 44 Abs. 4 der AwSV [11] sind zur Kennzeichnung für Anlagen der Gefährdungsstufe A oder Eigenverbrauchstankstellen der Gefährdungsstufe B Merkblätter zu Betriebs- und Verhaltensvorschriften zu erstellen. Ab der Gefährdungsstufe B oder Eigenverbrauchstankstellen der Gefährdungsstufe C ergeben sich weitere Pflichten nach § 44 Abs. 1-3 der AwSV [11] und § 9 SächsVAwS [18]. Die Fachbetriebs- und Prüfpflichten der Anlagen ergeben sich aus den §§ 45-46 AwSV [11]. Grundsätzlich hat der Betreiber die Dichtheit und Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen vor der Inbetriebnahme und anschließend regelmäßig zu kontrollieren. Dies erfolgt z. B. durch eine Leckageüberwachung (**Abb. 6.4**).



Abb. 6.4: Leckageüberwachung einer Eigenverbrauchstankstelle

Fachbetriebspflichten und Sachverständigenprüfungen sind bei allen unterirdischen Anlagen und bei Anlagen mit flüssigen Stoffen ab der Gefährdungsstufe B durchzuführen. Bei Bedarf sind weitergehende Anforderungen den genannten Regelungen zu entnehmen.

Der Betreiber einer Eigenverbrauchstankstelle ist gemäß § 43 AwSV [11] verpflichtet, eine Anlagendokumentation zu führen. Die Dokumentation beinhaltet mindestens Betriebsanleitungen, Bauartzulassungen oder Zertifikate der verbauten Anlagenkomponenten und Nachweise des ordnungsmäßigen Betriebes, wie z. B. wiederkehrende Prüfungen oder Nachweise der Instandsetzung.

Weiterhin unterliegt die Eigenverbrauchstankstelle auch während des Betriebes der Anzeigepflicht nach § 40 Abs. 1 AwSV [11]. Dies bedeutet, dass wesentliche Änderungen (z. B. Erneuerungen, Umrüstungen) an der Anlage, deren endgültige Stilllegung oder ein Betreiberwechsel der Unteren Wasserbehörde anzuzeigen sind.

6.2.4 Zielstellung

Die Vorhaltung von Diesel ist ein Bestandteil der Blackout Vorsorge für viele WVU. Die Bemessung der Treibstoffvorhaltung hängt von der Dauer der Aufrechterhaltung der Notstromversorgung und der notwendigen Elektroenergie zur Aufrechterhaltung des Betriebs der Trinkwasserversorgungsanlagen ab. Zusätzlich unterliegen Bau und Betrieb der Anlagen den Anforderungen zur Lagerung und Verteilung von wassergefährdenden Stoffen.

Ziel dieses Fachbeitrags ist es, vorhandene Grundlagen zur Dieselbevorratung zusammenzustellen und diese für WVU spezifisch aufzubereiten. Für die Bedarfsermittlung wurden neben der Maschinentechnik der Notstromaggregate auch hydromechanische Zusammenhänge und Gegebenheiten des Betriebs der Trinkwasserversorgungsanlagen berücksichtigt.

Basierend auf der Recherche wurden eine Checkliste und ein Excel-Tool zur Dieselbedarfsermittlung für WVU entwickelt. Die Anwendung der Methodik wurde am Fallspiel erprobt und ist im Kap. 4 beschrieben.

6.3 Methodik

6.3.1 Dieselbedarfsermittlung zur Wasserförderung

Für die Berechnung des Dieselverbrauchs des Notstromaggregats (V_{kW}) [l/h] werden der spezifische Treibstoffbedarf der Maschine (V_{spez}) [g/kWh]; die Dichte des Diesels (ρ_{Diesel}) [kg/l], zur Umrechnung des Massestroms und die erforderliche elektrische Leistung (P_{El}) [kW] für den Notstrombetrieb benötigt [19]. V_{spez} wird von den Motorenherstellern [20-24] angegeben

(Abb. 6.5, Tab. 6.2) und bezieht sich auf die bereitgestellte mechanische Leistung am Schwungrad (P_G) [kW].

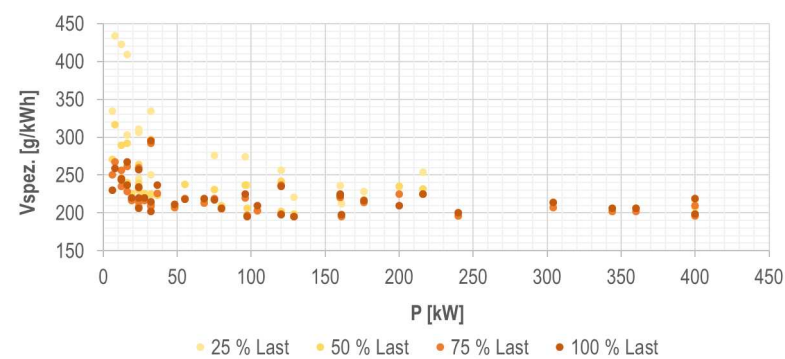


Abb. 6.5: Spezifischer Dieselverbrauch von Notstromaggregaten ($P = 8 - 500$ kW) [20-24]

Tab. 6.2: Spezifischer Dieselverbrauch von Notstromaggregaten [g/kWh]
($P = 8 - 500$ kW) [20-24]

	Gesamt	25% Last	50% Last	75% Last	100% Last
n	134	20	38	38	38
Mittelwert	233	288	229	221	222
Median	221	265	223	216	219
80 Perzentil	250	334	241	234	236

Zur Ermittlung von P_{Elt} ist der Wirkungsgrad des Generators (η_G) zu berücksichtigen Gl. 6.1.

$$P_{Elt} = P_G \cdot \eta_G \tag{6.1}$$

Wirkungsgradangaben sind in der **Tab. 6.3** aufgeführt [20-24].

Tab. 6.3: Wirkungsgrade der Generatoren in Notstromaggregaten [%]

	Gesamt	25% Last	50% Last	75% Last	100% Last
n	82	19	21	21	21
Mittelwert	90	87	90	91	91
Median	89	87	91	93	92
80 Perzentil	93	89	93	94	93
20 Perzentil	87	84	86	88	87

Die angegebene elektrische Leistung der Notstromaggregate wird vom Hersteller meist als Scheinleistung (S_{NA}) [kVA] und nicht als Wirkleistung (P_{NA}) [kW] angegeben. Die Scheinleistung

beinhaltet die Blindleistung (Q_{NA}) [kW]. Die Umrechnung von S_{NA} zu P_{NA} erfolgt über **Gl. 6.2** [19].

$$P_{NA} = S_{NA} * (\cos \varphi) \quad (6.2)$$

Die Angabe von $\cos \varphi$ ist auf dem Typenschild der elektrischen Verbraucher, wie z. B. Pumpen, ersichtlich. Die Hersteller der Notstromaggregate [20-24] geben $\cos \varphi$ mit 0,8 an, daraus ergibt sich die vereinfachte **Gl. 6.3** zur Berechnung der Wirkleistung.

$$P_{NA} = S_{NA} * 0,8 \quad (6.3)$$

In der Ermittlung von P_{El} [kW] sind die zu betreibenden Maschinen und zusätzlich die Leistung der Hilfsaggregate (P_{Hilf}) [kW] zu berücksichtigen, so z. B. Lüfter in der Maschinenhaube des Notstromaggregats. Gleiches gilt für zusätzliche elektrische Verbraucher, wie z. B. Elektroheizungen, Klimaanlage oder Gebäudebelüftungen.

Die Ermittlung von P_{El} kann durch Messung in der Elektroanlage, Herstellerangaben oder durch Berechnung erfolgen. Zu berücksichtigen ist, dass in der Elektroanlage Verluste z. B. durch Frequenzumrichter entstehen können. Die Leistung der Pumpe (P_P) [kW] bezieht sich auf den Leistungsbedarf des Elektromotors. Zur Erzeugung der hydraulischen Leistung (P_{Hyd}) [kW] entstehen in der Pumpe und durch den Motor weitere Verluste.

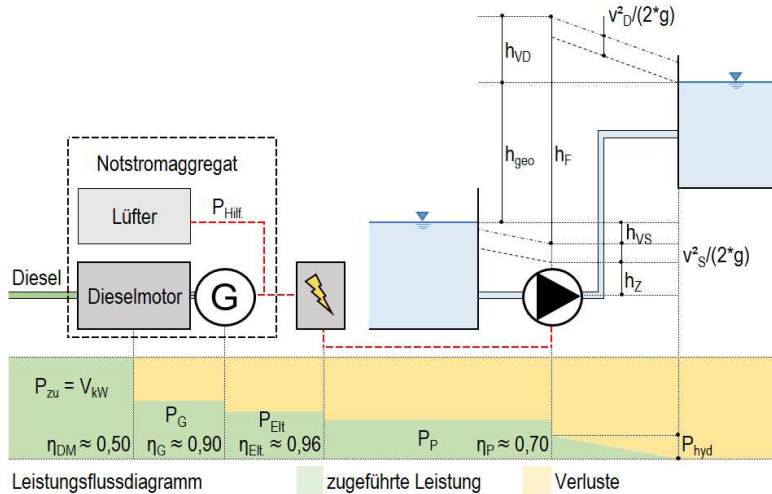
Die Berechnung von P_{Hyd} [W] erfolgt über **Gl. 6.4** [25]. Dabei werden der Durchfluss (Q) in m^3/s , die Dichte des Wassers (ρ_{Wasser}) in kg/m^3 , die Energiehöhendifferenz (h_F) in mWS und die Erdbeschleunigung (g) in m/s^2 angegeben.

$$P_{Hyd} = Q * \rho_{Wasser} * h_F * g \quad (6.4)$$

In der Praxis wird der Durchfluss meist in m^3/h angegeben. Bei Zusammenfassung der erforderlichen Einheitenumrechnung und der Ortskonstante g lässt sich P_{hyd} in [kW] vereinfachend mit der **Gl. 6.5** berechnen.

$$P_{Hyd} = \frac{Q * \rho_{Wasser} * h_F * g}{3600} = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h} \right) * h_F (mWS)}{367} \quad (6.5)$$

Die Kausalität und der Leistungsfluss sind in **Abb. 6.6** dargestellt. Die Wirkungsgradangaben wurden aus der einschlägigen Fachliteratur zusammengestellt, für den Dieselmotor aus [20-24] und für die Elektroanlage und die Pumpentechnik aus [19,26-27].



h_F : Gesamtförderhöhe, h_{geo} : geodätische Höhe, h_{VD} : Verlusthöhe druckseitig, h_{VS} : Verlusthöhe saugseitig
 h_Z : Zulaufdruckhöhe, v_D : Fließgeschwindigkeit druckseitig, v_S : Fließgeschwindigkeit saugseitig

Abb. 6.6: Leistungsfluss – Wasserförderung im Notstrombetrieb

Die Berechnung des Treibstoffbedarfs kann mit folgenden Gleichungen erfolgen:

Gl. 6.6 – P_{Elt} bekannt

$$V_{kW} = \frac{V_{spez}}{\rho_{Diesel}} * P_G = \frac{V_{spez}}{\rho_{Diesel}} * \frac{(P_{Hilf} + P_{Elt}) / \cos \varphi}{\eta_G} = \frac{V_{spez}}{\rho_{Diesel} * \eta_G} * (P_{Hilf} + P_{Elt}) / \cos \varphi \quad (6.6)$$

Gl. 6.7 – P_P bekannt

$$V_{kW} = \frac{V_{spez}}{\rho_{Diesel} * \eta_G} * \left(P_{Hilf} + \frac{P_P}{\eta_{Elt}} \right) / \cos \varphi \quad (6.7)$$

Gl. 6.8 – Berechnung über P_{hyd}

$$V_{kW} = \frac{V_{spez}}{\rho_{Diesel} * \eta_G} * \left(P_{Hilf} + \frac{Q * h_F}{367 * \eta_{Elt} * \eta_P} \right) / \cos \varphi \quad (6.8)$$

Unter Verwendung pauschalierter Berechnungsannahmen kann der Treibstoffbedarf zur Wasserförderung mit **Gl. 6.9** berechnet werden (Annahmen: $V_{spez} = 233 \text{ g/kWh}$; $\rho_{Diesel} = 0,835 \text{ kg/l}$; $\eta_G = 0,90$; $\eta_{Elt} = 0,96$; $\eta_P = 0,7$; $P_{Hilf} = 0 \text{ kW}$, $\cos \varphi = 0,8$).

$$V_{kW} \left(\frac{l}{h} \right) = 0,0016 * Q \left(\frac{m^3}{h} \right) * h_F (mWS) \quad (6.9)$$

Die Genauigkeit des Berechnungsergebnisses aus den **Gl. 6.6 – 6.8** erhöht sich mit der Verwendung von maschinenspezifischen Daten und der Messung des tatsächlichen Energiebedarfs. Die Erkenntnisse zur Bedarfsermittlung wurden in einem Excel-Tool umgesetzt, welches modular aufgebaut ist und Hinweise zur Genauigkeit des ermittelten Treibstoffbedarfs gibt. In dem Excel-Tool wurden neben der Dieselbedarfsermittlung zur Wasserförderung folgende Punkte mit aufgenommen:

- Treibstoffbedarf zur Wasseraufbereitung
- Treibstoffbedarf für Betriebsfahrzeuge
- Treibstoffbedarf für Baumaschinen
- Hilfsstoffbedarf

Das Excel-Tool ist über den Link, welcher im Kapitel „Veröffentlichungen im Rahmen der Dissertation“ angegeben ist, zum Download verfügbar.

6.3.2 Checkliste zum Bau und Betrieb einer Eigenverbrauchstankstelle

6.3.2.1 Allgemeine Anforderungen

Die allgemeinen Anforderungen ergeben sich aus Kap. 2.2, 2.3 und 3.1. Zusätzlich sind bei der Standortwahl auch die Aspekte des Risikomanagements zu berücksichtigen wie z. B. Hochwassergefahren, Erreichbarkeit der Anlage, Besetzung des Standorts oder Schutz gegen Vandalismus sowie Diebstahl. Dabei können vorhandene Risikoanalysen unterstützend wirken, indem vorhandene Gefahren aufgezeigt werden. Die gesamten Anforderungen wurden in einer Checkliste (**Tab. 6.4**) zusammengefasst.

Zur Pflichterfüllung nach § 44 Abs. 4 der AwSV [11] wurde zur Kennzeichnung für Anlagen der Gefährdungsstufe A oder Eigenverbrauchstankstellen der Gefährdungsstufe B ein Mustermerkblatt erstellt. Die Checkliste und das Mustermerkblatt sind über den Link, welcher im Kapitel „Veröffentlichungen im Rahmen der Dissertation“ angegeben ist, zum Download verfügbar.

Tab. 6.4: Checkliste Dieselbevorratung

Aufgabe	Hinweise	Kontroll- kästchen	Bemerk.
Grundlagenermittlung			
Geeigneter Standort - allgemeine Anforderungen	DWA A-781	☐	
Geeigneter Standort - Berücksichtigung von Risikofaktoren	Nutzung Risikoanalyse	☐	
Ermittlung und Dokumentation von vorhandenen und geplanten Notstromversorgungen	Kap. 6.2.2, Nutzung Risikoanalyse	☐	
Ermittlung Mindestversorgungszeit ohne einer Nachlieferung	Kap. 6.2.2	☐	
Bedarfsermittlung			
Auswahl der Treibstoffe	Kap. 6.2.2	☐	
Bedarfsermittlung Hilfsstoffe	Kap. 6.2.2 und 6.3.1, Excel- Tool	☐	
Bedarfsermittlung für die Notstromaggregate	Kap. 6.2.2 und 6.3.1, Excel- Tool	☐	
Bedarfsermittlung Betriebsfahrzeuge	Kap. 6.2.2 und 6.3.1, Excel- Tool	☐	
Bedarfsermittlung sonstige Geräte und Maschinen	Kap. 6.2.2 und 6.3.1, Excel- Tool	☐	
Anforderungen an den Bau und Betrieb			
Planung der Anlage	Kap. 6.2.3, DWA A-781	☐	
Eignungsfeststellung oder Gutachten nach § 41 Abs. 2 AwSV	Kap. 6.2.3	☐	
Anzeige bei der Unteren Wasserbehörde	Kap. 6.2.3	☐	
Bau der Anlage	Kap. 6.2.3	☐	
Sachverständigenprüfung nach § 46 Abs. 2 AwSV	Kap. 6.2.3	☐	
Einstufung der Anlage nach § 39 AwSV	Kap. 6.2.3	☐	
Erfassung der Anlage in einem Register nach § 39 AwSV	Kap. 6.2.3	☐	
Kennzeichnung der Anlage nach § 44 Abs. 4 der AwSV	Kap. 6.2.3	☐	
Organisation regelmäßiger Wartung und Dichtheitskontrolle	Kap. 6.2.3	☐	
Beachtung Fachbetriebspflichten bei Instandsetzungen	Kap. 6.2.3	☐	
Führung Anlagendokumentation nach § 43 AwSV	Kap. 6.2.3	☐	
Änderung oder Stilllegung	Kap. 6.2.3	☐	
Kostenschätzung der Dieselbevorratung			
Festlegung des Aufstellorts	Kap. 6.3.2.3	☐	
Kostenschätzung für den Anlagenbau	Kap. 6.3.2.3	☐	
Kostenschätzung Planungsleistungen	Kap. 6.3.2.3	☐	
Organisatorische Anforderungen			
Normalbetrieb			
Nutzungskonzept	Kap. 6.3.2.2	☐	
Nutzerverwaltung	Kap. 6.3.2.2	☐	
Regelung der Nachbetankung	Kap. 6.3.2.2	☐	
Regelmäßige Wartung und Prüfung der Tankanlage	Kap. 6.3.2.2	☐	
Regelmäßige Wartung und Prüfung der Notstromaggregate	Kap. 6.3.2.2	☐	
Regelmäßige Probeläufe	Kap. 6.3.2.2	☐	
Stromausfall			
Beschränkte Nutzerverwaltung	Kap. 6.3.2.2	☐	
Notstromversorgung der Tankanlage	Kap. 6.3.2.2	☐	
Kommunikation mit Krisenstäben intern und extern	Kap. 6.3.2.2	☐	
Ermittlung Treibstoffbedarf	Kap. 6.3.2.2	☐	
Organisation von Treibstofflieferungen	Kap. 6.3.2.2	☐	
Betankung der Notstromaggregate	Kap. 6.3.2.2	☐	
Tankzeiten	Kap. 6.3.2.2	☐	

6.3.2.2 Organisatorische Anforderungen

Für den Betrieb der Dieseltankanlage ergeben sich organisatorische Anforderungen im Normalbetrieb und für den Betrieb beim Stromausfall [7,10,11,14,28].

Im **Normalbetrieb** sind folgende organisatorische Anforderungen zu erfüllen:

- Nutzungskonzept zur Umwälzung des Diesels; die durchschnittliche Lagerzeit sollte 6 Monate nicht überschreiten
- alternativ Betankung der Anlage mit Diesel ohne Bioanteil (B-0 Diesel) oder Nutzung von schwefelarmem Heizöl (Achtung: Heizöl ist nicht für jeden Motor geeignet und darf nicht zur Betankung der Fahrzeuge genutzt werden)
- Nutzerverwaltung (Wer darf tanken? Wie erfolgt die Authentifizizierung? Wie erfolgt die Abrechnung?)
- Regelung zur rechtzeitigen Nachbetankung unter Beachtung der Mindestlagermenge
- Regelung der Wartung und Prüfung der Tankanlage
- Regelung der Wartung und Prüfung von Notstromaggregaten - Durchführung periodischer Probeläufe
- regelmäßige Personalunterweisung

Zur Nutzerverwaltung wird eine Zapfsäule mit einer Authentifizierungsmöglichkeit (Transponder, PIN oder Schlüssel) empfohlen (**Abb. 6.6**).



Abb. 6.7: Zapfsäule mit Authentifizierungseinheit

Beim **Stromausfall** ergeben sich aufgrund der begrenzten Ressource geänderte Nutzeranforderungen. Diese sind nachfolgend aufgelistet:

- Nutzerverwaltung Stromausfall (Wer darf noch tanken?)
- Aufbau der Notstromversorgung der Tankanlage
- Kommunikation mit dem Katastrophenschutz intern und extern
- Einschätzung des Treibstoffbedarfs
- Organisation von Treibstofflieferungen zur Befüllung der Tankanlage über den Katastrophenschutz oder Mineralöllieferanten
- Organisation der Betankung der Notstromaggregate
- ggf. Organisation von Tankzeiten

Die organisatorischen Anforderungen für den Stromausfall sind für den Krisen- oder Katastrophenfall vorzubereiten. Neben der geänderten Administration und Logistik muss auch ein Konzept zur Notstromversorgung der Eigenverbrauchstankstelle erarbeitet werden. Dabei sollte für das Notstromkonzept der Eigenverbrauchstankstelle geklärt werden, wer die Notstromanlage anschließen, betanken und betreiben darf.

6.3.2.3 Bestandteile der Kostenermittlung einer Eigenverbrauchstankstelle

Die Kostenschätzung zur Errichtung einer Eigenverbrauchstankstelle hängt im Wesentlichen von der Größe der Anlage, den gewählten Anlagenkomponenten und dem Aufstellort ab. Folgende Bau-, Dienstleistungen und Anlagenkomponenten sind in der Kostenschätzung zu berücksichtigen [7,10,11,14,28]:

- Planungsleistungen
- Gutachten nach § 41 Abs. 2 AwSV
- Sachverständigen Prüfungen
- Niederspannungsanlagen
- Notstromversorgung der Tankanlage
- Einbruchmeldeanlage (optional)
- Tankanlage inkl. notwendiger Überwachungseinrichtungen
- Zapfsäule inkl. Programmierung und Nutzerverwaltung
- Auffangwanne nach AwSV in Beton, als Beschichtung oder mobile Einheit
- Anfahrerschutz der Anlage
- Tiefbauleistungen
- Überdachung der Anlage (alternativ im Außenbereich)
- Leichtflüssigkeitsabscheider (alternativ im Außenbereich)

- Dokumentation
- Tank und Zapfeinheit für Hilfsstoffe, z. B. Adblue
- Lagerung von Bindemitteln und deren Entsorgung
- Mobiler Dieseltank (zur Betankung der Notstromaggregate im laufenden Betrieb)

Eine Kostenreduzierung kann durch die Nutzung eines vorhandenen Innenraums erzielt werden. Dadurch können eine Überdachung oder ein Leichtflüssigkeitsabscheider entfallen.

Der mobile Dieseltank sichert die Logistik in der Betankung der Notstromaggregate. Die Behältergröße sollte mindestens einem Tankzyklus entsprechen. Zur Handhabung empfiehlt sich auch die Ausstattung des mobilen Tanks mit einer 12 V Zapfeinheit.

6.4 Fallbeispiel

6.4.1 Untersuchungsgebiet

Die Anwendung der Dieselbedarfsermittlung und der erarbeiteten Checkliste aus Kap. 3 wurde am Fallbeispiel der Südoberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH (SOWAG) erprobt. Das Wasserversorgungsunternehmen (WVU) versorgt ca. 75.000 Menschen mit Trinkwasser. Für das WVU wurden eine Risikoanalyse und Bilanz-Struktur-Modelle nach [4] erarbeitet. Die Risikoanalyse aus dem Fallbeispiel zeigt erwartungsgemäß hohe Vulnerabilitäten für den flächendeckenden Stromausfall [4]. Die benötigte Anzahl an Notstromaggregaten wurde über die Betrachtung eines erweiterten Bilanzraums nach [8] ermittelt. Das Konzept der SOWAG sieht die Beschaffung und den Betrieb von vier Notstromaggregaten vor. Mit der Beschaffung der Notstromaggregate und der Dieselvorrhaltung können künftig ca. 90 % der Einwohner bei einem Stromausfall weiter versorgt werden.

6.4.2 Dieselbedarfsermittlung

Die Dieselbedarfsermittlung erfolgte über das Excel-Tool. Die Ergebnisse sind in der **Tab. 6.5** zusammengefasst. Die Dauer der Treibstoffversorgung wurde in Anlehnung an [1,7,13,14] mit drei Tagen gewählt. Der resultierende Dieselbedarf beläuft sich auf rund 6.000 l. In der Bemessung wurden neben der Ermittlung des Dieselbedarfs der Notstromaggregate der Dieselbedarf für Fahrzeuge und Baumaschinen sowie der notwendige Hilfsstoffbedarf berücksichtigt. Der Treibstoffbedarf für Betriebsfahrzeuge ergibt sich im Pilotprojekt für den Prozess der Nachbetankung der Notstromaggregate, für notwendige Betriebskontrollen, zur Störungsbeseitigung und für sonstige Betriebsfahrten.

Weiterhin ergibt sich ein Dieselbedarf für Baumaschinen, z. B. zur Rohrbruchbeseitigung. Im Fallbeispiel der SOWAG wurde für die Bemessung ein Rohrbruch pro Tag für ein 1.000 km langes Trinkwassernetz angesetzt.

Der Hilfsstoffbedarf ergibt sich aus dem Verbrauch an Adblue und Schmierölen der Notstromaggregate und Fahrzeuge. So ergibt sich im Bemessungszeitraum ein Bedarf von 187 l Adblue und 13 l Schmierölen. Die Vorhaltung der Hilfsstoffe ist zusätzlich zum Dieselbedarf zu berücksichtigen.

Tab. 6.5: Dieselbedarfsermittlung im Pilotprojekt

Grundparameter			
Dauer der Treibstoffversorgung		3	d
Dieselverbrauch			
Verbraucher		l/d	l/Dauer
Notstromaggregate		1.704,4	5.113,2
Betriebsfahrzeuge pauschal		130,0	390,0
Baumaschinen pauschal		190,0	570,0
Summe			6.073,2
Gewähltes Tankvolumen			
Gewähltes Tankvolumen			10.000,0
Verbleibendes Volumen für den Betrieb der Anlage			3.926,8
Hilfsstoffverbrauch			
Bezeichnung	Art	l/d	l/Dauer
Hilfsstoff 1	Adblue	62,4	187,1
Hilfsstoff 2	Schmieröl	4,5	13,4

Der Treibstoffbedarf für Betriebsfahrzeuge ergibt sich im Pilotprojekt für den Prozess der Nachbetankung der Notstromaggregate, für notwendige Betriebskontrollen, zur Störungsbeseitigung und für sonstige Betriebsfahrten.

Weiterhin ergibt sich ein Dieselbedarf für Baumaschinen, z. B. zur Rohrbruchbeseitigung. Im Fallbeispiel der SOWAG wurde für die Bemessung ein Rohrbruch pro Tag für ein 1.000 km langes Trinkwassernetz angesetzt.

Der Hilfsstoffbedarf ergibt sich aus dem Verbrauch an Adblue und Schmierölen der Notstromaggregate und Fahrzeuge. So ergibt sich im Bemessungszeitraum ein Bedarf von 187 l Adblue und 13 l Schmierölen. Die Vorhaltung der Hilfsstoffe ist zusätzlich zum Dieselbedarf zu berücksichtigen.

Das Tankvolumen wurde mit 10.000 l gewählt, resultierend ergeben sich ca. 4.000 l für den dauerhaften Betrieb der Anlage. Im Fallbeispiel beträgt der jährliche Dieselbedarf ca. 20.000 l. In der dauerhaften Nutzung der Betriebstankstelle ergibt sich somit eine mittlere Aufenthaltszeit des Diesels von 0,5 a. Die dauerhafte Nutzung der Anlage gewährleistet die Funktion der Anlage und die Haltbarkeit des Treibstoffs.

Die Berechnungsmethoden nach den **Gl. 6.6 – 6.9** wurden am Beispiel eines Zwischenpumpwerks erprobt, der technische Aufbau der Anlage entspricht dem Schema in **Abb. 6.6**. Die Ergebnisse des Vergleichs sind in der **Tab. 6.6** angegeben.

Tab. 6.6: Vergleich der Berechnungsmethoden

Berechnungs- methode	Gl.	P_{elt} [kWh]	P_{Hilf} [kWh]	P_P [kWh]	η_{Elt} [%]	η_P [%]	h_F [mWS]	Q [m³/h]	V_{KW} [l/h]	Abweichung [%]
Schätzung	6.9						101	147,5	23,8	-1,3
P_{Elt}	6.6	61,8	5						24,2	Referenz
P_P	6.7		5	54,2	89,6				23,7	-2,0
P_{Hyd}	6.8		5		89,6	74,8	101	147,5	23,7	-2,0

P_{Elt} , P_{Hilf} , h_F sowie Q wurden messtechnisch erfasst und P_P , η_{Elt} sowie η_P wurden den Pumpenherstellangaben entnommen. Die Abweichungen der Berechnungsergebnisse liegen im Toleranzbereich des Herstellers. Bei einer Nutzung der **Gl. 6.9** können die Abweichungen bei Betrachtung anderer Systeme größer ausfallen.

6.4.3 Anwendung der Checkliste und Investitionskosten

Die Planung der Betriebstankstelle erfolgte auf der Grundlage der erstellten Checkliste. Bau und Betrieb der Anlage wurden durch die untere Wasserbehörde genehmigt. Im Rahmen der Planung wurden Kostenschätzungen für eine Außenaufstellung (**Tab. 6.7**) und eine Innenaufstellung (**Tab. 6.8**) der Eigenverbrauchstankstelle ermittelt. Umgesetzt wurde die Variante der Innenaufstellung. Die Kostenfeststellung entsprach der Höhe der Kostenschätzung. Die Umsetzung der Maßnahme wurde aus den Konjunkturprogramm des Bundes 2022 zur Umsetzung von Maßnahmen nach Wassersicherstellungsgesetz mit 10.750 € Netto teilfinanziert. Der verbleibende Kostenanteil wurde vom WVU erbracht.

Tab. 6.7: Kostenschätzung Außenaufstellung der Eigenverbrauchstankstelle

KG/ OZ*	Leistung	GP in €
300	Bauwerk und Baukonstruktionen	29.750,00
310	Baugrube	1.250,00
311	Baugrubenherstellung	1.250,00
320	Gründung	8.500,00
322	Flachgründung-Fundamente Dach	3.000,00
324	Bodenplatte außen inkl. Unterbau	5.500,00
360	Dächer	18.000,00
361	Dachkonstruktionen	10.000,00
363	Dachbeläge inkl. Dach- und Abwasseranschluss	8.000,00
390	Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktionen	2.000,00
391	Baustelleneinrichtung	1.000,00
394	Abbruchmaßnahmen Asphalt	1.000,00
400	Bauwerk Technische Anlagen	31.500,00
440	Starkstromanlagen	4.000,00
444	Niederspannungsanlagen - Steckdosen und Licht	4.000,00
450	Fernmelde und Informationstechnische Anlage	2.000,00
456	Einbruchmeldeanlage	2.000,00
470	Nutzungsspezifische Anlagen	22.000,00
479	Mobiler Dieseltank nach ADR	2.000,00
479	Tank Adblue außen	2.000,00
479	Tankanlage inkl. Zapfsäule für Außen	10.000,00
479	Auffangwanne nach AwSV für Außenaufstellung	8.000,00
490	Sonstige Maßnahmen für technische Anlagen	3.500,00
499	Gutachten nach § 41 Abs. 2 AwSV	2.000,00
499	Dokumentation inkl. TÜV-Gutachten	1.500,00
Gesamt in € (Netto)		61.250,00

*Kostengruppe nach DIN 276 [29]

Tab. 6.8: Kostenschätzung Innenaufstellung der Eigenverbrauchstankstelle

KG/ OZ*	Leistung	GP in €
400	Bauwerk Technische Anlagen	24.500,00
440	Starkstromanlagen	4.000,00
444	Niederspannungsanlagen - Steckdosen und Licht	4.000,00
450	Fernmelde und Informationstechnische Anlage	2.000,00
456	Einbruchmeldeanlage	2.000,00
470	Nutzungsspezifische Anlagen	15.000,00
479	Mobiler Dieseltank nach ADR	2.000,00
479	Tank Adblue inkl. Zapfanlage	1.000,00
479	Tankanlage inkl. Zapfsäule für Innen	8.500,00
479	Auffangwanne nach AwSV Innen	2.500,00
479	Anfahrerschutz	1.000,00
490	Sonstige Maßnahmen für technische Anlagen	3.500,00
499	Gutachten nach § 41 Abs. 2 AwSV	2.000,00
499	Dokumentation inkl. TÜV-Gutachten	1.500,00
Gesamt in € (Netto)		24.500,00

*Kostengruppe nach DIN 276 [29]

6.5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Notstromversorgung von Trinkwasserversorgungsanlagen stellt eine Härtung der leitungsgebundenen Versorgung und somit einen Beitrag zur Stärkung der Resilienz dar [7-8]. Für den Betrieb der Notstromanlagen muss das WVU ausreichend Treibstoff (i.d.R. Diesel) vorhalten. Dies kann durch die Errichtung von Betriebstankstellen durch das WVU realisiert werden.

Ein wesentlicher Faktor in der Bemessung der Anlagen ist die Dauer der Eigenversorgung. Diese ist im Rahmenkonzept zur Trinkwassernotversorgung [13] mit 72 Stunden empfehlend angegeben. Zur genauen Planung bedarf es der Berücksichtigung von landesspezifischen Regelungen und der Abstimmung mit den Katastrophenschutzbehörden.

Zur Dieselbedarfsermittlung wurden die **Gl. 6.6 – 6.9** aufgestellt. Diese berücksichtigen die maschinentechnischen Grundlagen der Notstromaggregate und die Hydromechanik zur Wasserförderung. Aus den Erkenntnissen des Pilotprojekts zeigten sich folgende zusätzliche Anforderungen an die Bemessung der Treibstoffbevorratung beim WVU:

- Berücksichtigung des Dieselbedarfs für Betriebsfahrzeuge sowie Baumaschinen, z. B. zur Rohrbruchbeseitigung, für Betriebsfahrten und zur Nachbetankung der Notstromaggregate
- Berücksichtigung des notwendigen Hilfsstoffbedarfs, wie z. B. Adblue und Schmieröle
- Berücksichtigung einer Volumenreserve für den Betrieb der Dieseltankstelle, um so die Funktion der Anlage und die Haltbarkeit des Treibstoffs zu gewährleisten

Es wird empfohlen, die genannten Punkte in künftigen Treibstoffversorgungskonzepten zu integrieren. Die Berechnungsgrundsätze wurden in einem Excel-Tool zusammengefasst. Das Excel-Tool beschränkt sich auf eine statische Verbrauchsermittlung, so wurden z. B. Verbrauchsgänge oder Befüllzyklen nicht berücksichtigt.

An die Planung, den Bau und den Betrieb der Betriebstankstellen werden neben der Bedarfsermittlung Anforderungen zur Lagerung von wassergefährdenden Stoffen und zur Organisation gestellt. Die Anforderungen zur Lagerung von wassergefährdenden Stoffen ergeben sich insbesondere aus dem WHG [17] in Verbindung der AwSV [11]. Ergänzend sind landesspezifische Regelungen und das technische Regelwerk [16] zu beachten.

Die organisatorischen Anforderungen für das WVU teilen sich in Aufgaben des Normalbetriebs, wie z. B. Nutzungskonzepte, Wartung und Prüfung der Anlagen oder Probeläufe, und in Aufgaben des Ereignisfalls, z. B. im Falle eines flächendeckenden Stromausfalls, so z. B. die Nachbetankung der Notstromanlagen, eine beschränkte Nutzerverwaltung oder die Kommunikation mit dem KatS.

Zur Umsetzung der Anforderungen wurden die zu berücksichtigen Kostenbestandteile analysiert. Im Pilotprojekt zeigte sich hier erwartungsgemäß ein Kostenvorteil bei der Errichtung in vorhandenen Innenräumen.

Die Erkenntnisse des Pilotprojekts wurden in einer Checkliste zusammengefasst und am Fallbeispiel der SOWAG bis zur Errichtung einer Betriebstankstelle erprobt. Im Sinne der allgemeinen Notfallvorsorgeplanung nach DVGW W 1001 [30] konnten die Kommunikationsmöglichkeiten bei einem flächendeckenden Stromausfall nicht abschließend geklärt werden.

Zusammenfassend zeigt das Pilotprojekt, dass durch die Errichtung einer Eigenverbrauchstankstelle die Dieselvorrhaltung beim WVU gesichert werden kann. Die Dieselvorrhaltung ist für viele WVU eine Grundvoraussetzung zur Aufrechterhaltung der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung während eines flächendeckenden Stromausfalls.

6.7 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Treibstoffversorgung bei Stromausfall Empfehlung für Zivil- und Katastrophenschutzbehörden. Stand Juli 2017, Hrsg. BBK, ISBN 978-3939347750.
- [2] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. FAQ zum Stromnetz, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Strom/start.html> (aufgerufen am 18.01.2024).
- [3] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Sicherheit der Wasserversorgung – Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. *gwf-Wasser/Abwasser* 03/2023, S. 63–75. doi:10.17560/gwfwa.v164i3.2642.
- [4] Heumer, F.; Kritznier, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Vulnerabilitätsmittlungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. *gwf-Wasser/Abwasser* 09/2023, S. 71–79. doi:10.17560/gwfwa.v164i09.2671.
- [5] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig. Sonderdruck *gwf-Wasser/Abwasser* 01/2020, S. 1–5.
- [6] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung – Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig. *BBK Bevölkerungsschutz* 3/2018, S. 12–17.
- [7] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung. *BBK Fachinformation Praxis im Bevölkerungsschutz*. Ausgabe 06/2019, Hrsg. BBK, Band 15, Bonn.
- [8] Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen. *gwf-Wasser/Abwasser* 12/2023, S. 63–72. doi:10.17560/gwfwa.v164i12.2699.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.. DIN EN 590 – Kraftstoffe – Dieseldieselkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 590:2022, Stand Mai 2022, Hrsg. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [10] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Neue Erkenntnisse zur Lagerfähigkeit von Brennstoffen für Netzersatzanlagen. Stand Januar 2015, Hrsg. BSI.
- [11] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- [12] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). *BBK-Glossar*, https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/glossar_node.html (aufgerufen am 18.01.2024).

- [13] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Rahmenkonzept der Trinkwassernotversorgung - Neukonzeption zur Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen in Anlehnung an die Konzeption zivile Verteidigung. Feb. 2022. Hrsg. BBK, Bonn.
- [14] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Notstromversorgung in Unternehmen und Behörden. Stand Januar 2019; Hrsg. BBK, Bonn; ISBN 3-939347639.
- [15] Total Energies. Sicherheitsdatenblatt nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH), Anhang II, abgeändert gemäß Verordnung (EU) 2020/878; Dieselkraftstoff, Stand März 2023; Hrsg. Total Energies Marketing Deutschland GmbH, Berlin.
- [16] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Arbeitsblatt DWA-A 781 (TRWS 781) - Technische Regel wassergefährdender Stoffe: Tankstellen für Kraftfahrzeuge - Dezember 2018; Stand korr. Fassung Mai 2019; Hrsg. DWA; ISBN 978-3887217563.
- [17] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 5) geändert worden ist.
- [18] Sächsische Anlagenverordnung (SächsVAwS) vom 18. April 2000 (SächsGVBl. S. 223), die zuletzt durch Artikel 13 des Gesetzes vom 12. Juli 2013 (SächsGVBl. S. 503) geändert worden ist.
- [19] Häberle, H.; Häberle, G.; Häberle, V.; Häberle, K.; Isele, D. Tabellenbuch Elektrotechnik, 30. Auflage, Stand Mai 2022, Hrsg. Europa-Lehrmittel, ISBN 978-3808530764.
- [20] Deutz. Produktdatenblätter / Data sheets WA D 20- 500 kVA; Stand Aug. 2023; Hrsg. WA Notstromtechnik GmbH.
- [21] Volvo. Produktdatenblätter TAD 530 GE – TAD 880-882 GE. <https://www.volvopenta.com/industrial/power-generation-engines/power-generation-engine-range/d16-eu-stage-iiia-epa-tier-3/> (aufgerufen am 22.12.2023).
- [22] Mitsubishi. Produktdatenblätter S3L2-S4S-DT. <https://rid-international.com/de/stationaere-stromerzeuger/mitsubishi.html> (aufgerufen am 23.12.2023).
- [23] John Deer. Produktdatenblatt DM01VP. https://rid-international.com/images/website/de/datasheets/biggensets/DEUTSCH/DOOSAN/datasheet_RID_30_B-SERIES_S_STAGE_5_DE.pdf (aufgerufen am 23.12.2023).
- [24] Doosan. Produktdatenblätter D1146T-DM02VP. <https://rid-international.com/de/stationaere-stromerzeuger/doosan.html> (aufgerufen am 23.12.2023).
- [25] Aigner, D.; Bollrich, G. Handbuch der Hydraulik für Wasserbau und Wasserwirtschaft. 1. Auflage, Stand Aug. 2015, Hrsg. Beuth Verlag GmbH, Berlin, ISBN 978-3410213413.
- [26] Rautenberg, J.; Fritsch, P.; Hoch, W.; Merkl, G.; Otilinger, F.; Weiß, M.; Wricke, B. Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung. 16. Auflage, 2014, Hrsg. Springer Vieweg, Wiesbaden, ISBN 978-3834825612.
- [27] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). DVGW-Information Wasser Nr. 77 – Handbuch Energieeffizienz/ Energieeinsparung in der Wasserversorgung. Juli 2010, WVGW-Verlag, Bonn, ISSN 0176-3504.

- [28] Benz, A.; Bilger, F.; Broggi, G. F.; Gäumann, A.; Gastaldi, L.; Müller, M.; Rahn, M.; Wenger, N.; Wiprächtiger, M. Leitfaden zur Treibstoffversorgung der Kantone bei Stromausfall- Sicherstellung einer widerstandsfähigen Tankstelleninfrastruktur zur Aufrechterhaltung der Mobilität von Behörden und Organisationen für Rettung und Sicherheit bei Stromausfall. Stand Aug. 2020; Hrsg. Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung, Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung BWL, Bern.
- [29] DIN 276. Kosten im Bauwesen. Ausg. 12/2018, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [30] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW). Merkblatt W 1001 2020-11 Wasser Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risiko- und Krisenmanagement. November 2020, WVGW-Verlag, Bonn, ISSN 0176-3504.

7 Zusammenfassende Diskussion, Schlussfolgerungen und Ausblick

7.1 Zusammenfassende Diskussion

Die zusammenfassende Diskussion der Arbeit erfolgt im Kontext der identifizierten Defizite und abgeleiteten Forschungsfragen (F 1.1 – F 5.4).

F 1.1 Welche Zuständigkeiten, Schutzziele und Maßnahmen bestehen für den Fall einer Beeinträchtigung oder Unterbrechung der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene?

Im Normalbetrieb bilden die Wassergesetze des Bundes und der Länder eine fundierte und gute „Rechts“-**Grundlage** für die Trinkwasserversorgung. Demgegenüber sind die Verantwortlichkeiten, Schutzziele und Maßnahmen bei Beeinträchtigung oder Unterbrechung der Wasserversorgung zum Teil unzureichend geregelt und variieren zwischen den einzelnen Landesgesetzen.

Auf Bundesebene enthält das WasSiG [1] konkrete Regelungen zu Notfallvorsorgemaßnahmen, jedoch beschränkt auf den Verteidigungsfall. Eine Erweiterung des Wassersicherstellungsrechts könnte auch für andere Not- und Krisenfälle einen Beitrag zur Erhöhung der Resilienz der Wasserversorgung leisten, dies wird auch durch Reinhardt [2] gefordert.

Die bestehenden Möglichkeiten zur Kapazitätserhöhung gemäß § 8 Abs. 2 WHG [3] sowie die Optionen zur Begrenzung des Wasserbedarfs im Rahmen des wasserrechtlichen Vollzugs können ebenfalls dazu beitragen, die Resilienz der Wasserversorgung zu erhöhen.

In den landesrechtlichen Regelungen sind in zehn Bundesländern konkrete Inhalte mit Bezug zur Sicherung der Wasserversorgung enthalten. Dazu zählen beispielsweise Bestimmungen zur Verantwortung in Not- und Krisenfällen [4], gebietsübergreifende Betrachtungen [5,6,7], die Berücksichtigung des Klimawandels [4,8], Anforderungen an den Hochwasserschutz [8,9], Mitwirkungspflichten für den Katastrophenfall [10,11] und das Schutzziel: die eigene kritische Infrastruktur beim Ausfall anderer kritischer Infrastruktur weiter zu betreiben [10,12].

Auf kommunaler Ebene gelten in einigen hessischen Städten Gefahrenabwehrverordnungen [13-15], welche beispielsweise in Trockenperioden die Gartenbewässerung, die Befüllung von Pools und gewerbliche Wassernutzungen untersagen. Dadurch kann eine Ersatzwasserversorgung abgesichert werden.

F 1.2 Welche regulatorischen Defizite lassen sich für die Umsetzung eines Risikomanagements für Not- und Krisenfälle in Wasserversorgungsunternehmen identifizieren?

In Kapitel 2 und insbesondere in **Tab. 2.2** findet sich ein zusammenfassender Überblick über die bestehenden Regelungen und Defizite der bestehenden Gesetzgebung. Aus den bestehenden regulatorischen Regelungen lassen sich in Bezug auf die Umsetzung des Risikomanagements für Not- und Krisenfälle allerdings nur vereinzelte konkrete Pflichten der Wasserversorger ableiten, wie beispielsweise in den Landeswassergesetzen von Sachsen [4] oder Nordrhein-Westfalen [8].

Gegenüber den regulatorischen Defiziten zeigt die vorliegende Studie den hohen Nutzen der leitungsgebundenen Ersatzwasserversorgung auf. Gleichzeitig kann durch die leitungsgebundene Versorgung die Abwasserentsorgung und die Gesundheitsvorsorge aufrechterhalten werden. Vor dem Hintergrund des hohen Nutzens der leitungsgebundenen Ersatzwasserversorgung sollten die Anforderungen an die Umsetzung des Notfall- und Krisenmanagements der Trinkwasserversorger verstärkt diskutiert und in den regulatorischen Vorgaben berücksichtigt werden.

F 2.1 Wie kann eine qualifizierte Priorisierung der Gefahren vorgenommen werden, ohne dass sich der Aufwand für die Bearbeitung wesentlich erhöht?

Zur Beantwortung der **F 2.1** wurde ein Werkzeug zur semi-quantitativen Priorisierung entwickelt. Die entwickelte Methodik der **Gefahrenanalyse** entspricht den Vorgaben aus dem europäischen Risikomanagement [16,17] und zeigt mögliche Gefährdungen der öffentlichen Wasserversorgung mit fachlicher Begründung auf. Durch die Kategorisierung mit anschließender Quantifizierung wird eine klar erfassbare Ordnung erreicht und der subjektive Anteil reduziert. Die Bewertung jeder einzelnen Gefährdung erfordert jedoch umfangreiche Recherchen und erfordert zum Teil Expertenwissen. Die Qualität der Bewertung hängt von den zur Verfügung stehenden Daten ab (**F 2.2**).

F 2.2 Welche Datengrundlagen stehen dem Wasserversorgungsunternehmen zur Verfügung, um die Gefahren bewerten zu können?

Die Ergebnisse der Recherchen zeigen, dass nicht immer ausreichend Daten für eine exakte Bewertung vorliegen. Dies betrifft vor allem äußere Gefahren mit sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und damit auch fehlenden Daten für eine statistische Einordnung, wie beispielsweise für die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Blackouts. Bei einer geringen

Datenverfügbarkeit steigt der subjektive Anteil, was zu Ungenauigkeiten im Bewertungsverfahren führen kann. Zudem erfordert die Bewertung einiger Gefahren Expertenwissen, beispielsweise die Bewertung der Auswirkungen eines Atomunfalls. In der Regel ist das Expertenwissen, das für die Bewertung der genannten Gefahren erforderlich ist, beim Wasserversorgungsunternehmen nur in begrenztem Umfang vorhanden. In der Anwendung der Methodik durch die Aufgabenträger der öffentlichen Trinkwasserversorgung und insbesondere in Bezug auf kleine bis mittlere WVU stellt sich die Frage, ob dieser Arbeitsschritt zu leisten ist oder ob für prioritäre Gefahren ein Mindestumfang definiert werden kann (F 2.3). Ähnliche Erkenntnisse wurden auch von Hüttner & Winkler [18] und Hüttner et al. [19] am Beispiel von Leipzig und Dresden gewonnen.

F 2.3 Welche verallgemeinerten Gefahrenschwerpunkte lassen sich für die leitungsgebundene Trinkwasserversorgung ableiten?

Aus den gewonnenen Erkenntnissen (F 2.1 und F 2.2) wird vorgeschlagen, einen Mindestumfang (Tab. 7.1) der zu berücksichtigenden Gefährdungen von übergeordneter Stelle vorzugeben. Die in der Tab. 7.1 enthaltenen Gefahren wurden aus den Erkenntnissen der Literatur [18-19] entwickelt und begründen sich auf der Datenbasis der vorliegenden Studie.

Tab. 7.1: Mindestumfang zu berücksichtigender Gefahren

Naturgefahren	Technisches und menschliches Versagen	Anschläge, Sabotage, kriegерische Handlungen
Hochwasser	Ausfall von Einzelanlagen*	IT-Angriff
Sturzflut	Rohrbruch auf Verbundleitungen	
Trockenheit	flächendeckender Stromausfall*	
Erdbeben	Unfälle mit Gefahrstoffen	
Groß- und Flächenbrand		
Epidemie, Pandemie		

* vorrangige Nutzung zur Szenariobildung

Es ist zu berücksichtigen, dass bei abweichenden Rahmenbedingungen zusätzliche Gefahren in der Gefahrenanalyse relevant werden können, so z. B. Sturmfluten, Erdbeben und andere orts- oder organisationsspezifische Gefahren.

F 3.1 Wie kann die Vulnerabilitätsanalyse mit einem vereinfachten Modellansatz durchgeführt werden und wo liegen die Anwendungsgrenzen?

Im Rahmen des Risikomanagements gemäß [16,17] ist im nächsten Schritt eine **Risikoabschätzung** durchzuführen. Die Ermittlung des Schadensausmaßes erfolgte durch

Bildung von Szenarien, abgeleitet aus der Gefahrenanalyse, und einer Vulnerabilitätsanalyse durch Anwendung der BSM. Die BSM stellen dabei eine sinnvolle Ergänzung bestehender Instrumente zur Vulnerabilitätsbestimmung dar [20-38]. Die Abgrenzungen zur vorhandenen Literatur sind nachfolgend zusammengefasst:

- Im Vergleich zu hydraulischen Simulationen mit hydrodynamischen Rohrnetzmodellen [20-33] wird der Systemaufbau deutlich vereinfacht dargestellt. Der exakte Rohrleitungsverlauf, Höhenangaben, die Rohrleitungsdimensionierung, Materialangaben und Verbrauchsganglinien werden in den BSM nur indirekt berücksichtigt, indem ein funktionierendes System bilanziell abgebildet wird. Die Berücksichtigung der hydromechanischen Grenzwerte erfolgt über Kapazitätsangaben der Anlagenkomponenten und wird nicht in der Simulation der BSM nachgewiesen.
- In der Gegenüberstellung der Systemdynamikmodelle [34-38] zeigt sich, dass die BSM die kausalen Betriebsbedingungen direkt anhand des realen Systemaufbaus und der Topologie der Wasserversorgung und nicht über abstrahierte Wirkungsketten abbilden. Die Simulation der BSM erfolgt durch ausgewählte Systemeinstellungen unter konstanten Bedingungen. In den BSM ist eine Abbildung dynamischer Systembedingungen im Gegensatz zu den Systemdynamikmodellen nicht möglich, was zu Unsicherheiten im Berechnungsergebnis der BSM führen könnte.

Somit ersetzen die BSM komplexe hydraulische oder systemdynamische Modelle durch eine graphenbasierte semidynamische Bilanzierung. Aufgrund des vereinfachten Systemaufbaus der BSM sind diese jedoch für eine exakte hydraulische Simulation nicht geeignet. Das Simulationsergebnis liefert eine visuelle Darstellung der Vulnerabilität in Bezug zur Topologie und eine zeitabhängige Prognose des Schadensausmaßes unter Angabe der betroffenen Einwohner. Ergänzend wird über die Simulation der Trink-, Ersatz- und Notwasserbedarf abgeschätzt.

F 3.2 Welche aus der Gefährdungsanalyse abgeleiteten Szenarien führen zu den höchsten Vulnerabilitäten der leitungsgebundenen Wasserversorgung?

Die Auswertung der Fallbeispiele zeigt erwartungsgemäß die kritischste Betroffenheit im Szenario des flächendeckenden Stromausfalls mit einer sehr hohen Vulnerabilität bis hin zum Totalausfall der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung. Allerdings kann auch der Ausfall systemrelevanter Komponenten zu massiven Versorgungsunterbrechungen führen.

In Systemen mit Verbundleitungen konnten deutlich höhere Resilienzen der leitungsgebundenen Wasserversorgung nachgewiesen werden. Der Erhalt und Bau von

Verbundnetzen ist daher eine geeignete Maßnahme zur Erhöhung der Resilienz der leitungsgebundenen Wasserversorgung. Kritisch zu hinterfragen ist die Außerbetriebnahme oder Reduzierung der Leistungsfähigkeit bestehender Verbundsysteme. So wurden im betrachteten Fallbeispiel in der Vergangenheit aus Kostengründen Leitungsdimensionen reduziert und Verbundleitungen zurückgebaut. Die Kosten für die Ertüchtigung dieser Systeme übersteigen die Kosten für den Erhalt um ein Vielfaches.

F 4.1 Welche planerischen Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz der öffentlichen Wasserversorgung?

Die größten Unsicherheiten in der Simulation und Planung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz ergeben sich aus Unsicherheiten im Verbrauchsverhalten. Dabei wurden in der Studie die Verbrauchsberechnungen unter konstanten Bedingungen durchgeführt. Mehr- oder Mindermengen wurden in Abhängigkeit des zu betrachtenden Szenarios gewählt und über den Verbrauchsfaktor (f_{dx}) in den Modellen pauschal berücksichtigt. In den internationalen Angaben zum Ersatz- und Notwasserbedarf [39-43] sind unterschiedliche Verbrauchsansätze enthalten. Die Validierung der Verbrauchsansätze ist aufgrund fehlender Daten zu bekannten Not- und Krisenfällen nur begrenzt möglich. Zudem wird eine szenarioabhängige Verbrauchsbetrachtung bisher nicht beschrieben. Eine szenarioabhängige Verbrauchsbetrachtung ist jedoch wichtig, um die Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz an den tatsächlichen Trinkwasserbedarf anzupassen. Dabei sollte z. B. bei der Betrachtung von Trockenperioden auf die Anwendung von Spitzenwerten wie $Q_{d,max}$ verzichtet und moderate Verbrauchssteigerungen wie z. B. $Q_{d,7}$ angesetzt werden. Bei flächenhaften Ereignissen, wie z. B. einem Blackout, erscheint ein reduzierter Verbrauchsansatz richtig, da hier aufgrund der fehlenden Stromversorgung auch mit einem reduzierten Verbrauchsverhalten durch z. B. fehlende Warmwasserversorgung, Nichtbetrieb von Wasch- oder Spülmaschinen und reduziertem Verbrauch im Industrie- und Gewerbebereich zu rechnen ist. Im Rahmen der Eingangsparametrierung des BSM werden folgende, auf Szenarien basierende Verbrauchsansätze vorgeschlagen:

$f_{dx} > 1,0$	Anwendung bei Trockenperioden als $f_{d,7}$
$f_{dx} = 1,0$	Anwendung bei Szenarien, die den Normalverbrauch nicht beeinträchtigen als f_{dm} , so z. B. beim Ausfall eines Wasserwerks
$f_{dx} < 1,0$	Anwendung zur Ermittlung der Ersatzwassermengen $f_{d,EW}$ und der Notwassermengen $f_{d,NW}$ bei flächenwirksamen Ereignissen wie einem Blackout

Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich der Eingangsparametrierung der BSM erscheint auch der vereinfachte Modellaufbau mit einer begrenzten Genauigkeit in der Bemessung des Ersatz- und Notwasserbedarfs als ausreichend.

F 4.2 Welche Planungsgrundsätze sollten im Rahmen der Bemessung von Trinkwasseranlagen zusätzlich für Not- und Krisenfälle berücksichtigt werden?

Für die **Risikobeherrschung** als letzten Arbeitsschritt des Risikomanagements nach [16,17] müssen wirksame Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz identifiziert werden. Bei der Identifikation und Planung von Maßnahmen können BSM unterstützend wirken. Insbesondere können mit Hilfe eines erweiterten Bilanzraums Maßnahmen identifiziert werden, die eine leitungsgebundene Trinkwasserversorgung mit möglichst wenigen Anlagen ermöglichen. Dies ermöglicht eine transparente Optimierung des Mitteleinsatzes im Risikomanagement. Für die zukünftige Berücksichtigung von Not- und Krisenfällen bei der Anlagenauslegung werden folgende Grundsätze vorgeschlagen:

- Risikoanalysen der Wasserversorgungssysteme unter Berücksichtigung der relevanten Gefährdungen,
- Aufrechterhaltung des Betriebes mit einer Mindestanzahl von Anlagen,
- Verzicht auf einen Mindestversorgungsdruck,
- Nutzung der vollen technischen Kapazität ohne Berücksichtigung von Redundanzen für Not- und Krisenfälle,
- szenarioabhängige Verbrauchsansätze nach **Tab. 5.1**.

Die Umsetzung der Planungsgrundsätze wurde anhand eines Fallbeispiels evaluiert. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass durch die Berücksichtigung der notwendigen Förderkapazitäten für Not- und Krisenfälle die Resilienz der Trinkwasserversorgungssysteme deutlich gesteigert werden kann. Konkret wurden Verbundleitungen bzw. Übergabestellen geschaffen, die Förderkapazität von zwei Zwischenpumpwerken erhöht und drei Notstromaggregate beschafft. Mit den beschriebenen Maßnahmen können künftig 75 % der Bevölkerung mit dem Betrieb von nur 3 Anlagen im Falle eines Blackouts versorgt werden.

F 4.3 Wie lassen sich die maschinentechnischen Grundlagen der Notstromaggregate und die hydromechanischen Anforderungen zur Wasserförderung für die Bemessung von Systemen bei Energieausfall kombinieren?

Die Untersuchung begrenzte sich auf die Dieselbereitstellung. Zur Dieselbedarfsermittlung der Wasserförderung wurden die **Gl. 6.6 – 6.9** aufgestellt und in eine Tabellenkalkulation integriert.

Die **Gl. 6.6 – 6-9** berücksichtigen die maschinentechnischen Grundlagen der Notstromaggregate sowie die Hydromechanik zur Wasserförderung. Aus den Erkenntnissen der Studie ergaben sich folgende zusätzliche Anforderungen an die Bemessung der Treibstoffbevorratung beim WVU:

- Berücksichtigung des Dieselbedarfs für Betriebsfahrzeuge sowie Baumaschinen, z. B. zur Rohrbruchbeseitigung, für Betriebsfahrten und zur Nachbetankung der Notstromaggregate
- Berücksichtigung des notwendigen Hilfsstoffbedarfs, wie z. B. Adblue und Schmieröle
- Berücksichtigung einer Volumenreserve für den Betrieb der Dieseltankstelle, um so die Funktion der Anlage und die Haltbarkeit des Treibstoffs zu gewährleisten

Es wird empfohlen, die genannten Punkte in künftigen Treibstoffversorgungskonzepten zu integrieren.

F 4.4 Welche spezifischen Anforderungen ergeben sich für die Bemessung des Treibstoffbedarfs und der Treibstoffvorhaltung beim Wasserversorgungsunternehmen?

Ein wesentlicher Faktor in der Bemessung der Anlagen ist die Dauer der Eigenversorgung. Diese ist im Rahmenkonzept zur Trinkwassernetversorgung [43] mit 72 Stunden empfehlend angegeben. Zur genauen Planung bedarf es der Berücksichtigung von landesspezifischen Regelungen und der Abstimmung mit den Katastrophenschutzbehörden. Die bundeseinheitliche Vorgabe einer energieautarken Mindestversorgungsdauer sollte diskutiert werden.

Weiterhin sind durch die WVU Anforderungen zur Lagerung von wassergefährdenden Stoffen, die Vorgaben aus dem WHG [44] in Verbindung der AwSV [45], landesspezifische Regelungen und das technische Regelwerk [46] zu berücksichtigen. Hier existieren klare Vorgaben, diese wurden in Form von Checklisten zusammengefasst.

Bei den organisatorischen Anforderungen zeigte die Studie, dass anlagenbezogene Nutzungskonzepte die Standzeiten des Diesels reduzieren und damit eine dauerhafte Betriebsfähigkeit der Anlage ermöglichen.

F 4.5 Letztlich ist auch die Abwägung der gewünschten breiten Nutzbarmachung der Methoden und Erkenntnisse gegenüber der erforderlichen Wahrung sensibler Daten der kritischen Infrastruktur eine Forschungsfrage: Wie lässt sich der gesamte methodische Ansatz zur Härtung der Trinkwasserversorgung instruktiv und exemplarisch bei hinreichender Anonymisierung bzw. Abstraktion der Systemdaten veröffentlichen?

Eine reine Methodendarstellung ohne exemplarische Anwendung steht der gewünschten Nachnutzung durch andere Versorgungsunternehmen entgegen. Alle verwendeten Beispiele basieren auf Unternehmensdaten der SOWAG. Dabei wurden Daten angefangen von der Gefahrenanalyse über die Risikoabschätzung bis hin zur Umsetzung von Maßnahmen der Risikobeherrschung detailliert beschrieben. Die anonymisierte Darstellung der Daten hatte in der Erstellung der Veröffentlichungen einen hohen Stellenwert. In der Methodik wurden Ortschaften durch Buchstaben und Netzstrukturen abgewandelt dargestellt. Die enthaltenen Betriebsdaten wurden unverändert veröffentlicht. Damit wurde eine hohe Anschaulichkeit und Nachvollziehbarkeit ohne Offenlegung konkreter Ansatzpunkte für gezielte Störungen der Wasserversorgung angestrebt. Letztlich bleibt die offene Kommunikation des Risikomanagements in Bereichen der kritischen Infrastrukturen immer ein Balanceakt. Neben frei zugänglichen Fachveröffentlichungen erscheinen deshalb auch andere Formate, wie der Austausch in Unternehmensnachbarschaften oder Benchmarking-Projekten, als eine notwendige Ergänzung.

7.2 Zentrale Forschungsfrage, Schlussfolgerungen und Ausblick

Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit soll mit den Schlussfolgerungen und dem Ausblick beantwortet werden, sie lautet:

Wie lassen sich auf Unternehmensebene eine belastbare Risikoanalyse der Trinkwasserversorgung durchführen und geeignete Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz ableiten?

Erste Defizite wurden in den rechtlichen Grundlagen ermittelt und aufgezeigt. Hier sollten verpflichtende Elemente in den regulatorischen Vorgaben zur Umsetzung des Risikomanagements und der Maßnahmen zur Wasserhärtung stärker diskutiert werden.

Der Arbeitsschritt der Gefährdungsanalyse ist sehr umfangreich und erfordert Expertenwissen in mehreren Bereichen. Dem Wasserversorger sollte eine begrenzte Anzahl von prioritären Gefährdungen vorgegeben werden, dies reduziert nicht nur den Arbeitsaufwand in der Gefährdungsanalyse selbst, sondern auch in den nachfolgenden Schritten des Risikomanagements.

Für die Bewertung der Resilienz von Rohrleitungssystemen existieren viele gute Werkzeuge [20-38]. Die bekannten Verfahren sind komplex und benötigen für eine exakte Simulation ausreichende und qualifizierte Daten. Im Vergleich zu bestehenden Instrumenten des Risikomanagements sind Bilanzmodelle wie die BSM relativ einfach aufgebaut und durch die Betreiber ohne Expertenwissen in der Modellierung entwickelbar. Der fehlende Detaillierungsgrad erscheint angesichts der Unsicherheiten bei der Wahl betrieblicher Parameter für einen angenommenen Krisen-/Störfall ausreichend. Gerade im Hinblick auf die Defizite bei der Erstellung und praktischen Anwendung von Risikoanalysen [52,53] können die Bilanzmodelle aufgrund ihrer Einfachheit die Anwendungsschwelle senken und damit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des Risikomanagements leisten.

Zur Erhöhung der Resilienz der netzgebundenen Trinkwasserversorgung sind wirksame Maßnahmen zu identifizieren und zu planen. Für die Planung außerhalb des Normalbetriebs fehlen belastbare normative Vorgaben. Eine Erhöhung der Resilienz konnte im Fallbeispiel durch Verbundleitungen und durch Kapazitätserweiterungen bestehender Anlagen erreicht werden. Dabei sollte auch ein Betrieb mit einer Mindestanzahl von Anlagen ermöglicht werden, um auch bei großräumigen Ereignissen einen Betrieb gewährleisten zu können.

Die im internationalen Vergleich heterogenen Mengenansätze [39-43], insbesondere für die Anforderungen an eine Ersatzwasserversorgung, führen zu Unsicherheiten bei der Risikoanalyse und auch bei der Planung von Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz. Auf der Basis weiterer Untersuchungen sollten länderübergreifende Standards, Normen oder

gesetzliche Grundlagen erarbeitet werden. Dies erfordert eine systematische Auswertung des Wasserverbrauchs in historisch erfassten Not- und Krisensituationen sowie Überlegungen zur Steuerung der Wasserentnahme in solchen Situationen.

Im Ausblick stellt sich die Frage, wie die vorliegende Arbeit und die entwickelten Methoden zu einem höheren Umsetzungsgrad des Risikomanagements in den Wasserversorgungsunternehmen beitragen können.

Die Antwort auf diese Frage bleibt offen, jedoch wurde die Methodik in einem durch das Land Sachsen finanzierten Sonderdruck [54] zusammengefasst und mit einer Nutzungsempfehlung an alle WVU in Sachsen verteilt. Zudem konnte die praktikable Anwendung durch Interviews einzelner WVU nachgewiesen werden [55-56].

Das Forschungsprojekt verdeutlicht zudem die Anforderungen an die Datenerfassung und Datenhaltung im Kontext des Risikomanagements der leitungsgebundenen Wasserversorgung. Eine fundierte Beurteilung der Risiken erfordert belastbare Datensätze. Im Bereich der Naturgefahren existieren mit vorhandenen Datenreihen oder Onlinetools zum Teil bereits gute Grundlagen. Des Weiteren wurde ein Bedarf an Forschung zur Beurteilung singulärer Extremereignisse festgestellt, beispielsweise hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit und Intensität von Sturzfluten. Konkret für das Untersuchungsgebiet wäre eine genauere Prognose der quantitativen und qualitativen Entwicklung des nutzbaren Grundwasserdargebots als Forschungsgegenstand von Interesse. In den Bereichen der technischen Störungen, Anschläge, Sabotage und kriegereischen Handlungen stehen nur unzureichende Grundlagen zur Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremereignissen, wie beispielsweise einer Cyberattacke oder eines Blackouts, zur Verfügung. In Bezug auf die geringe Anzahl derartiger Ereignisse ist auch künftig nicht mit einer verbesserten Datenlage zu rechnen. In der Konsequenz sollte der Fokus der Risikobetrachtung auf die Eintrittsmöglichkeiten und die Bewältigung derartiger Ereignisse gerichtet werden. Im Hinblick auf die Unsicherheiten des Wasserverbrauchs beim Eintritt von Extremereignissen sollten auch Anforderungen an die Wasserversorgungsunternehmen zur Datenerfassung und -haltung in das Risikomanagement integriert werden. Auf dieser Basis könnten künftig fundierte Auswertungen von definierten Krisen- und Katastrophenfällen durchgeführt und validere Verbrauchsdaten in Menge und Dynamik abgeleitet werden.

Die vorliegende Arbeit demonstriert auch die Potenziale und Einsatzgrenzen von vereinfachten Bilanzmodellen. Durch den vereinfachten Ansatz bietet die Methodik die Möglichkeit, die Anforderungen des Risikomanagements mit den vorhandenen finanziellen und personellen

Ressourcen der Wasserversorgungsunternehmen praktikabel umzusetzen. Auch in Anbetracht der vorhandenen Unsicherheiten sowie der unzureichenden Datenlage zur Modellierung von Risikoszenarien erweist sich der vereinfachte Modellansatz vielfach als ausreichend. Hydrodynamische Simulationen im Detail sind mit den Bilanzmodellen jedoch nicht durchführbar. Durch sinnvolle Schnittstellen zwischen Bilanzmodellen und hydrodynamischen Simulationen kann der gesamte Arbeitsaufwand reduziert werden, indem zunächst eine Voranalyse mit Bilanzmodellen durchgeführt wird. Auf diese Weise lassen sich Netzbereiche identifizieren, für die vertiefte Untersuchungen mit hydrodynamischen Simulationen notwendig werden. Dies kann beispielsweise die Untersuchung von Druck- oder Unterdruckproblemen in Einzellagen, die Druckstoßbetrachtung oder die Pumpendimensionierung umfassen.

Perspektivisch ist auch ein Einsatz von Bilanzmodellen im operativen Krisenmanagement denkbar. Dabei sind die Bilanzmodelle einfach zu handhaben, benötigen keine spezielle Software und liefern schnell Simulationsergebnisse. Mit den Simulationsergebnissen können auch ad hoc Auswirkungen im System, wie z. B. die Abtrennung von Teilbereichen und der daraus resultierende Notwasserbedarf, ermittelt werden.

7.3 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1: Risikoanalyse. Jan. 2016. Hrsg. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn.
- [2] Reinhardt, M. Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung im Notfall. Zeitschrift für Rechtspolitik (ZRP), 53. Jahrgang 2020, S. 119–123.
- [3] Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) geändert worden ist.
- [4] Sächsisches Wassergesetz vom 12. Juli 2013 (SächsGVBl. S. 503), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (SächsGVBl. S. 287) geändert worden ist.
- [5] Brandenburgisches Wassergesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. März 2012 (GVBl./12, [Nr. 20]), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2017 (GVBl./17, [Nr. 28]).
- [6] Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz (LWG) vom 14. Juli 2015 (GVBl. 2015, 127), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 26.06.2020 (GVBl. S. 287).
- [7] Thüringer Wassergesetz vom 28. Mai 2019 (GVBl. 2019, 74), letzte berücksichtigte Änderung: geändert durch Artikel 17 des Gesetzes vom 11. Juni 2020 (GVBl. S. 277, 285).
- [8] Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 1995, zuletzt geändert: § 35 Absatz 2 aufgehoben und Abs. 3 bis 5 umbenannt in Abs. 2 bis 4 durch Art. 1 des Ges. vom 4. Mai 2021 (GV. NRW. S.560, ber. S. 718).
- [9] Hamburgisches Katastrophenschutzgesetz (HmbKatSG) vom 16. Januar 1978, zuletzt geändert durch Gesetz vom 24. Januar 2020 (HmbGVBl. S. 90).
- [10] Gesetz über den Katastrophenschutz im Land Berlin (KatSG) vom 7. Juni 2021 (GVBl. 2021, 610, GI 2192-2).
- [11] Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz Nordrhein-Westfalen (BHKG) vom 17. Dezember 2015 (GV. NRW. S. 886).
- [12] Gesetz über den Katastrophenschutz in Mecklenburg-Vorpommern (LKatSG M-V) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 2016 (GVOBl. M-V 2016, 611, 793, GI 215-3), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 27. April 2020 (GVOBl. M-V S. 334, 394).
- [13] Stadt Steinbach. Gefahrenabwehrverordnung für die Einschränkung des Trinkwasserverbrauchs bei Notständen in der Wasserversorgung der Stadt Steinbach (Taunus) (GefahrenabwehrVO bei Wassernotstand) vom 09.12.2019. Hrsg. Stadt Steinbach.
- [14] Stadt Taunusstein. Gefahrenabwehrverordnung der Stadt Taunusstein über die Einschränkungen des Verbrauchs von Trink- und Brauchwasser bei Notständen der Wasserversorgung vom 27.08.2020. Hrsg. Stadt Taunusstein.

- [15] Stadt Wiesbaden. Gefahrenabwehrverordnung für die Landeshauptstadt Wiesbaden über die Einschränkung des Verbrauchs an Trinkwasser während Notständen in der Wasserversorgung vom 03.06.1991. Hrsg. Stadt Wiesbaden.
- [16] DIN EN 15975-1. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 1: Krisenmanagement. Deutsche Fassung, Stand 03/2016. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [17] DIN EN 15975-2. Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement. Deutsche Fassung, Stand 12/2013. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [18] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig. Special Edition gwf-Wasser/Abwasser 2020, 1, 1–5.
- [19] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig. BBK Bevölkerungsschutz 3/2018, 12–17.
- [20] Todini, E. Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. Urban Water 2000, 2, 115–122. doi:10.1016/S1462-0758(00)00049-2.
- [21] Bonora, M.A.; Caldarola, F.; Maiolo, M. A New Set of Local Indices Applied to a Water Network through Demand and Pressure Driven Analysis (DDA and PDA). Water 2020, 12, 2210. doi:10.3390/w12082210.
- [22] Bonora, M.; Caldarola, F.; Maiolo, M.; Muranho, J.; Sousa, J. The new set up of local performance indices into WaterNetGen and applications to Santarém's network. Environ. Sci. Proc. 2020, 2, 18. doi:10.3390/environsciproc2020002018.
- [23] Caldarola, F.; Maiolo, M. Local indices within a mathematical framework for urban water distribution systems. Cogent Eng. 2019, 6, 1643057. doi:10.1080/23311916.2019.1643057.
- [24] Bonora, M.; Caldarola, F.; Muranho, J.; Sousa, J.; Maiolo, M. Numerical experimentations for a new set of local indices of a water network. In Proceedings of the 3rd International Conference "Numerical Computations: Theory and Algorithms", Crotone, Italy, 15–21 June 2019; Lecture Notes in Computer Science; Sergeev, Y.D., Kvasov, D.E., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 11973. doi:10.1007/978-3-030-39081-5_42.
- [25] Caldarola, F.; Maiolo, M. Algebraic tools and new local indices for water networks: Some numerical examples. In Proceedings of the 3rd International Conference "Numerical Computations: Theory and Algorithms", Crotone, Italy, 15–21 June 2019; Lecture Notes in Computer Science; Sergeev, Y., Kvasov, D., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 11973. doi:10.1007/978-3-030-39081-5_44.

- [26] Klise, K.; Hart, D.; Bynum, M.; Hogge, J.; Haxton, T.; Murray, R.; Burkhardt, J. Water Network Tool for Resilience (WNTR) User Manual Version 1.0; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2023; EPA/600/B-23/098.
- [27] Muranho, J.; Ferreira, A.; Sousa, J.; Gomes, A.; Sa Marques, A. Technical performance evaluation of water distribution net-works based on EPANET. *Procedia Eng.* 2014, 70, 1201–1210. doi:10.1016/j.proeng.2014.02.133.
- [28] Abdy Sayyed, M.A.H.; Gupta, R.; Tanyimboh, T.T. Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET. *Procedia Eng.* 2014, 89, 626–631. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.487.
- [29] Vasilic, Z.; Babic, B.; Ivetic, D.; Kapelan, Z.; Stanic, M. An Improved DeNSE Methodology for Optimal Sectorization of Water Distribution Networks. *Water* 2024, 16, 1463. doi:10.3390/w16111463.
- [30] Klingel, P. Rohrnetzanalyse—Modellierung von Wasserverteilungssystemen (Pipe Network Analysis—Modelling of Water Distribution Systems); Springer GmbH: Wiesbaden, Germany, 2018, ISBN 978-3658212698.
- [31] Mayr, E.; Lukas, A.; Möderl, M.; Rauch, W.; Perfler, R. Integrales Risikomanagement für die Trinkwasserversorgung in Österreich (Integral risk management for drinking water supply in Austria). *Österr. Wasser-Abfallwirtschaft* 2011, 63, 82–86. doi:10.1007/s00506-011-0290-x.
- [32] Zhuang, B.; Lansey, K.; Kang, D. Resilience/Availability analysis of municipal water distribution system incorporating adaptive pump operation. *J. Hydraul. Eng.* 2013, 139, 527–537. doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000676.
- [33] Avesani, D.; Maurizio Righetti, M.; Righetti, D.; Bertola, P. The extension of EPANET source code to simulate unsteady flow in water distribution networks with variable head tanks. *J. Hydroinformatics* 2012, 14, 960–973. doi:10.2166/hydro.2012.013.
- [34] Bross, L.; Krause, S. Will there be enough water? A system dynamics model to investigate the effective use of limited resources for emergency water supply. *Systems* 2021, 9, 2. doi:10.3390/systems9010002.
- [35] Daniel, D.; Prawira, J.; Al Djono, T.P.; Subandriyo, S.; Rezagama, A.; Purwanto, A. A system dynamics model of the community-based rural drinking water supply program (PAMSIMAS) in Indonesia. *Water* 2021, 13, 507. doi:10.3390/w13040507.
- [36] Zarghami, M.; Akbariyeh, S. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resour. Conserv. Recycl.* 2012, 60, 99–106. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.008.
- [37] Phan, T.D.; Smart, J.C.R.; Sahin, O.; Capon, S.J.; Hadwen, W.L. Assessment of the vulnerability of a coastal freshwater system to climatic and non-climatic changes: A system dynamics approach. *J. Clean. Prod.* 2018, 183, 940–955. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.169.
- [38] Broß, L. Wasserversorgung in Notsituationen—Verfahren zur Beurteilung der Resilienz von Wasserversorgungssystemen unter Berücksichtigung der Ersatz- und Notwasserversorgung

- Mitteilungen Institut für Wasserwesen Nr. 133; Universität der Bundeswehr München, 2020; ISBN 978-3943297514.
- [39] Reed, R.; Godfrey, S.; Kayaga, S.; Reed, B.; Rouse, J.; Fisher, J. Technical Notes on Drinking-Water, Sanitation and Hygiene in Emergencies, 2nd ed; Water, Engineering and Development Centre Loughborough University: Loughborough, UK, 2013; ISBN 978-1843801528.
 - [40] Bross, L.; Krause, S.; Wannewitz, M.; Stock, E.; Sandholz, S.; Wienand, I. Insecure security: Emergency water supply and minimum standards in countries with a high supply reliability. *Water* 2019, 11, 732. doi:10.3390/w11040732.
 - [41] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches—SVGW. Empfehlung W1012 d (vormals W/VN300 d) Wegleitung für die Planung und Realisierung der Trinkwasserversorgung in Notlagen (TWN); Hrsg. SVGW: Zürich, Schweiz, 2007.
 - [42] Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach—ÖVGW. Richtlinie W74—Trinkwassernotversorgung—Erfolgreiches Krisenmanagement in der Wasserversorgung; Hrsg. ÖVGW: Wien, Österreich, 2017.
 - [43] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe—BBK. Rahmenkonzept der Trinkwassernotversorgung, Neukonzeption zur Anpassung an Veränderte Rahmenbedingungen in Anlehnung an die Konzeption zivile Verteidigung (2016); Hrsg. BBK: Bonn, 2022.
 - [44] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 5) geändert worden ist.
 - [45] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
 - [46] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA): Arbeitsblatt DWA-A 781 (TRwS 781) - Technische Regel wassergefährdender Stoffe: Tankstellen für Kraftfahrzeuge - Dezember 2018; Stand korrig. Fassung Mai 2019; Hrsg. DWA; ISBN 978-3887217563.
 - [47] Heumer, F.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung – Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. *gwf-Wasser/Abwasser* 03/2023, S. 63–75. doi:10.17560/gwfwa.v164i3.2642.
 - [48] Heumer, F.; Kritznier, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Vulnerabilitätsermittlungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse. *gwf-Wasser/Abwasser* 09/2023, S. 71–79. doi:10.17560/gwfwa.v164i09.2671.
 - [49] Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung – Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen. *gwf-Wasser/Abwasser* 12/2023, S. 63–72. doi:10.17560/gwfwa.v164i12.2699.
 - [50] Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Blackout Vorsorge – Pilotprojekt der Dieselbevorratung. *gwf-Wasser/Abwasser* 04/2024, S. 109–120. doi:10.17560/gwfwa.v165i4.2732.

- [51] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Water supply security - risk management instruments in water supply companies. *Water* 2024, 16, 1814. doi:10.3390/w16131814.
- [52] Kubiak-Wójcicka, K.; Jamorska, I.; Górski, Ł. The identification of risks for drinking water intakes in urbanized area: The case study of Toruń (Central Poland), *Water* 2021, 13(23), 3378. doi.org/10.3390/w13233378.
- [53] Bross, L.; Wienand, I.; Krause, S: Batten down the hatches - Assessing the status of emergency preparedness planning in the German water supply sector with statistical and expert-based weighting. *Sustainability* 2020, 12(17), 7177. doi:10.3390/su12177177.
- [54] Heumer, F.; Wienand, I.; Kritzner, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherheit der Wasserversorgung. *gwf-Wasser/Abwasser Sonderdruck* 2024, Jahrgang 163/164/165, ISSN 0016-3651/ B5399, Hrsg. Vulkan-Verlag GmbH, Essen.
- [55] Stadtwerke Löbau - Frau Reuter. persönliches Interview, Löbau, 30.06.2024.
- [56] Zweckverband „Kommunale Wasserver-/Abwasserentsorgung Mittleres Erzgebirgsvorland" Hainichen (ZWA) – Herr Pötzsch. persönliches Interview, Frankenberg, 30.06.2024.

Anlage 1: Instrumente des Risikomanagements in Wasserversorgungsunternehmen (summary in English)

Risk Management Instruments in Water Supply Companies

Felix Heumer, Thomas Grischek, Jens Tränckner

Water 2024, 16(13), 1814. doi:10.3390/w16131814

Eingereicht am: 17.05.2024

Begutachtet im Peer-Review-Verfahren: 21.06.2024

Keywords: water supply; resilience; vulnerability; crisis management; hazards; blackout; balance sheet structure models

Abstract

Piped drinking water supplies are exposed to a range of threats. Changing hazard situations arise from climate change, digitisation, and changing conditions in the power supply, among other things. Risk and crisis management adapted to the hazard situation can increase the resilience of the piped drinking water supply. Analogous to the risk management system, this article describes a methodology that ranges from hazard analysis with the prioritisation of 57 individual hazards to vulnerability assessment with the help of balance sheet structure models (BSM) and the planning and implementation of measures to increase the resilience of the piped drinking water supply in a targeted manner. The work steps mentioned build on each other and were tested using the case study of a water supply company in Saxony (Germany). As a result, priority hazards are identified, the remaining supply periods and replacement and emergency water requirements are determined as part of the vulnerability assessment, and finally, planning principles for increasing resilience are documented. The methodology focuses primarily on practicable application by water supply companies.

1. Introduction

Drinking water infrastructure can be severely impaired by a number of hazards. Water supply companies are also exposed to a number of potential hazards in their operations and in the fulfilment of their tasks [1–3]. Climate change is one of the greatest threats to the water supply. The intensity and frequency of extreme hydrological events such as floods, flash floods, and droughts are expected to increase worldwide [4–9]. However, other natural hazards can also affect the water supply. For example, the SARS-CoV-2 pandemic led to staff shortages and supply difficulties for operating and auxiliary materials for water treatment [10–12]. Technical faults also pose a major potential risk. For example, a blackout can lead to long-lasting supply interruptions in the piped water supply [13–15]. Other threats to the water supply come from sabotage and acts of war. An increase in cyberattacks on critical infrastructure is currently to be expected [16–18].

But which hazards are relevant for maintaining the piped water supply and should be prioritised in scenarios?

In order to increase resilience to crises and disasters, the water supply needs a risk and crisis management system. At the European level, the Water Safety Plan of the World Health Organisation (WHO) [19] has been implemented in regulations with the standards DIN EN 15975-1 [20] and DIN EN 15975-2 [21]. The work steps for risk and crisis management are shown in Fig. 1.

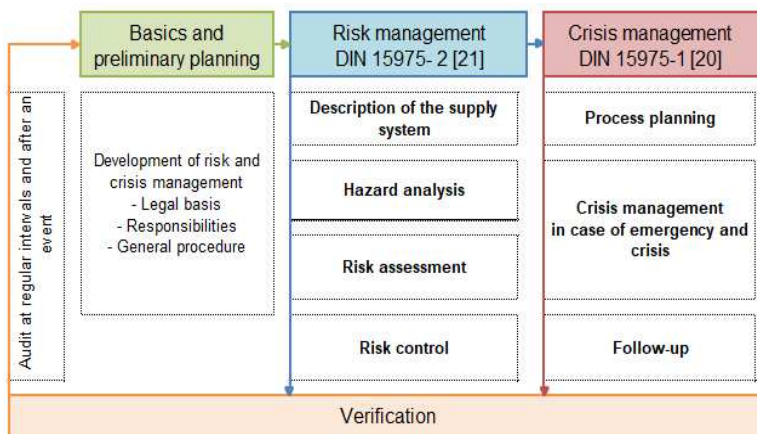


Fig. 1: Work steps for risk and crisis management, based on [20,21].

However, in the implementation of risk management, there are deficits in the preparation and practical application of risk analyses [5,22,23]. To determine the resilience of water distribution systems, Todini [24] already described the basis for assessing the systems using a heuristic optimisation approach 24 years ago. The mathematical framework described in [24] has recently been further developed by Caldarola et al. [25–29], among others. The mathematical principles are used in many hydraulic models, such as EPANET (Version 2.0) or the WaterNetGen software (EPANET extension–pipe dimensioning) [30–37]. In [25], the challenges of hydraulic simulation are described, including the need for large amounts of data for the components of the network (systems, gate valves, valves, pipe materials), knowledge of the network topology, and water demand (consumption behaviour, peak demand). In addition to hydraulic models, system dynamic modelling [38–41], society-oriented, economy-based, and combined methods are known in the literature [42]. Many methods require expert knowledge in their application and, due to their complexity, offer only limited application possibilities in crisis management. The question arises as to whether a simplified modelling approach with semi-dynamic models can offer greater user-friendliness with the least possible loss of information. To manage the risks, measures to increase the resilience of the piped water supply should be derived from the risk analysis and implemented [21]. There is a lack of planning principles for the dimensioning of systems in emergency and crisis situations compared to normal operation. In addition, an international comparison shows different volume approaches for backup and emergency water supply (Tab. 1).

Tab. 1: Quantities of backup and emergency water supply

Literature Source	Unit	WHO [43]	Sphere [44]	Switzerland [45]	Austria [46]	Germany [47]
Emergency water supply Minimum population requirement	L/(P·d)	20	15	15	15	15
Replacement water supply incl. domestic hygiene	L/(P·d)	70		100 *	Accord. to water demand plan *	50 *

Further information on drinking water requirements for healthcare and livestock farming can be found in [43–47], * Line-bound.

This paper presents a consecutive approach for (i) identifying relevant threats, (ii) analysing the vulnerability of a water supply system and (iii) developing mitigation measures. The proposed approach offers a good balance between the required accuracy and practical applicability. Its application is demonstrated for a water supply system of medium complexity.

2. Materials and Methods

2.1. Hazard Analysis

A tool for semi-quantitative prioritisation was developed to determine the relevance (R) of each hazard. The aim of the procedure is not an exact quantification of the risk but a relative prioritisation of the hazards. The first step was to systematically record the hazards (**Tab. 2, columns A–M**) on the basis of known and potential hazards. For this purpose, various technical guidelines [1,3,48–50] and the water supplier's incident documentation from the last 20 years were used. To determine the probability of occurrence (E) and the respective affectedness (Bi) of the individual hazards, literature research was carried out, data provided by authorities or insurers was used, information from the technical regulations was included, operating experience was analysed, experts were interviewed, and/or local media reports were consulted. The areas of facilities, structures, personnel, and regional impact were analysed as part of the impact assessment. This procedure results in an estimated categorisation of the probability (E) (**Tab. 2, column S**):

- 1—low (all > 1000 a),
- 2—medium (every 101–1000 a) and
- 3—high (all 0–100 a).

and the respective affectedness Bi (**Tab. 2, columns N–Q**) in:

- 1—not relevant,
- 2—selectively and
- 3—area-wide.

The hazard level (G) was calculated as the mean value of the Bi (**Tab. 2, column R**). The relevance (R) of the hazard under consideration was calculated as the product of G and E (**Eq. 1; Tab. 2, column T**). Finally, the relevant hazards were summarised into as few scenarios as possible in order to limit the number of subsequent simulations.

Tab. 2: Sample table for hazard analysis, adopted from [48]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
hazard analysis																				
Hazards			Source			Reason		Responsible				Affectedness				Relevance				
Category	No.	Hazard source	Drinking water supply safety guidelines [3]	Protection of critical infrastructures [1, 49]	DVGW W 1001-B1 [50]	Incident documentation of the water supplier	Internal	External	Exposure in the supply area	Water supplier	Country/ Municipality	Covenant	Plants, buildings	Drinking water network	Staff	Region	Degree of danger	Probability of occurrence	Relevance	Evaluation of scenario selection, comments
N	1	Hazard 1	X	X	X		X	X	X				1	1	1	1	1	3	3	
T	2	Hazard 2		X			X	X	X	X	X	X	3	3	3	3	3	2	6	Derive scenario
A	n	Hazard n				X	X		X	X			1	1	2	3	1.8	2	3.6	

N = natural hazards, T = technical faults/ human error, A= attacks, sabotage, acts of war.

Classification of the impact: 1—not relevant, 2—localized impact, 3—widespread impact

Classification of the probability of occurrence: 1—low, 2—medium, 3—high probability of occurrence

$$R = E \cdot G = E \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad (1)$$

R—Relevance

E—Probability of occurrence (Range of values 1 to 3)

G—Level of risk

B_i—Affectedness i = 1 ... n (Range of values: 1 to 3)

i—Index of the respective affectedness

n—Number of affected parties analysed

The results of the hazard analysis using the example of a water supply company are presented in Section 3.2. a detailed description of the methodology is published in [48].

2.2. Vulnerability Analysis with Balance Sheet Structure Models (BSM)

2.2.1. Calculation Approach

The subsequent vulnerability analysis (resilience assessment) was carried out using a semi-dynamic model. This is fundamentally based on a quantitative water balance (Eq. 2).

$$\frac{dS(t)}{dt} = \Sigma Q(t) = \Sigma Q_{in}(t) - \Sigma Q_{out}(t) \quad (2)$$

The balance is made up of the inflows (ΣQ_{in}), such as the inflow from water extraction plants or feed-in points, and the outflows (ΣQ_{out}), such as drinking water consumers, losses and feed-out points. The difference between inflows and outflows results in the balance value (ΣQ). The integral of the difference between the inflows and outflows therefore represents the change in the system status over a certain period of time. To determine the remaining supply time (t), all available storage capacities (S), such as underground elevated tanks, are taken into account (Eq. 3).

$$t = \frac{S}{-(Q_{in} - Q_{out})} \quad (3)$$

To map the various operating scenarios, a mathematical case differentiation of Eq. 3 was carried out (Eq. 4–7):

Normal operation (case 1: $S > 0$; $Q_{in} \approx Q_{out}$):

$$\lim_{(Q_{in} - Q_{out}) \rightarrow 0} t = \frac{S}{\lim_{(Q_{in} - Q_{out})} (-(Q_{in} - Q_{out}))} = \infty \quad (4)$$

Balance sheet deficit (case 2: $S > 0$; $Q_{in} < Q_{out}$):

$$t = \frac{S}{-(Q_{in} - Q_{out})} > 0 \quad (5)$$

Cascade effects (case 2 extended, 1 ... n = index of the memory considered in the cascade system, n = number of memories in the cascade system):

$$t_n = \frac{S_1}{-(Q_{in,1} - Q_{out,1})} + \frac{S_2}{-(Q_{in,2} - Q_{out,2})} + \dots + \frac{S_n}{-(Q_{in,n} - Q_{out,n})} \quad (6)$$

without memory (case 3: $S = 0$; $Q_{in} < Q_{out}$):

$$t = \frac{S}{-(Q_{out} - Q_{in})} = 0 \quad (7)$$

The theoretical cases of a negative denominator (case 4: $Q_{in} > Q_{out}$) and a negative storage volume (case 5: $S < 0$) are not taken into account in the BSM. This means that no negative time ($-t$) can result. Assuming a full storage tank, a surplus feed-in leads to a storage tank overflow

and is therefore mathematically balanced by increased losses on the consumption side. A negative storage volume at the time the simulation starts is practically impossible. Further information on the calculation approach is published in [51].

2.2.2. Modelling Implementation

The model structure is explained in this chapter using a sample scenario with a three-day outage of a waterworks as an example. The publication of the models actually created is limited to the simulation results (Section 3.3). This procedure was chosen in order to protect the sensitive data of the water supply companies.

The mathematical approach was implemented in a spreadsheet programme. The BSM consists of several system components. The existing system components, including the necessary parameterisation and links, are shown and explained in **Tab. 3**.

Tab. 3: Parameterisation and linking of the system components

System component	Parameters	Unit	Remarks
Global	Global input field		
	Scenario		Description of the scenario
	Runtime	d	Depending on the scenario
	Consumption factor f_{dx}		has a constant effect over the entire scenario period and reflects increases or decreases in drinking water consumption
	Emergency water factor $f_{d,NW}$		acts constantly over the entire scenario time and calculates the required emergency water quantity
Drinking water supply (inflows)	Remarks		
	Connection points		All consumption points
	Feed-in		
	Designation/ No.		Abbreviation "I"
	Capacity Q_{cap}	m ³ /d	Decisive capacity of the feed-in (technical or regulatory)
	Feed-in Q_{input}	m ³ /d	Actual feed-in in the scenario, with reference Q_{dm} of the feed-in
	Connection points		Feed-in point grid, water storage, water pumping
	Water catchments		
	Designation/ No.		Abbreviation "WC"
	Usability	%	Utilisation of capacity, consideration of e.g. reduction due to dry periods
Drinking	Capacity Q_{cap}	m ³ /d	Decisive capacity of the feed-in (technical or regulatory)
	Connection points		Water treatment
	Water treatment		
	Designation/ No.		Abbreviation "WT"
	Operational switching		Selector switch between "ON" and "OFF"
	Capacity Q_{cap}	m ³ /d	Decisive capacity of the feed-in (technical or regulatory)
	Connection points		Feed-in point grid, water storage, water pumping
Drinking	Water reservoir		
	Designation/ No.		Abbreviation "S"
	Useful volume V_{Use}	m ³	Available usable volume
	Useful volume V_{IS}	m ³	Minimum volume of normal operation

Drinking water consumption (drains)	Connection points		Grid feed-ins and feed-outs, consumption points, water delivery
	Water pumping	Designation/ No.	Abbreviation "P"
		Capacity Q_{cap}	m^3/d Decisive capacity of the feed-in (technical or regulatory)
		Connection points	Grid feed-ins and feed-outs, consumption points, water storage tanks
	Consumption point	Designation/ No.	Abbreviation "SA"
		Inhabitants	P Indication of inhabitants supplied
		Storage system	Specification of linked memory
		Consumption factor f_{dx}	Selector switch "GLOBAL" or "HAND", differentiated input required for "HAND", e.g. for commercial customers
		Manual value f_{dx}	If "Hand" is preselected, it has a constant effect over the entire scenario time and maps excess or reduced quantities of drinking water consumption
		Drinking water consumption	m^3/d Specification of drinking water consumption Q_{dm} , as direct input or database link
		Meter number	Specification of existing meter numbers
		Connection points	Grid feed-ins and feed-outs, downstream consumption points, water storage tanks, drinking water consumption if applicable
	Feed-out	Designation/ No.	Abbreviation "O"
		Capacity Q_{cap}	m^3/d Relevant capacity of the feed-out (technical or regulatory)
		Feed-out $Q_{Feed-out}$	m^3/d Actual feed-in in the scenario, with reference Q_{dm} of the feed-in
		Connection points	Grid feed-out point, water storage tank, water pumping

The model structure is based on the topology and takes flow directions and technological relationships, such as pressure zones, into account. The data are analysed via the visual representation in the model and via overall balances. **Fig. 2** shows the abstracted model scenario for the failure of a waterworks at the simulation period of three days. The areas shown in **Fig. 2** correspond to the following specifications:

- An area module (coloured box) comprises 0–50 inhabitants,
- Red areas—inhabitants without drinking water supply,
- Yellow areas—residents with a temporary drinking water supply and
- Green areas—residents with an unlimited supply of drinking water.

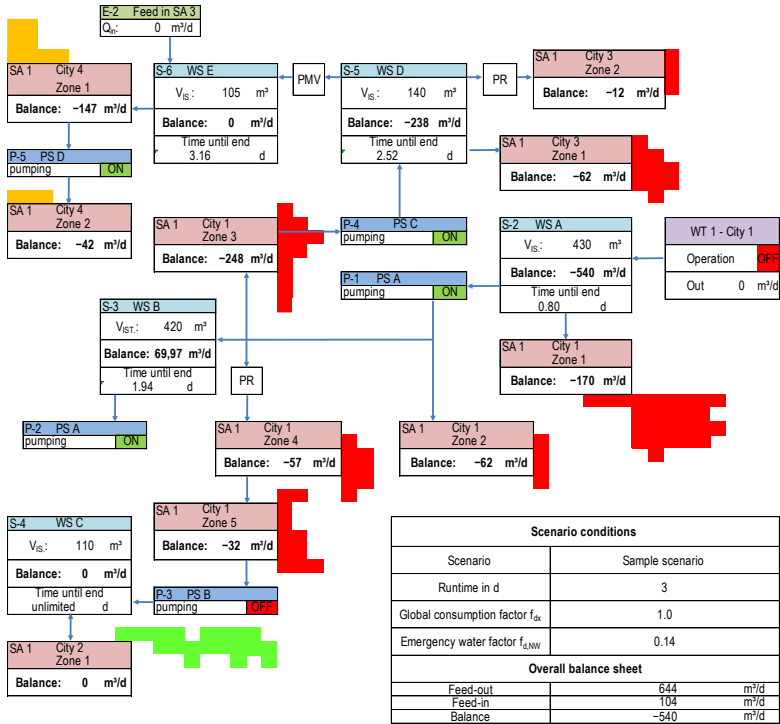


Fig. 2: BSM—sample scenario failure waterworks (abstracted representation)

Supply diagrams (Fig. 3) and evaluation tables (Tab. 4) supplement the analysis of the BSM.

Fig.3 shows, as function of failure time, the number of affected residents with normal supply (green), the time until supply failure (yellow) and the duration of the supply interruption (red).

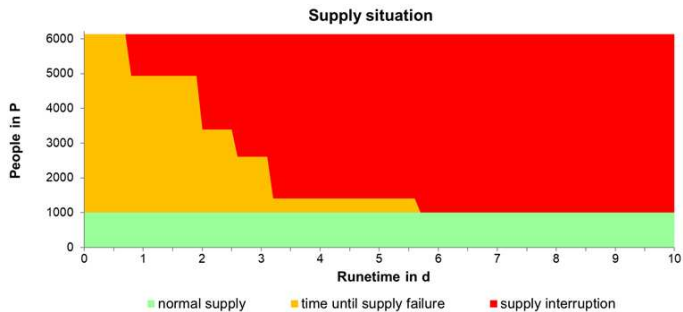


Fig. 3. Supply diagram for the example scenario with y-axis showing the affected inhabitants by supply zones and x-axis showing the selected simulation time.

Tab. 4 contains information on the affected inhabitants, the affected sensitive consumers, the remaining supply time and an estimate of the emergency water demand not connected to the mains.

Tab. 4: Evaluation table in the sample scenario

No.	Zone	People in P	Supply Time in d	Normal Supply in P	Limited Supply in P	Supply Interrup. in P	Q_{dm} in m ³ /d	$Q_{d,NW}$ in m ³ /d	Sensitive Consumers
S-2	City 1 Zone 1	1200	0.80	0	0	1200	169.8	23.8	Nursing home A
S-3	City1 Zone 2-5	1510	1.93	0	0	1510	129.6	18.1	
P-2	City 1 Zone 6	30	1.93	0	0	30	2.5	0.3	
S-4	City 2 Zone 1	1000	unlimited	0	1000	0	103.9	14.5	Hospital B
S-5	City 3 Zone 1	780	2.52	0	0	780	73.8	10.3	
S-6	City 4 Zone 1	1030	3.16	0	1030	0	105.5	14.8	
S-6	SA external	120	3.16	0	120	0	11.7	1.6	
P-6	City 4 Zone 3	50	3.16	0	50	0	4.9	0.7	
S-7	City 4 Zone 2	410	5.67	0	410	0	41.9	5.9	
Total		6130		0	2610	3520	643.6	90.1	

More detailed information on the systematics of the models is contained in the sample model.

2.2.3. Input Parameterisation

In order to assess the actual impact of the relevant hazards (Section 2.1) on the water supply, the BSMs of the supply system have to be parametrized accordingly. For the standard operation, the average drinking water consumption quantities (Q_{dm}) were recorded and linked to the consumption units. The correct calculation was checked for the reference year by comparing the overall balance of the system with monitored data. For this validation scenario, the consumption factor (f_{dx}) was set to 1.0 and a runtime of 365 days was selected.

Scenarios were identified on the basis of the hazard analysis (Section 2.1), and system settings were derived from them. The scenarios are defined by the duration of the regarded event, the affected system components, and the usability of the water catchments n. Furthermore, the extent to which a change in drinking water demand is to be expected must be estimated. Changes in drinking water demand are taken into account in the BSM using the consumption factor (f_{dx}). The consumption factor (f_{dx}) remains constant over the entire simulation period. If the recovery period after the event is simulated too, this can be carried out as a "hot-start" after the event by switching back all settings to standard.

In the model scenario, the failure of a waterworks (selector switch 'OFF') was assumed to last 3 days. A sub-area in the model can continue to be supplied permanently via an emergency

network. Such a scenario could be derived, for example, from the failure of a technical component and its subsequent repair.

The approaches chosen in this study are shown in **Tab. 5** and are described below:

- Scenarios in which no change in drinking water demand is to be expected, such as the failure of a waterworks, were calculated with a $f_{dx} = 1.0$. The use of maximum values ($Q_{d,max}$) was deliberately avoided in order to prevent the scenarios from overlapping.
- In the event of a prolonged dry period, a $f_{d,7} > 1.0$ was calculated, whereby not the maximum consumption ($Q_{d,max}$) but a 7-day maximum was assumed for the increased drinking water quantities in order not to generate an extreme value over a long period of time.
- Reduced consumption rates ($f_{dx} < 1.0$) were assumed in the case of area-affecting events such as blackouts. The national specifications for risk management [47] in Germany were selected as the approach for calculating a piped replacement water quantity ($Q_{d,EW}$). The total drinking water consumption, including the consumption of industry and commerce, was calculated as a lump sum using the consumption factor for the replacement water supply ($f_{d,EW}$).
- The calculation of the non-piped emergency water demand ($Q_{d,NW}$) was also based on [47].

Tab. 5: Determining water requirements for emergencies and crises

Scenario	Consumption Factor (f_{dx})	Water Requirement (Q_{dx})	Remarks
Failure of system-relevant-component	$f_{dm} = 1.0$	Q_{dm}	No change in consumption behaviour
Pipe burst	$f_{dm} = 1.0$	Q_{dm}	No change in consumption behaviour
Hazardous substance input	$f_{dm} = 1.0$	Q_{dm}	No change in consumption behaviour
Dry periods	$f_{d,7} = Q_{d,7} / Q_{dm}$	$Q_{d,7} = f_{d,7} \cdot Q_{dm}$	Increased consumption
Blackout	$f_{d,EW} = \frac{q_{EW} \cdot E}{Q_{dm,HB}}$	$Q_{d,EW} = f_{d,EW} \cdot Q_{dm}$	Reduced consumption, $Q_{d,EW} = 50 \text{ l/(P} \cdot \text{d)}$, flat rate industrial and commercial consumption, $Q_{dm,HB}$ = consumption of household and small business
Emergency water supply	$f_{d,NW} = \frac{q_{NW} \cdot E}{Q_{dm,HB}}$	$Q_{d,NW} = f_{d,NW} \cdot Q_{dm}$	$Q_{d,NW} = 15 \text{ l/(P} \cdot \text{d)}$ Determination of emergency water requirements in the event of a mains supply failure

The simulation results of the case study are shown in Section 3.3. The consumption approaches are described in more detail in [51,52].

2.3. Measures to Increase Resilience

The BSMs offer the possibility of supporting the planning process to increase the resilience of water supply systems. They can also be used for decision-making in crisis management.

The first step is to identify and plan existing and potential interconnection structures. The planning should take into account possible variants for connection lines, transfer points and an expansion of technical capacities.

The planning objectives selected in the study can be summarised as follows;

- Maintaining the piped drinking water supply during a blackout with as few systems as possible;
- Utilisation of normal operation facilities also for emergencies and crises;
- Creation of redundancies of system-relevant components, e.g., the failure of an entire waterworks, and;
- Consideration of scenario-dependent drinking water consumption.

Once the planning variants have been defined, the consumption rates must be determined. The following consumption rates were selected for planning the systems:

For normal operation:

- National technical standards (in Germany: DVGW regulations).

For emergencies and crises:

- Scenario-dependent consumption estimates according to **Tab. 5**,
- Waiver of minimum supply pressure and
- Utilisation of the full technical capacity without taking redundancies into account.

The planning variants are to be mapped in the BSM as extended balance areas, whereby several supply areas are considered in one balance area (**Fig. 4, Eq. 8**).

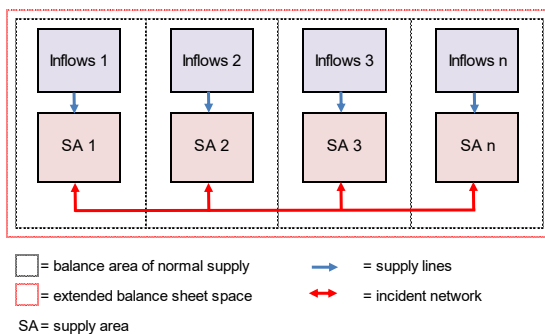


Fig. 4: Illustration of an extended balance space, adopted from [52]

$$\frac{dS(t)}{dt} = \Sigma Q(t) = \Sigma Q_{zu,1}(t) - \Sigma Q_{ab,1}(t) + \Sigma Q_{zu,2}(t) - \Sigma Q_{ab,2}(t) + \dots + \Sigma Q_{zu,n}(t) - \Sigma Q_{ab,n}(t) \quad (8)$$

The decisive load case for the dimensioning of the systems results from the comparison of the required capacities in normal operation and the consideration of emergency and crisis situations. Detailed descriptions of the planning and consumption approaches can be found in [52].

During a blackout, the necessary diesel supply for emergency power operations can be determined based on the systems to be operated and the production capacities. Careful consideration should be given to whether the external supply can be guaranteed under these conditions or whether self-sufficient supply systems are advisable. A checklist for the construction of company refuelling stations and a tool for determining fuel requirements were developed for the planning and construction of the fuel supply [53].

The planning results of the case study are presented in Section 3.4.

3. Results

3.1. Description of the Case Study

The study area is located in the German state of Saxony. The water supply company in question supplies around 75,000 people with drinking water. There are 21 supply areas with 17 waterworks, 40 pumping stations, 62 drinking water reservoirs, 63 entry and exit points, and 1035 km of drinking water supply pipes. In total, there are 182 system components to be analysed.

3.2. Hazard Analysis

The case study analysed and assessed 57 individual hazards, including 18 natural hazards, 29 technical faults, and 10 hazards caused by attacks, sabotage, or acts of war. A list of the hazards analysed and the results of the investigation can be found in supplementary materials (Link in the chapter "Publications in the context of the dissertation"). The detailed hazard analysis is published in [48]. Information on the assessment is provided below, and the assessment is explained using individual examples.

The 18 natural hazards include floods, flash floods, droughts, earthquakes, and pandemics. The extent of damage and the probability of the occurrence of the natural hazards could be determined using existing modelling or statistical evaluations of data series [3,54–61].

For example, incident documentation from the water supplier and local climate projections [59,61] are available for the assessment of dry periods and the development of groundwater recharge. Experience from the dry periods in 2018 and 2019 shows a high level of impact due to: high water demand, declining water supply from the catchments, utilisation of the capacity of the technical systems, and an increased number of pipe bursts with additional personnel requirements. The water supplier suspects that pressure fluctuations due to high consumption and stresses in the dried-out ground are the cause of the high number of burst pipes. According to climate projections [59,61], an increase in dry periods is to be expected across the board. Differences in the forecast data exist in the projection of groundwater recharge. The fluctuations lie between a decrease in groundwater recharge from the current actual level by up to 80% (basis of the climate projection: WETTREG2010_A1B_66) [60] and a slight increase in groundwater recharge (basis of the climate projection: mean annual groundwater recharge (rel. changes)—ensemble median RCP 8.5) [61] by the year 2100. In all simulations, the precipitation dynamics increase. Studies on the development of quality parameters are lacking. Based on the available findings, the impact and the probability of occurrence were assessed as high.

Overall, the results of the natural hazards are site-specific, meaning that their relevance can vary depending on the catchment area. In the study, area, the highest relevance was found for expected climatic changes, such as prolonged dry periods and extreme weather events.

The 29 hazards due to technical malfunctions and human error are made up of, for example, operational organisational hazards, pipe bursts, discharges into the water catchments, or dependencies on other sectors. When assessing the hazards caused by technical faults and human error, different data were found.

The risks of the general company organisation, such as the risk of inadequate substance maintenance, were easy to assess. Here, the water supplier was able to demonstrate a rehabilitation strategy and operation in accordance with DVGW regulations (national regulations). An insufficient reinvestment rate could disrupt the operation of the water supply facilities in the long term, which leads to an assessment of the higher impact on the facilities and the network as well as an assessment of a medium probability of occurrence. Overall, the analysed facilities and the drinking water network are in very good technical condition (network age 37 a, losses $< 0.04 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{km})$), and the treatment quality of the distributed drinking water is very high. Possible side effects of risk management measures on drinking water quality can thus be ruled out.

The cross-sectoral impacts on water management, as described by [62], were more difficult to assess. For example, the extent of damage caused by a blackout could be easily determined

based on the technical conditions in the study area, but a reliable determination of the probability of occurrence was lacking, which was also found in comparable studies [63,64]. The assessment of special technical incidents sometimes requires expert knowledge, e.g., in the case of nuclear accidents. The probabilities of occurrence and expected extent of damage were determined for the risk of nuclear accidents based on [65,66]. However, validation is hardly possible due to the lack of real events.

In the overall assessment of technical faults, the highest relevance was given to a blackout, the supply of non-drinking water, major pipe bursts, and substance inputs into drinking water catchments, e.g., due to hazardous substances or agricultural inputs.

Of the 10 dangers from attacks, sabotage and acts of war, cyberattacks, sabotage, theft, and attacks of various causes were analysed.

Cyberattacks were identified as a relevant source of risk [16–18], although the risk to the technical systems in the study area is considered to be low due to the spatial separation of the systems. In the present case study, the operation of the water supply systems is only at low risk from cyberattacks. The installed technology sends data and cannot receive data. The data are sent using a programming language developed by the water supply company. For this reason, the cyberattack was not analysed further in the case study. As the degree of digitisation increases, cyberattacks are expected to become more relevant.

A high level of damage is conceivable for the other hazards from attacks, sabotage, or acts of war; information on the probability of occurrence could not be researched.

A total of 12 priority hazards (score > 4) were identified. The priority hazards were summarised into 5 scenarios (**Tab. 6**) and form the basis for scenario identification as the next step in the risk analysis.

Tab. 6: Priority hazards in the supply area under consideration, adopted from [48]

No.	Source of Danger	Relevance	Evaluation of Scenario Selection, Comments
N-5	Flooding water intake	5.25	1st scenario: Hazardous substance entry
N-7	Dryness	9	2nd scenario: Long dry period with potential deficit in demand coverage
N-10	Storm, tornado, thunderstorm	5.25	3rd scenario: Failure of a system-relevant component
T-1	Company organisation	4.5	Safeguarding via quality, environmental and energy management systems.
T-20	Pipe burst on long-distance water pipe	5.25	4th scenario: Burst pipe on a main supply line
T-21	Feed-in of non-potable water	6.75	1st scenario: Hazardous substance entry
T-22	Power failure short, selective	5.25	3rd scenario: Failure of a system-relevant component

T-23	Long, widespread power outage	6	5th scenario: Widespread power failure
T-24	Information technology failure	4.5	3rd scenario: Failure of a system-relevant component
T-28	Accidents involving hazardous substances	6	1st scenario: Hazardous substance entry
T-29	Water pollution	4.5	1st scenario: Hazardous substance entry
T-30	Agricultural entries	6	1st scenario: Hazardous substance entry
A-3	Inadequate property protection, burglary, theft, vandalism	4.5	3rd scenario: Failure of a system-relevant component

3.3. Vulnerability Analysis with Balance Sheet Structure Models

The 21 supply areas of the water supplier in question were modelled in 19 BSMs. The balance areas of the models vary between 20,470 inhabitants with 52 system components and 10 inhabitants with 3 system components. The year 2018 was selected as the reference year with a prolonged dry period. The choice of the reference year 2018 is considered a realistic load assumption for a low water supply in the coming years. A reference scenario with normal consumption was created to calibrate the models.

The following scenarios were selected from the relevant hazards (Section 3.2.) as input variables for the simulation:

1. Hazardous substance input into a water intake, duration 30 d, average water consumption;
2. prolonged dry period in the entire supply area, duration 110 d, increased water consumption;
3. failure of a system-relevant component, runtime 7 d, average water consumption;
4. pipe burst on a main supply line, duration 2 d average water consumption;
5. power failure across the board, duration 7 d, replacement water consumption.

A total of 90 simulations were carried out to show the existing vulnerability. The simulation results are shown in **Fig. 5**, clustered according to interconnection possibility and size.



Fig. 5: Simulation results of the BSM, adopted from [51].

The analysis of the case studies documents the existing vulnerability and, as expected, shows the most critical impact in the scenario of a widespread power outage. However, the failure of system-relevant components can also lead to massive supply disruptions. In these scenarios, systems with interconnected lines are less vulnerable. The cause of the failure of system-relevant components is initially independent of the system impact but influences the time until normal operation is restored. By intersecting the expected downtime with the remaining supply time, the scenarios can be further analysed accordingly.

3.4. Measures to Increase Resilience

In the study, measures to increase resilience were analysed in accordance with the specifications in Section 2.3. A detailed description of the plan is not possible in order to protect the sensitive data of the supplier. Abstract planning principles for the dimensioning of an intermediate pumping station are published in [52].

In the study, area, the preferred option is the construction of interconnected pipelines and the expansion of the technical capacity of two intermediate pumping stations. The planned measures can almost completely compensate for the failure of individual waterworks (the system-relevant component) and also significantly increase resilience to a blackout (comparison of **Fig. 6 and 7**). By operating just one waterworks and two intermediate pumping stations that are connected to the district water supply, 75% of the population in the study area can continue to be supplied in the event of a blackout (**Fig. 7**). The fuel supply of the remaining plants was planned and constructed according to the specifications of [53].

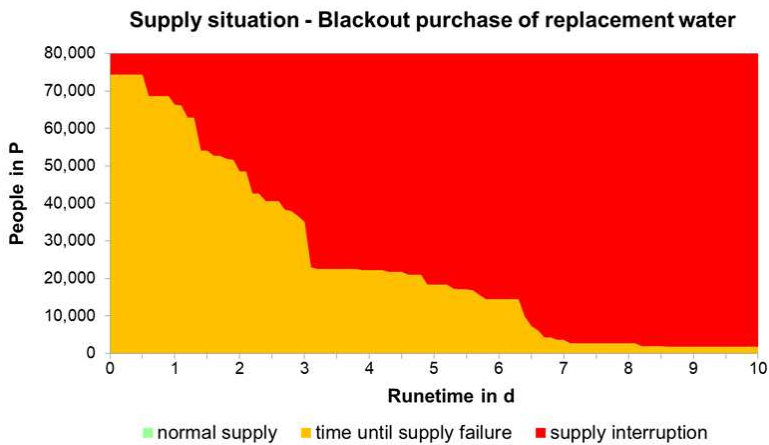


Fig. 6: Vulnerability—area-wide power outage actual status, consideration of an extended balance area over the entire 21 supply areas, consumption approach of the replacement water quantity with 50 L/(P·d), adopted from [52]

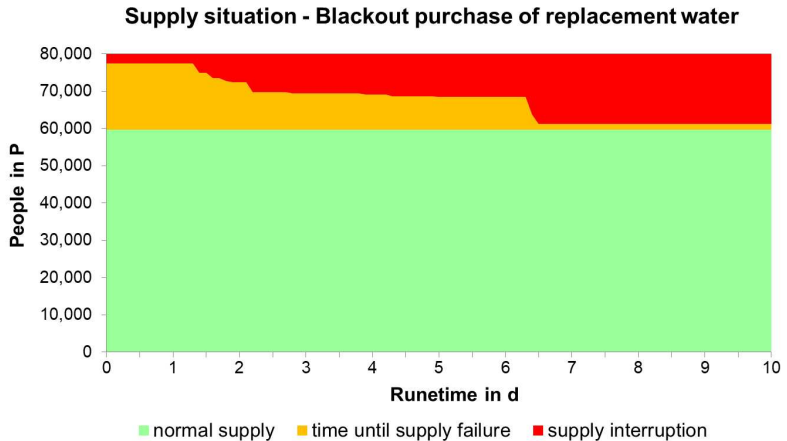


Fig. 7: Vulnerability—area-wide power outage and expansion of the interconnected system, consideration of an extended balance area over the entire 21 supply areas, consumption approach of the replacement water quantity with 50 L/(P·d), adopted from [52]

The production capacities required for emergencies and crises were determined by analysing the extended balance area and the scenarios to be considered. The full system capacities and no redundancies were taken into account in the event of an emergency or crisis. In the case study, the scenario of a prolonged dry period and the associated failure of a near-surface groundwater catchment were relevant to the design.

4. Discussion

The hazard analysis methodology presented corresponds to the requirements of European risk management [20,21] and identifies potential hazards to the public water supply with technical justification. The categorisation, with subsequent quantification, achieves a clearly comprehensible order and reduces the subjective component. However, the assessment of each individual hazard requires extensive research. The results of the research show that there is not always sufficient data available for an exact assessment, for example, of the probability of a blackout occurring. The subjective component increases, especially when there is little data available, which can lead to inaccuracies in the process. In addition, the assessment of some hazards, such as the effects of a nuclear accident, requires expert knowledge. As a rule, the expert knowledge required to assess the aforementioned hazards is only available to a limited extent at the water supply company.

For this reason, it is proposed that a minimum scope (**Tab. 7**) of the hazards to be considered be specified by a higher authority. The hazards contained in **Tab. 7** were developed from the findings of the literature [63,64] and are based on the database of the present study.

Tab. 7: Minimum scope of the hazard analysis, adopted from [48]

Natural Hazards	Technical and Human Error	Attacks, Sabotage, Acts of War
Flood	Failure of individual systems *	Cyberattack
Flash flood	Pipe burst on composite pipes	
Dryness	Blackout*	
Earthquake	Accidents with hazardous substances	
Large and wildfires		
Epidemic, pandemic		

* Priority use for scenario building

As part of risk management in accordance with [20,21], the next step is to carry out a risk assessment. The extent of damage is determined by creating scenarios derived from the hazard analysis and a vulnerability analysis using the BSM. The BSM represents a useful addition to existing instruments for determining vulnerability [24–42]. The differences in the existing literature are summarised below:

- Compared to hydraulic simulations with pipe network models [24–37], the system structure is depicted in a much simpler way. The exact pipe routing, elevation data, pipe dimensioning, material data, and consumption curves are only indirectly taken into account in the BSM by modelling a functioning system in terms of a balance. The hydromechanical limit values are taken into account via the capacity data of the system components and are not verified in the simulation of the BSM.
- A comparison of the system dynamics models [38–42] shows that the BSMs map the causal operating conditions directly on the basis of the real system structure and the topology of the water supply and not via abstracted chains of effects. The simulation of the BSM is carried out using selected system settings under constant conditions. In contrast to the system dynamics models, it is not possible to model dynamic system conditions in the BSM, which could lead to uncertainties in the calculation results of the BSM.

The BSM therefore replaces complex hydraulic or system dynamic models with a graph-based semi-dynamic balance. However, due to the simplified system structure of the BSM, these are not suitable for an exact determination of water demand or hydraulic simulation. The simulation result provides a visual representation of the vulnerability in relation to the topology and a time-

dependent forecast of the extent of damage, indicating the affected inhabitants. In addition, the simulation is used to estimate drinking, replacement, and emergency water requirements.

The consumption calculations were carried out under constant conditions. Excess or reduced quantities were selected depending on the scenario under consideration and taken into account as a lump sum in the models via the consumption factor (f_{dx}). The international data on replacement and emergency water requirements [43–47] contain different consumption estimates. The validation of the consumption approaches is only possible to a limited extent due to a lack of data on known emergencies and crises. In addition, a scenario-dependent consumption analysis has (to our knowledge) not yet been described. However, the authors believe that a scenario-dependent consumption analysis is important in order to adapt the measures to increase resilience to the actual drinking water demand. For example, when considering dry periods, peak values such as $Q_{d,max}$ should not be used, and moderate increases in consumption such as $Q_{d,7}$ should be applied. In the case of widespread events such as a blackout, for example, a reduced consumption approach appears to be correct, as reduced consumption behaviour can also be expected here due to the lack of power supply, e.g., lack of hot water supply, non-operation of washing machines or dishwashers and reduced consumption in the industrial and commercial sectors. The following consumption approaches based on scenarios are proposed as part of the initial parameterisation of the BSM;

- $f_{dx} > 1.0$ Application during dry periods as $f_{d,7}$;
- $f_{dx} = 1.0$ Application for scenarios that do not exceed normal consumption; Utilisation of f_{dm} , e.g. the failure of a waterworks;
- $f_{dx} < 1.0$ Application for determining replacement of $f_{d,EW}$ and the emergency water volumes $f_{d,NW}$ in the case of large-scale events such as blackouts.

Due to the existing uncertainties regarding the input parameterisation of the BSM, the simplified model structure with limited accuracy in the assessment of the replacement and emergency water demand appears to be sufficient. As expected, the evaluation of the case studies shows the most critical impact in the scenario of a widespread power outage, with a very high vulnerability up to a total failure of the piped drinking water supply. However, the failure of system-relevant components can also lead to massive supply interruptions. In systems with interconnected pipelines, a significantly higher resilience of the piped water supply could be demonstrated.

Measures to increase resilience must be identified for risk control as the final step in risk management, according to [20,21]. BSM can support the identification and planning of measures. In particular, with the help of an extended balance area, measures can be identified

that enable a piped drinking water supply with as few systems as possible. This enables transparent optimisation of the use of resources in risk management. The following principles are proposed for the future consideration of emergencies and crises when designing systems;

- Risk analyses of the water supply systems, taking into account the relevant hazards;
- Maintaining operations with a minimum number of systems;
- Waiver of minimum supply pressure;
- Utilisation of the full technical capacity without consideration of redundancies for emergencies and crises;
- Scenario-dependent consumption estimates according to **Tab. 5**.

The implementation of the planning principles was evaluated using a case study. It was demonstrated that the resilience of the drinking water supply systems can be significantly increased by taking into account the necessary pumping capacities for emergencies and crises. Specifically, interconnected pipes and transfer points were created, the pumping capacity of two intermediate pumping stations was increased, and three emergency power generators were procured. With the measures described above, 75% of the population can be supplied in the future with the operation of just three systems in the event of a blackout.

Compared to advanced risk management instruments, the proposed approach is fairly straightforward and oriented to operators' needs and capacities. Each step can be performed without specific expert knowledge. This applies also to BSMs, which can be developed and parametrized by operators and coded with standard office software. The lack of detail appears sufficient in view of the uncertainties when selecting operational parameters for an assumed crisis/disruption.

5. Conclusions

What findings does the study provide for the application of the developed risk management instruments in water management?

The hazard analysis step is very extensive and requires expert knowledge in several fields. It should therefore be considered that a meta-hazard analysis is first carried out by a higher water authority to prioritise relevant hazards. The limited number of prioritised hazards should then be made available to the water supplier to reduce the workload not only in the hazard analysis itself but also in the subsequent risk management steps.

There are many good tools for assessing the resilience of pipework systems [24–42]. The known methods are complex and require sufficient and qualified data for an exact simulation. Particularly in view of the deficits in the preparation and practical application of risk analyses

[5,22,23]. BSMs can lower the application threshold due to their simplicity and thus make a valuable contribution to the implementation of risk management.

Measures must be identified and planned to increase the resilience of the network-based drinking water supply. There is a lack of reliable standardised specifications for planning outside of normal operation. An increase in resilience could be achieved in the case study through interconnected pipelines and by expanding the capacity of existing systems. Operation with a minimum number of plants should also be made possible in order to ensure operation even in the event of large-scale events.

Where is there a need for further research into the implementation of risk management in water supply companies?

There is a specific need for research in the study area with regard to a more precise forecast of the quantitative and qualitative development of the usable groundwater supply.

The heterogeneous quantity approaches in international comparison [43–47], especially for the requirements for a replacement water supply, lead to uncertainties in the risk analysis and also in the planning of measures to increase resilience. Cross-national standards, norms, or legal foundations should be developed on the basis of further investigations. This requires a systematic evaluation of water consumption in historically recorded emergency and crisis situations, as well as considerations for controlling water withdrawal in such situations.

In which other areas could BSM be used?

The use of BSMs in crisis management is also conceivable in the future. BSMs are easy to use, do not require any special software, and deliver simulation results quickly. The simulation results can also be used to determine ad hoc effects in the system, such as the separation of sub-areas and the resulting emergency water requirements.

6. References

- [1] Bundesministerium des Inneren—BMI (The Federal Ministry of the Interior). Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie) (National Strategy for the Protection of Critical Infrastructures (KRITIS Strategy)); BMI: Berlin, Germany, 2009.
- [2] Adams, C.; Degour, J.; Derosa, A.; Lane, C.; Lowndes, D.; Mapp, L.; McFadden, L.; Morley, K.; Pickard, B.; Santillo, N. Roadmap to a Secure and Resilient Water and Wastewater Sector, Developed by Water and Wastewater Sector Strategic Roadmap Work Group; United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2024.
- [3] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe—BBK (Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance). Sicherheit der Trinkwasserversorgung Teil 1: Risikoanalyse (Safety of Drinking Water Supply Part 1: Risk Analysis); BBK: Bonn, Germany, 2016.
- [4] Lee, H.; Romero, J. IPCC: Summary for Policymakers. In Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC: Geneva, Switzerland, 2023; pp. 1–34. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- [5] Kubiak-Wójcicka, K.; Jamorska, I.; Górski, Ł. The identification of risks for drinking water intakes in urbanized area: The case study of Toruń (Central Poland). *Water* **2021**, *13*, 3378. doi:10.3390/w13233378.
- [6] Mostafa, S.M.; Wahed, O.; El-Nashar, W.Y.; El-Marsafawy, S.M.; Zeleňáková, M.; Abd-Elhamid, H.F. Potential climate change impacts on water resources in Egypt. *Water* **2021**, *13*, 1715. doi:10.3390/w13121715.
- [7] Luh, J.; Royster, S.; Sebastian, D.; Ojomo, E.; Bartram, J. Expert assessment of the resilience of drinking water and sanitation systems to climate-related hazards. *Sci. Total Environ.* **2017**, *592*, 334–344.
- [8] Kohlitz, J.; Chong, J.; Willets, J. Rural drinking water safety under climate change: The importance of addressing physical, social, and environmental dimensions. *Resources* **2020**, *9*, 77. doi:10.3390/resources9060077.
- [9] Kurniawan, T.A.; Bandala, E.R.; Othman, M.H.D.; Goh, H.H.; Anouzla, A.; Chew, K.W.; Aziz, F.; Al-Hazmi, H.E.; Khoir, A.N. Implications of climate change on water quality and sanitation in climate hotspot locations: A case study in Indonesia. *Water Supply* **2024**, *24*, 517–542. doi:10.2166/ws.2024.008.
- [10] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.—BDEW (German Association of Energy and Water Industries). Corona-Virus: Derzeit keine Auswirkungen auf Energieversorgung und Trinkwasserqualität—Der BDEW Informiert zum Aktuellen Stand in Energie- und Wasserwirtschaft, in Zeiten der Corona-Pandemie (Corona Virus: Currently no Impact on Energy Supply and Drinking Water Quality—BDEW Provides Information on the Current Situation in the Energy and Water Industry in Times of the Corona Pandemic); BDEW: Berlin, Germany, 2020.

- [11] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.—DVGW (German Technical and Scientific Association for Gas and Water). Presseinformation Aktuelle Lage Corona-Virus: Gas- und Wasserversorgung in Deutschland ist sichergestellt (Press Release on the Current Coronavirus Situation: Gas and Water Supplies in Germany Are Secure); DVGW: Berlin, Germany, 2020.
- [12] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.—BDEW (German Association of Energy and Water Industries). Corona-Virus: BDEW zum ersten Bericht des Expertenrats der Bundesregierung/Auswirkungen der Omikron-Variante auf Kritische Infrastrukturen (Coronavirus: BDEW on the First Report of the Federal Government's Expert Council/Impact of the Omikron Variant on Critical Infrastructures); BDEW: Berlin, Germany, 2021.
- [13] Petermann, T.; Bradke, H.; Lüllmann, A.; Poetzsch, M.; Riehm, U. What Happens during a Blackout: Consequences of a Prolonged and Wide-Ranging Power Outage, final Report; Office of Technology Assessment at the German Bundestag: Berlin, Germany, 2011.
- [14] Busby, J.W.; Baker, K.; Bazilian, M.D.; Gilbert, A.Q.; Grubert, E.; Rai, V.; Rhodes, J.D.; Shidore, S.; Smith, C.A.; Webber, M.E. Cascading risks: Understanding the 2021 winter blackout in Texas. *Energy Res. Soc. Sci.* 2021, 77, 102106. doi:10.1016/j.erss.2021.102106.
- [15] Mank, I. Energy Blackouts and Water Outages: A Risk Management Approach Towards Raising Awareness and Assuming Responsibility. Master's Thesis, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 2015.
- [16] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik—BSI (Federal Office for Information Security). Einschätzung der Aktuellen Cyber-Sicherheitslage in Deutschland nach dem Russischen Angriff auf die Ukraine (Assessment of the Current Cyber Security Situation in Germany following the Russian Attack on Ukraine); BSI: Bonn, Germany, 2022.
- [17] Brumfield, C. Attempted Cyberattack Highlights Vulnerability of Global Water Infrastructure. <https://www.csoonline.com/article/3541837/attempted-cyberattack-highlights-vulnerability-of-global-water-infrastructure.html> (accessed on 3 April 2024).
- [18] Riggs, H.; Tufail, S.; Parvez, I.; Tariq, M.; Khan, M.A.; Amir, A.; Vuda, K.V.; Sarwat, A.I. Impact, vulnerabilities, and mitigation strategies for cyber-secure critical infrastructure. *Sensors* 2023, 23, 4060. doi:10.3390/s23084060.
- [19] World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum, 4th ed.; incorporating the 1st addendum; WHO: Geneva, Switzerland, 2017; ISBN 978-9241549950.
- [20] DIN EN 15975-1; Sicherheit der Trinkwasserversorgung—Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement—Teil 1: Krisenmanagement (Safety of Drinking Water Supply—Guidelines for Risk and Crisis Management—Part 1: Crisis Management). Beuth Verlag GmbH: Berlin, Germany, 2016.
- [21] DIN EN 15975-2; Sicherheit der Trinkwasserversorgung—Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement—Teil 2: Risikomanagement (Drinking Water Supply Security—Guidelines for

- Risk and Crisis Management—Part 2: Risk Management). Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany, 2013.
- [22] Broß, L.; Wienand, I.; Krause, S. Stand der Notfallvorsorgeplanung in der Wasserversorgung in Deutschland (Status of emergency preparedness planning in the water supply in Germany). *gwf-Wasser/Abwasser* 2020, 9, 40–51.
 - [23] Bross, L.; Wienand, I.; Krause, S. Batten down the hatches—Assessing the status of emergency preparedness planning in the German water supply sector with statistical and expert-based weighting. *Sustainability* 2020, 12, 7177. doi:10.3390/su12171777.
 - [24] Todini, E. Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. *Urban Water* 2000, 2, 115–122. doi:10.1016/S1462-0758(00)00049-2.
 - [25] Bonora, M.A.; Caldarola, F.; Maiolo, M. A New Set of Local Indices Applied to a Water Network through Demand and Pressure Driven Analysis (DDA and PDA). *Water* 2020, 12, 2210. doi:10.3390/w12082210.
 - [26] Bonora, M.; Caldarola, F.; Maiolo, M.; Muranho, J.; Sousa, J. The new set up of local performance indices into WaterNetGen and applications to Santarèm's network. *Environ. Sci. Proc.* 2020, 2, 18. doi:10.3390/environsciproc2020002018.
 - [27] Caldarola, F.; Maiolo, M. Local indices within a mathematical framework for urban water distribution systems. *Cogent Eng.* 2019, 6, 1643057. doi:10.1080/23311916.2019.1643057.
 - [28] Bonora, M.; Caldarola, F.; Muranho, J.; Sousa, J.; Maiolo, M. Numerical experimentations for a new set of local indices of a water network. In *Proceedings of the 3rd International Conference "Numerical Computations: Theory and Algorithms"*, Crotone, Italy, 15–21 June 2019; *Lecture Notes in Computer Science*; Sergeyev, Y.D., Kvasov, D.E., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 11973. doi:10.1007/978-3-030-39081-5_42.
 - [29] Caldarola, F.; Maiolo, M. Algebraic tools and new local indices for water networks: Some numerical examples. In *Proceedings of the 3rd International Conference "Numerical Computations: Theory and Algorithms"*, Crotone, Italy, 15–21 June 2019; *Lecture Notes in Computer Science*; Sergeyev, Y., Kvasov, D., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; Volume 11973. doi:10.1007/978-3-030-39081-5_44.
 - [30] Klise, K.; Hart, D.; Bynum, M.; Hogge, J.; Haxton, T.; Murray, R.; Burkhardt, J. *Water Network Tool for Resilience (WNTR) User Manual Version 1.0*; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2023; EPA/600/B-23/098.
 - [31] Muranho, J.; Ferreira, A.; Sousa, J.; Gomes, A.; Sa Marques, A. Technical performance evaluation of water distribution networks based on EPANET. *Procedia Eng.* 2014, 70, 1201–1210. doi:10.1016/j.proeng.2014.02.133.
 - [32] Abdy Sayyed, M.A.H.; Gupta, R.; Tanyimboh, T.T. Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET. *Procedia Eng.* 2014, 89, 626–631. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.487.

- [33] Vasilic, Z.; Babic, B.; Ivetic, D.; Kapelan, Z.; Stanic, M. An Improved DeNSE Methodology for Optimal Sectorization of Water Distribution Networks. *Water* 2024, 16, 1463. doi:10.3390/w16111463.
- [34] Klingel, P. Rohmetzanalyse—Modellierung von Wasserverteilungssystemen (Pipe Network Analysis—Modelling of Water Distribution Systems); Springer GmbH: Wiesbaden, Germany, 2018; ISBN 978-3658212698.
- [35] Mayr, E.; Lukas, A.; Möderl, M.; Rauch, W.; Perfler, R. Integrales Risikomanagement für die Trinkwasserversorgung in Österreich (Integral risk management for drinking water supply in Austria). *Österr. Wasser-Abfallwirtschaft* 2011, 63, 82–86. doi:10.1007/s00506-011-0290-x.
- [36] Zhuang, B.; Lansey, K.; Kang, D. Resilience/Availability analysis of municipal water distribution system incorporating adaptive pump operation. *J. Hydraul. Eng.* 2013, 139, 527–537. doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000676.
- [37] Avesani, D.; Maurizio Righetti, M.; Righetti, D.; Bertola, P. The extension of EPANET source code to simulate unsteady flow in water distribution networks with variable head tanks. *J. Hydroinformatics* 2012, 14, 960–973. doi:10.2166/hydro.2012.013.
- [38] Bross, L.; Krause, S. Will there be enough water? A system dynamics model to investigate the effective use of limited resources for emergency water supply. *Systems* 2021, 9, 2. doi:10.3390/systems9010002.
- [39] Daniel, D.; Prawira, J.; Al Djono, T.P.; Subandriyo, S.; Rezagama, A.; Purwanto, A. A system dynamics model of the community-based rural drinking water supply program (PAMSIMAS) in Indonesia. *Water* 2021, 13, 507. doi:10.3390/w13040507.
- [40] Zarghami, M.; Akbariyeh, S. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resour. Conserv. Recycl.* 2012, 60, 99–106. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.008.
- [41] Phan, T.D.; Smart, J.C.R.; Sahin, O.; Capon, S.J.; Hadwen, W.L. Assessment of the vulnerability of a coastal freshwater system to climatic and non-climatic changes: A system dynamics approach. *J. Clean. Prod.* 2018, 183, 940–955. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.169.
- [42] Broß, L. Wasserversorgung in Notsituationen—Verfahren zur Beurteilung der Resilienz von Wasserversorgungssystemen unter Berücksichtigung der Ersatz- und Notwasserversorgung (Water Supply in Emergency Situations—Methods for Assessing the Resilience of Water Supply Systems, Taking into Account Backup and Emergency Water Supply); Mitteilungen Institut für Wasserwesen Nr. 133 (Communications Institute of Hydraulics No. 133); Universität der Bundeswehr München (University of the Federal Armed Forces Munich): Munich, Germany, 2020; ISBN 978-3943297514.
- [43] Reed, R.; Godfrey, S.; Kayaga, S.; Reed, B.; Rouse, J.; Fisher, J. Technical Notes on Drinking-Water, Sanitation and Hygiene in Emergencies, 2nd ed; Water, Engineering and Development Centre Loughborough University: Loughborough, UK, 2013; ISBN 978-1843801528.

- [44] Bross, L.; Krause, S.; Wannewitz, M.; Stock, E.; Sandholz, S.; Wienand, I. Insecure security: Emergency water supply and minimum standards in countries with a high supply reliability. *Water* 2019, 11, 732. doi:10.3390/w11040732.
- [45] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches—SVGW (Swiss Gas and Water Industry Association). Empfehlung W1012 d (Vormals W/VN300 d)—Wegleitung für die Planung und Realisierung der Trinkwasserversorgung in Notlagen (TWN) (Recommendation W1012 d (Formerly W/VN300 d)—Guidelines for the Planning and Realisation of Drinking Water Supply in Emergency Situations (TWN)); SVGW: Zurich, Switzerland, 2007.
- [46] Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach—ÖVGW (Austrian Association for the Gas and Water Industry). Richtlinie W74—Trinkwassernotversorgung—Erfolgreiches Krisenmanagement in der Wasserversorgung (Guideline W74—Emergency Drinking Water Supply—Successful Crisis Management in the Water Supply Sector); ÖVGW: Vienna, Austria, 2017.
- [47] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe—BBK (Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance). Rahmenkonzept der Trinkwassernotversorgung, Neukonzeption zur Anpassung an Veränderte Rahmenbedingungen in Anlehnung an die Konzeption zivile Verteidigung (2016) (Framework Concept for Emergency Drinking Water Supply, New Concept for Adapting to Changed Framework Conditions Based on the Civil Defence Concept (2016)); BBK: Bonn, Germany, 2022.
- [48] Heumer, F.; Grischek, T.; Tränckner, J. Sicherheit der Wasserversorgung—Priorisierung von Gefährdungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse (Water supply safety—Prioritisation of hazards to the drinking water supply as part of the risk analysis). *gwf-Wasser/Abwasser* 2023, 3, 63–75. doi:10.17560/gwfwa.v164i3.2642.
- [49] Bundesministerium des Inneren—BMI (Federal Ministry of the Interior). Schutz Kritischer Infrastrukturen—Risiko- und Krisenmanagement Leitfaden für Unternehmen und Behörden (Critical Infrastructure Protection—Risk and Crisis Management Guide for Companies and Authorities); BMI: Berlin, Germany, 2011.
- [50] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.—DVGW (German Technical and Scientific Association for Gas and Water). DVGW W 1001 B1 Merkblatt, Sicherheit der Trinkwasserversorgung—Umsetzung für Wasserverteilungsanlagen (DVGW W 1001 B1 Code of practice, Safety of Drinking Water Supply—Implementation for Water Distribution Systems); DVGW: Bonn, Germany, 2011.
- [51] Heumer, F.; Kritznier, W.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung—Vulnerabilitätsermittlungen der Trinkwasserversorgung im Rahmen der Risikoanalyse (Securing the water supply—Vulnerability assessments of the drinking water supply as part of the risk analysis). *gwf-Wasser/Abwasser* 2023, 9, 71–79. doi:10.17560/gwfwa.v164i09.2671.

- [52] Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung—Dimensionierung eines Zwischenpumpwerks unter Beachtung von Not- und Krisenfällen (Securing the water supply—Dimensioning of an intermediate pumping station taking into account emergencies and crises). *gwf-Wasser/Abwasser* 2023, 12, 63–72. doi:10.17560/gwfwa.v164i12.2699.
- [53] Heumer, F.; Wienand, I.; Tränckner, J.; Grischek, T. Sicherung der Wasserversorgung—Blackout Vorsorge—Pilotprojekt der Dieselbevorratung (Securing the water supply—Blackout prevention—Diesel storage pilot project). *gwf-Wasser/Abwasser* 2024, 4, 109–120. doi:10.17560/gwfwa.v165i4.2732.
- [54] LfULG. iDA Datenportal für Sachsen—Aufgabenträger der Öffentlichen Wasserversorgung (LfULG. iDA Data Portal for Saxony—Public Water Supply Authorities). <https://umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/index.xhtml> (accessed on 26 April 2022).
- [55] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (General Association of the German Insurance Industry). http://www.kompassnaturgefahren.de/platform/resources/apps/Kompass_Naturgefahren/index.html?lang=de (accessed on 27 April 2024).
- [56] Seismologie-Verband: Seismologischer Verband zur Erdbebenbeobachtung in Mitteldeutschland, Kartendienst Erdbeben in Mitteldeutschland (Seismological Association: Seismological Association for Earthquake Observation in Central Germany, Map Service Earthquakes in Central Germany). <http://antares.thueringen.de/cadenza/pages/map/default/index.xhtml?sessionId=9854055DF608F23742F34502FCFD3402> (accessed on 2 May 2024).
- [57] Sächsische Staatskanzlei: Freistaat Sachsen, Naturgefahren (Saxon State Chancellery: Free State of Saxony, Natural Hazards). <http://www.naturgefahren.sachsen.de/index.html> (accessed on 17 April 2024).
- [58] Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL): Waldbrandgefahrenklasse (Saxon State Ministry for Energy, Climate Protection, Environment and Agriculture (SMEKUL): Forest Fire Risk Class). <http://www.wald.sachsen.de/waldbrandgefaehrdung-4186.html> (accessed on 5 May 2024).
- [59] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie—LfULG (Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology). Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen, KliWES-Schriftenreihe, Heft 32/2014 (Climate Change and Water Balance in Saxony, KliWES Series, Issue 32/2014); LfULG: Dresden, Germany, 2014.
- [60] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie—LfULG (Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology). iDA Datenportal für Sachsen—Aufgabenträger der öffentlichen Wasserversorgung, Steckbrief: ZV "Oberlausitz WV" Zittau (iDA Data Portal for Saxony—Public Water Supply Authorities, Profile: ZV 'Oberlausitz WV' Zittau); LfULG: Dresden, Germany, 2014.

- [61] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ): Prototyp WIS-D (Experimentelles System), Klimafolgen—Abgrenzung Versorgungsgebiet Oberlausitz WV (Helmholtz Centre for Environmental Research GmbH (UFZ): Prototype WIS-D (Experimental System), Climate Impacts—Delimitation of the Upper Lusatia WV Supply Area). <https://web.app.ufz.de/wis-d/de?area=5&layer=133> (accessed on 20 April 2024).
- [62] Hokstad, P.; Utne, I.B.; Vatn, J. Risk and Vulnerability Analysis of Critical Infrastructures. In *Risk and Interdependencies in Critical Infrastructures*; Springer: London, UK, 2012; pp. 23–33. doi:10.1007/978-1-4471-4661-2_3.
- [63] Hüttner, D.; Winkler, U. Praktische Erfahrungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung für die Stadt Leipzig (Practical experience in carrying out a risk analysis of the public water supply for the city of Leipzig). *gwf-Wasser/Abwasser Special Issue* 2020, 160, 1–5.
- [64] Hüttner, D.; Kalfhaus, B.; Opitz, R.; Mucha, M.; Wienand, I. Risikoanalyse der öffentlichen Wasserversorgung Methoden und Erkenntnisse aus Dresden und Leipzig (Risk analysis of public water supply Methods and findings from Dresden and Leipzig). *BBK Bevölkerungsschutz* 2018, 3, 12–17.
- [65] Spiegel Online: Interaktive Karte Angst vor der Atomwolke (Spiegel Online: Interactive Map Fear of the Nuclear Cloud). <https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/atomkraft-diese-interaktive-karte-zeigt-das-strahlenrisiko-a-1133716.html> (accessed on 5 April 2024).
- [66] Lelieveld, J.; Kunkel, D.; Lawrence, M.G. Global risk of radioactive fallout after major nuclear reactor accidents. *Atmos. Chem. Phys.* 2012, 12, 4245–4258. doi:10.5194/acp-12-4245-20

In dieser Reihe bisher erschienen

Band I

10. DIALOG Abfallwirtschaft MV

– Von der Abfallwirtschaft zur Energiewirtschaft.

Tagungsband, erschienen im Juni 2007, ISBN 987-3-86009-004-6

Band II

Ellen-Rose Trübger

Entwicklung eines Ansatzes zur Berücksichtigung der ungesättigten Zone bei der Grundwassersimulation von Feuchtgebieten.

Dissertation, erschienen im August 2007, ISBN 978-3-86009-006-0

Band III

René Dechow

Untersuchungen verschiedener Ansätze der Wasserhaushalts- und Stofftransportmodellierung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in Stickstoffhaushaltsmodellen.

Dissertation, erschienen im September 2007, ISBN 978-3-86009-016-9

Band IV

Carolín Wloczyk

Entwicklung und Validierung einer Methodik zur Ermittlung der realen Evapotranspiration anhand von Fernerkundungsdaten in Mecklenburg-Vorpommern.

Dissertation, erschienen im September 2007, ISBN 978-3-86009-009-1

Band 5

1. Rostocker Bioenergieforum.

Bioenergieland Mecklenburg-Vorpommern.

Tagungsband, erschienen im Oktober 2007, ISBN 978-3-86009-013-8

Band 6

Kulturtechniktagung 2007.

Ostseeverseuchung und Flächenentwässerung.

Tagungsband, erschienen im Januar 2008, ISBN 978-3-86009-018-3

Band 7

Enrico Frahm

Bestimmung der realen Evapotranspiration für Weide (*Salix* spp.) und Schilf (*Phragmites australis*) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor.

Dissertation, erschienen im Mai 2008, ISBN 978-3-86009-023-7

Band 8

Jenny Haide

Methode zur Quantifizierung der Einflüsse auf Vorgangsdauern lohnintensiver Arbeiten am Beispiel von Pflasterarbeiten.

Dissertation, erschienen im Juni 2008, ISBN 978-3-86009-024-4

Band 9

11. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Chancen und Risiken für die deutsche Abfallwirtschaft im Ausland.

Tagungsband, erschienen im Juni 2008, ISBN 978-3-86009-029-9

Band 10

Stefan Cantré

Ein Beitrag zur Bemessung geotextiler Schläuche für die Entwässerung von Baggergut.

Dissertation, erschienen im Juni 2008, ISBN 978-3-86009-032-9

Band 11

Birgit Wüstenberg

Praxis der Standortwahl von Sportboothäfen im Küstenbereich Mecklenburg-Vorpommerns und Entwicklung einer Bewertungsmethode als Planungshilfe.

Dissertation, erschienen im Juli 2008, ISBN 978-3-86009-033-6

Band 12

André Clauß

Erhöhung der Trinkwasserversorgungssicherheit in Havarie- und Krisensituationen durch neue Handlungsalgorithmen sowie Einbeziehung bisher ungenutzter Ressourcen am Beispiel von Bergbaugrubenwasser.

Dissertation, erschienen im September 2008, ISBN 978-3-86009-037-4

Band 13

Peter Degener

Sickerwasserkreislauf zur Behandlung von Sickerwässern der aerob-biologischen Restabfallbehandlung (Restabfallrotte).

Dissertation, erschienen im Oktober 2008, ISBN 978-3-86009-043-5

Band 14

2. Rostocker Bioenergieforum

Innovationen für Klimaschutz und wirtschaftliche Entwicklung.

Tagungsband, erschienen im Oktober 2008, ISBN 978-3-86009-044-2

Band 15

7. Rostocker Abwassertagung

Fortschritte auf dem Gebiet der Abwasserentsorgung.

Tagungsband, erschienen im November 2008, ISBN 978-3-86009-045-9

Band 16

Christian Noß

Strömungsstrukturen kleiner naturnaher Fließgewässer unter Berücksichtigung von Turbulenztheorie und Dispersionsmodellen.

Dissertation, erschienen im Januar 2009, ISBN 978-3-86009-054-1

Band 17

Ralf Schröder

Entwicklung von Möglichkeiten zur Messung der N₂-Übersättigung sowie Methoden zur Reduzierung der Schwimmschlamm Bildung.

Dissertation, erschienen im Februar 2009, ISBN 978-3-86009-055-8

Band 18

Elmar Wisotzki

Bodenverfestigungen mit Kalk-Hüttensand-Gemischen.

Dissertation, erschienen im April 2009, ISBN 978-3-86009-059-6

Band 19

Ramez Mashkour

Untersuchungen zur Adsorption und biologischen Aktivität an Aktivkohlefilter unter den Bedingungen der Wasseraufbereitung im Wasserwerk Rostock.

Dissertation, erschienen im April 2009, ISBN 978-3-86009-060-2

Band 20

Torsten Birkholz

Handlungserfordernisse und Optimierungsansätze für kommunale Ver- und Entsorgungsunternehmen im Zusammenhang mit demografischen Veränderungen im ländlichen Raum aufgezeigt an einem Beispiel in Mecklenburg-Vorpommern.

Dissertation, erschienen im Mai 2009, ISBN 978-3-86009-061-9

Band 21

12. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfallwirtschaft.

Tagungsband, erschienen im Juni 2009, ISBN 978-3-86009-062-6

Band 22

Thomas Fritz

Entwicklung, Implementierung und Validierung eines praxisnahen Verfahrens zur Bestimmung von Biogas- bzw. Methanerträgen.

Dissertation, erschienen im Oktober 2009, ISBN 978-3-86009-065-7

Band 23

3. Rostocker Bioenergieforum

Bioenergie – Chance und Herausforderung für die regionale und globale Wirtschaft.

Tagungsband, erschienen im Oktober 2009, ISBN 978-3-86009-065-8

Band 24

Muhammad Mariam

Analyse von Gefahrenpotenzialen für die Trinkwasserversorgung der Stadt Rostock unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffausbreitungsvorgängen in der Warnow.

Dissertation, erschienen im Februar 2010, ISBN 978-3-86009-078-7

Band 25

Manja Steinke

Untersuchungen zur Behandlung von Abwässern der Fischverarbeitungsindustrie.

Dissertation, erschienen im Juni 2010, ISBN 978-3-86009-085-5

Band 26

13. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Die Kreislauf- und Abfallwirtschaft im Wandel. Wohin gehen die rechtlichen und technischen Entwicklungen?

Tagungsband, erschienen im Juni 2010, ISBN 978-3-86009-087-9

Band 27

4. Rostocker Bioenergieforum

Zukunftstechnologien für Bioenergie

Tagungsband, erschienen im Oktober 2010, ISBN 978-3-940364-12-8

Band 28

Dirk Banemann

Einfluss der Silierung und des Verfahrensablaufs der Biomassebereitstellung auf den Methanertrag unter Berücksichtigung eines Milchsäurebakteriensilierungsmittel

Dissertation, erschienen im Januar 2011, ISBN 978-3-86009-087-9

Band 29

14. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Abfall als Wertstoff- und Energiereserve

Tagungsband, erschienen im Juni 2011, ISBN 978-3-940364-18-0

Band 30

5. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im November 2011, ISBN 978-3-940364-20-3

Band 31

8. Rostocker Abwassertagung

Erhöhung der Effektivität von Abwasserentsorgungsanlagen

Tagungsband, erschienen im November 2011, ISBN 978-3-86009-120-3

Band 32

6. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2012, ISBN 978-3-940364-27-2

Band 33

Ishan Machlouf

Untersuchungen zur Nitratelimination bei der Trinkwasseraufbereitung unter Berücksichtigung syrischer Verhältnisse

Dissertation, erschienen im März 2013, ISBN 978-3-86009-204-0

Band 34

Ralph Sutter

Analyse und Bewertung der Einflussgrößen auf die Optimierung der

Rohbiogasproduktion hinsichtlich der Konstanz von Biogasqualität und -menge

Dissertation, erschienen im März 2013, ISBN 978-3-86009-202-6

Band 35

Wolfgang Pfaff-Simoneit

Entwicklung eines sektoralen Ansatzes zum Aufbau von nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen in Entwicklungsländern vor dem Hintergrund von Klimawandel und Ressourcenverknappung

Dissertation, erschienen im Mai 2013, ISBN 978-3-86009-203-3

Band 36

7. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2013, ISBN 978-3-86009-207-1

Band 37

Markus Helftewes

Modellierung und Simulation der Gewerbeabfallaufbereitung vor dem Hintergrund der Outputqualität, der Kosteneffizienz und der Klimabilanz

Dissertation, erschienen im Oktober 2013, ISBN 978-3-86009-402-0

Band 38

Jan Stefan Riha

Detektion und Quantifizierung von Cyanobakterien in der Ostsee mittels Satellitenfernerkundung

Dissertation, erschienen im Oktober 2013, ISBN 978-3-86009-403-7

Band 39

Peter Helmke

Optimierung der Verarbeitungs-, Gebrauchs- und Entsorgungseigenschaften eines naturfaserverstärkten Kunststoffes unter Berücksichtigung automobiler Anforderungen

Dissertation, erschienen im November 2013, ISBN 978-3-86009-404-4

Band 40

Andrea Siebert-Raths

Modifizierung von Polylactid (PLA) für technische Anwendungen

Verfahrenstechnische Optimierung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften

Dissertation, erschienen im Januar 2014 ISBN 978-3-86009-405-1

Band 41

Fisiha Getachew Argaw

Agricultural Machinery Traffic Influence on Clay Soil Compaction as Measured by the Dry Bulk Density

Dissertation, erschienen im Januar 2014 ISBN 978-3-86009-406-8

Band 42

Tamene Adugna Demissie

Climate change impact on stream flow and simulated sediment yield to Gilgel Gibe 1 hydropower reservoir and the effectiveness of Best Management Practices

Dissertation, erschienen im Februar 2014 ISBN 978-3-86009-407-5

Band 43

Paul Engelke

Untersuchungen zur Modellierung des Feststofftransports in Abwasserkanälen: Validierung in SIMBA®

Dissertation, erschienen im Februar 2014 ISBN 978-3-86009-408-2

Band 44

16. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfall- und Ressourcenwirtschaft

Tagungsband, erschienen im April 2014, ISBN 978-3-86009-410-5

Band 45

8. Rostocker Bioenergieforum, 19.-20. Juni 2014 an der Universität Rostock

Tagungsband, erschienen im Juni 2014, ISBN 978-3-86009-412-9

Band 46

Abschlussbericht Projekt CEMUWA – Climate protection, natural resources management and soil improvement by combined Energetic and Material Utilization of lignocellulosic agricultural Wastes and residues

Projektbericht, erschienen im September 2014, ISBN 978-3-86009-413-6

Band 47

8. Rostocker Baggergutseminar, 24.-25. September 2014 in Rostock
Tagungsband, erschienen im September 2014, ISBN 978-3-86009-414-3

Band 48

Michael Kuhn

Mengen und Trockenrückstand von Rechengut kommunaler Kläranlagen
Dissertation, erschienen im Oktober 2014 ISBN 978-3-86009-415-0

Band 49

8. Rostocker Abwassertagung, 10.-11. November 2014 in Rostock
Tagungsband, erschienen im November 2014, ISBN 978-3-86009-416-7

Band 50

Mulugeta Azeze Belete

Modeling and Analysis of Lake Tana Sub Basin Water Resources Systems,
Ethiopia

Dissertation, erschienen im Dezember 2014 ISBN 978-3-86009-422-8

Band 51

Daniela Dressler

Einfluss regionaler und standortspezifischer Faktoren auf die Allgemeingültigkeit
ökologischer und primärenergetischer Bewertungen von Biogas

Dissertation, erschienen im Mai 2015 ISBN 978-3-86009-424-2

Band 52

9. Rostocker Bioenergieforum, 18.-19. Juni 2015 in Rostock

Tagungsband, erschienen im November 2014, ISBN 978-3-86009-425-9

Band 53

Nils Engler

Spurenelementkonzentrationen und biologische Aktivität in NaWaRo-Biogas-
fermentern

Dissertation, erschienen im September 2015 ISBN 978-3-86009-427-3

Band 54

Thomas Schmidt

Möglichkeiten der Effizienzsteigerung bei der anaeroben Vergärung
von Weizenschlempe

Dissertation, erschienen im Oktober 2015 ISBN 978-3-86009-428-0

Band 55

Thomas Dorn

Principles, Opportunities and Risks associated with the transfer of environmental technology between Germany and China using the example of thermal waste disposal

Dissertation, erschienen im Dezember 2015 ISBN 978-3-86009-429-7

Band 56

Uwe Holzhammer

Biogas in einer zukünftigen Energieversorgungsstruktur mit hohen Anteilen fluktuierender Erneuerbarer Energien

Dissertation, erschienen im Dezember 2015 ISBN 978-3-86009-430-3

Band 57

17. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfall- und Ressourcenwirtschaft,

15. Juni 2016 in Rostock,

Tagungsband, erschienen im Juni 2016, ISBN 978-3-86009-432-7

Band 58

10. Rostocker Bioenergieforum, 16.-17. Juni 2016 in Rostock

Tagungsband, erschienen im Juni 2016, ISBN 978-3-86009-433-4

Band 59

Michael Friedrich

Adaptation of growth kinetics and degradation potential of organic material in activated sludge

Dissertation, erschienen im Juli 2016 ISBN 978-3-86009-434-1

Band 60

Nico Schulte

Entwicklung von Qualitätsprüfungen für die haushaltsnahe Abfallsammlung im Holsystem

Dissertation, erschienen im Juli 2016 ISBN 978-3-86009-435-8

Band 61

Ullrich Dettmann

Improving the determination of soil hydraulic properties of peat soils at different scales

Dissertation, erschienen im September 2016 ISBN 978-3-86009-436-5

Band 62

Anja Schreiber

Membranbasiertes Verfahren zur weitergehenden Vergärung

von feststoffreichen Substraten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Dissertation, erschienen im Oktober 2016 ISBN 978-3-86009-446-4

Band 63

André Körte

Entwicklung eines selbstgängigen statischen Verfahrens zur biologischen Stabilisierung und Verwertung organikreicher Abfälle unter extrem ariden Bedingungen für Entwicklungs- und Schwellenländer, am Beispiel der Stadt Teheran
Dissertation, erschienen im Oktober 2016 ISBN 978-3-86009-447-1

Band 64

Ayman Elnaas

Actual situation and approach for municipal solid waste treatment in the Arab region
Dissertation, erschienen im Oktober 2016 ISBN 978-3-86009-448-8

Band 65

10. Rostocker Abwassertagung, Wege und Werkzeuge für eine zukunftsfähige Wasserwirtschaft im norddeutschen Tiefland, 8. November 2016 in Rostock
Tagungsband, erschienen im November 2016, ISBN 978-3-86009-449-5

Band 66

Gunter Weißbach

Mikrowellen-assistierte Vorbehandlung lignocellulosehaltiger Reststoffe
Dissertation, erschienen im November 2016 ISBN 978-3-86009-450-1

Band 67

Leandro Janke

Optimization of anaerobic digestion of sugarcane waste for biogas production in Brazil
Dissertation, erschienen im Mai 2017 ISBN 978-3-86009-454-9

Band 68

11. Rostocker Bioenergieforum, 22.-23. Juni 2017 in Rostock
Tagungsband, erschienen im Juni 2017, ISBN 978-3-86009-455-6

Band 69

Claudia Demmig

Einfluss des Erntezeitpunktes auf die anaerobe Abbaukinetik der Gerüstsubstanzen im Biogasprozess
Dissertation, erschienen im Juli 2017, ISBN 9978-3-86009-456-3

Band 70

Christian Koepke

Die Ermittlung charakteristischer Bodenkennwerte der Torfe und Mudden Mecklenburg-Vorpommerns als Eingangsparameter für erdstatische Berechnungen nach Eurocode 7 / DIN 1054
Dissertation, erschienen im Juni 2017, ISBN 978-3-86009-457-0

Band 71

Sven-Henning Schlömp

Geotechnische Untersuchung und Bewertung bautechnischer Eignung
von Müllverbrennungsschlacken und deren Gemischen mit Böden
Dissertation, erschienen im Juni 2017, ISBN 978-3-86009-458-7

Band 72

Anne-Katrin Große

Baggergut im Deichbau – Ein Beitrag zur geotechnischen Charakterisierung
und Erosionsbeschreibung feinkörniger, organischer Sedimente
aus dem Ostseeraum zur Einschätzung der Anwendbarkeit
Dissertation, erschienen im Juni 2017, ISBN 978-3-86009-459-4

Band 73

Thomas Knauer

Steigerung der Gesamteffizienz von Biogasanlagen durch thermische
Optimierung
Dissertation, erschienen im Juli 2017, ISBN 978-3-86009-460-0

Band 74

Mathhar Bdour

Electrical power generation from residual biomass by combustion
in externally fired gas turbines (EFGT)
Dissertation, erschienen im August 2017, ISBN 978-3-86009-468-6

Band 75

Johannes Dahlin

Vermarktungsstrategien und Konsumentenpräferenzen für Dünger und Erden
aus organischen Reststoffen der Biogasproduktion
Dissertation, erschienen im September 2017, ISBN 978-3-86009-469-3

Band 76

Sören Weinrich

Praxisnahe Modellierung von Biogasanlagen
Systematische Vereinfachung des Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)
Dissertation, erschienen im März 2018, ISBN 978-3-86009-471-6

Band 77

18. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfall- und Ressourcenwirtschaft
Tagungsband, erschienen im Juni 2018, ISBN 978-3-86009-472-3

Band 78

12. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2018, ISBN 978-3-86009-473-0

Band 79

Tatyana Koegst

Screening approaches for decision support in drinking water supply

Dissertation, erschienen im Juni 2018, ISBN 978-3-86009-474-7

Band 80

Liane Müller

Optimierung des anaeroben Abbaus stickstoffhaltiger Verbindungen durch den Einsatz von Proteasen

Dissertation, erschienen im September 2018, ISBN 978-3-86009-475-4

Band 81

Projektbericht Wasserwirtschaft

KOGGE – **K**ommunale **G**ewässer **G**emeinschaftlich **E**ntwickeln

Ein Handlungskonzept für kleine urbane Gewässer am Beispiel der Hanse- und Universitätsstadt Rostock

Projektbericht, erschienen im September 2018, ISBN 978-3-86009-476-1

Band 82

Adam Feher

Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von Mikronährstoffen für den Biogasprozess

Dissertation, erschienen im Oktober 2018, ISBN 978-3-86009-477-8

Band 83

Constanze Uthoff

Pyrolyse von naturfaserverstärkten Kunststoffen zur Herstellung eines kohlenstoffhaltigen Füllstoffs für Thermoplasten

Dissertation, erschienen im November 2018, ISBN 978-3-86009-478-5

Band 84

Ingo Kaundinya

Prüfverfahren zur Abschätzung der Langzeitbeständigkeit von Kunststoffdichtungsbahnen aus PVC-P für den Einsatz in Dichtungssystemen von Straßentunneln

Dissertation, erschienen im Dezember 2018, ISBN 978-3-86009-484-6

Band 85

Eric Mauky

A model-based control concept for a demand-driven biogas production

Dissertation, erschienen im Januar 2019, ISBN 978-3-86009-485-3

Band 86

Michael Kröger

Thermochemical Utilization of Algae with Focus on hydrothermal Processes

Dissertation, erschienen im Februar 2019, ISBN 978-3-86009-486-0

Band 87

13. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2019, ISBN 978-3-86009-487-7

Band 88

12. Rostocker Abwassertagung

Tagungsband, erschienen im September 2019, ISBN 978-3-86009-488-4

Band 89

Philipp Stahn

Wasser- und Nährstoffhaushalt von Böden unter Mischkulturen und Trockenstress

Dissertation, erschienen im Juli 2019, ISBN 978-3-86009-489-1

Band 90

BioBind: Luftgestützte Beseitigung von Verunreinigungen durch Öl mit biogenen Bindern

Projektbericht, erschienen im September 2019, ISBN 978-3-86009-490-7

Band 91

Jürgen Müller

Die forsthydrologische Forschung im Nordostdeutschen Tiefland: Veranlassung, Methoden, Ergebnisse und Perspektiven

Habilitation, erschienen im Oktober 2019, ISBN 978-3-86009-491-4

Band 92

Marcus Siewert

Bewertung der Ölhavarievorsorge im deutschen Seegebiet auf Grundlage limitierender Randbedingungen – Ein Beitrag zur Verbesserung des Vorsorgestatus

Dissertation, erschienen im November 2019, ISBN 978-3-86009-492-1

Band 93

Camilo Andrés Wilches Tamayo

Technical optimization of biogas plants to deliver demand oriented power

Dissertation, erschienen im Februar 2020, ISBN 978-3-86009-493-8

Band 94

Robert Kopf

Technisches Benchmarking mit Standortqualifikationsstudie biochemischer Energieanlagenprojekte (Beispiel Biogas)

Dissertation, erschienen im Februar 2020, ISBN 978-3-86009-494-5

Band 95

14. Rostocker Bioenergieforum und 19. DIALOG Abfallwirtschaft MV
Tagungsband, erschienen im Juni 2020, ISBN 978-3-86009-507-2
DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002650

Band 96

Safwat Hemidat
Feasibility Assessment of Waste Management and Treatment in Jordan
Dissertation, erschienen im Juli 2020, ISBN 978-3-86009-509-6

Band 97

Andreas Heiko Metzger
Verdichtung von ungebundenen Pflasterdecken und Plattenbelägen -
Untersuchungen zur Lagerungsdichte des Fugenmaterials
Dissertation, erschienen im Juli 2020, ISBN 978-3-86009-510-2
DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002742

Band 98

Ying Zhou
Research on Utilization of Hydrochars Obtained by the Organic Components of
Municipal Solid Waste
Dissertation, erschienen im November 2020, ISBN 978-3-86009-515-7

Band 99

Mathias Gießler
Ein prozessbasiertes Modell zur wirtschaftlich-technischen Abbildung von
Abwasserunternehmen – Beispielhafte Anwendung für eine ländliche Region
mit Bevölkerungsrückgang
Dissertation, erschienen im November 2020, ISBN 978-3-86009-516-4
DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002790

Band 100

Dodieka Ika Candia
Development of a Virtual Power Plant based on a flexible Biogas Plant and a
Photovoltaic-System
Dissertation, erschienen im Dezember 2020, ISBN 978-3-86009-518-8
DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002814

Band 101

Thomas Zeng
Prediction and reduction of bottom ash slagging during small-scale combustion
of biogenic residues
Dissertation, erschienen im Dezember 2020, ISBN 978-3-86009-519-5

Band 102

Edward Antwi

Pathways to sustainable bioenergy production from cocoa and cashew residues from Ghana

Dissertation, erschienen im Dezember 2020, ISBN 978-3-86009-520-1

DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002818

Band 103

Muhammad Waseem

Integrated Hydrological and Mass Balance Assessment in a German Lowland Catchment with a Coupled Hydrologic and Hydraulic Modelling

Dissertation, erschienen im Januar 2021, ISBN 978-3-86009-521-8

DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002884

Band 104

Martin Rinas

Sediment Transport in Pressure Pipes

Dissertation, erschienen im März 2021, ISBN 978-3-86009-538-6

DOI https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003915

Band 105

15. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2021, ISBN 978-3-86009-524-9

DOI https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003024

Band 106

Jan Sprafke

Potenziale der biologischen Behandlung von organischen Abfällen zur Sektorenkopplung

Dissertation, erschienen im Oktober 2021, ISBN 978-3-86009-527-0

DOI https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003118

Band 107

Mingyu Qian

The Demonstration and Adaption of the Garage - Type Dry Fermentation Technology for Municipal Solid Waste to Biogas in China

Dissertation, erschienen im Oktober 2021, ISBN 978-3-86009-528-7

Band 108

Haniyeh Jalalipour

Sustainable municipal organic waste management in Shiraz, Iran

Dissertation, erschienen im November 2021, ISBN 978-3-86009-526-3

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003116

Band 109

Michael Cramer

Umgang mit stark verschmutztem Niederschlagswasser aus Siloanlagen

Dissertation, erschienen im Dezember 2021, ISBN 978-3-86009-530-0

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003358

Band 110

16. Rostocker Bioenergieforum und 20. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Tagungsband, erschienen im Juni 2022, ISBN 978-3-86009-535-5

DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003615

Band 111

Fachtagung Wasserwirtschaft – Gute Stadt-Land-Beziehungen für eine nachhaltige Entwicklung in MV

Tagungsband, erschienen im Juni 2022, ISBN 978-3-86009-538-6

DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003915

Band 112

Zelalem Abera Angello

Selection of Optimal Pollution Management Strategy for the Little Akaki River, Ethiopia, Based on Determination of Spatio-temporal Pollutant Dynamics and Water Quality Modeling

Dissertation, erschienen im Oktober 2022, ISBN 978-3-86009-542-3

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003948

Band 113

Qahtan Thabit

Hybrid waste Incineration – Solar Parabolic System with Thermal Energy

Recovery in Sea water Disalination in MENA Region

Dissertation, im Druck, ISBN 978-3-86009-545-4

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004181

Band 114

17. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2023, ISBN 978-3-86009-547-8

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004269

Band 115

Megersa Kebede Leta

Modeling Optimal Operation of Nashe

Hydropower Reservoir under LandUse Land Cover Changes in blue Nile River Basin, Ethiopia

Dissertation, ISBN 978-3-86009-548-5

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004427

Band 116

13. Rostocker Abwassertagung. Bewirtschaftung und Behandlung von Niederschlagswasser.

Tagungsband, erschienen im November 2023, ISBN 978-3-86009-549-2

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004432

Band 117

Semaria Moga Lencha

Estimating pollutant fluxes and their impact on Lake Hawassa in Ethiopia's Rift Valley basin based on combined monitoring and modelling

Dissertation, ISBN 978-3-86009-550-8

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004446

Band 118

Fabian Gievers

Vergleichende Untersuchungen und Bilanzierungen von Prozessketten zur Herstellung und Nutzung von Biokohlen aus Klärschlämmen

Dissertation, ISBN 978-3-86009-551-5

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004455

Band 119

Tim Jurisch

Untersuchungen hydraulischer Eigenschaften von Baggergut im Deichbau am Beispiel des Rostocker Forschungsdeiches

Dissertation, ISBN 978-3-86009-552-2

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004489

Band 120

Projekt PROSPER-RO

Prospektive Synergistische Planung von Entwicklungsoptionen in Regiopolen am Beispiel des Stadt-Umland-Raums Rostock.

Abschlussbericht, erschienen im Februar 2024, ISBN 978-3-86009-553-9

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004532

Band 121

Roberto Eloy Hernández Regalado

Optimization of the efficiency and flexibility of agricultural biogas plants by integrating an expanded granular sludge bed reactor

Dissertation, ISBN 978-3-86009-554-6

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004560

Band 122

Clement Owusu Prempeh

Generation of biogenic silica from biomass residues for sustainable industrial material applications

Dissertation, ISBN 978-3-86009-555-3

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004559

Band 123

Frauke Kachholz

Model-based Generation of High-Resolution Flood Flow Characteristics for Small Ungauged Streams in the Northeast German Lowlands

Dissertation, ISBN 978-3-86009-556-0

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004530

Band 124

18. Rostocker Biomasseforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2024, ISBN 978-3-86009-559-1

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004587

Band 125

Vicky Shettigondahalli Ekanthalu

Hydrothermal Carbonization of Sewage Sludge and the Influence of pH Phosphorus Transformation and Hydrochar Properties

Dissertation, ISBN 978-3-86009-562-1

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004601

Band 126

Nguyen Van Than

Development of an anaerobic pre-treatment of high strength organic wastewater from the cleaning of tanks of food and fodder road transports

Dissertation, ISBN 978-3-86009-560-7

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004600

Band 127

Christian Ochsmann

Untersuchung der Adsorption von CO₂ an Ionenaustauschern anhand eines Modellbiogases

Dissertation, ISBN 978-3-86009-561-4

Band 128

Jan Olschewski

Ein Beitrag zur Bestimmung der Erosionsstabilität von Deichbinnenböschungen

Dissertation, ISBN 978-3-86009-563-8

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004629

Band 129

Christian Kaehler

Ein Beitrag zur Bemessung von Küstenschutzbauwerken auf Basis der bivariaten Wahrscheinlichkeitsanalyse mit Copula-Modellen

Dissertation, ISBN 978-3-86009-566-9

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004689