

## Unterrichtung

durch die Bundesregierung

### Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2018

#### Inhaltsverzeichnis

|                                                                 | Seite |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Vorwort</b> .....                                            | 2     |
| <b>1. Einleitung</b> .....                                      | 3     |
| <b>2. Stand der Umsetzung auf Ebene des Bundes</b> .....        | 6     |
| 2.1 Risikoanalyse „Dürre“ .....                                 | 8     |
| 2.1.1 Szenario .....                                            | 8     |
| 2.1.2 Ergebnisse im Überblick .....                             | 9     |
| 2.1.3 Erkenntnisse .....                                        | 10    |
| 2.1.4 Betroffene Handlungsfelder .....                          | 12    |
| 2.1.5 Leistungen des Bundes im Fall einer Dürre .....           | 21    |
| 2.1.6 Trends .....                                              | 24    |
| <b>3. Stand der Umsetzung auf Ebene der Länder</b> .....        | 27    |
| <b>4. Parallele Entwicklung auf internationaler Ebene</b> ..... | 31    |
| <b>5. Ausblick</b> .....                                        | 33    |
| <b>Quellenverweis</b> .....                                     | 34    |
| <b>Anlage: Risikoanalyse Bevölkerungsschutz Bund</b> .....      | 37    |

## Vorwort

Die vorliegende Risikoanalyse befasst sich mit den Auswirkungen eines mehrjährigen Dürreszenarios für Deutschland. Obgleich das hier untersuchte Szenario einen theoretischen und abstrahierten Ereignisverlauf beschreibt, haben die Erfahrungen des Jahres 2018 deutlich gemacht, wie relevant eine Analyse eines solchen Szenarios auch für Deutschland geworden ist. Das Jahr 2018 wird vielen als „Dürrejahr“ im Gedächtnis bleiben. Analysen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zeigen, dass der Sommer 2018 (Juni, Juli, August) im Deutschlandmittel der zweitwärmste (nach 2003) und zweittrockenste (nach 1911) seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen 1881 war. Bedingt durch die überdurchschnittliche Temperatur im Zusammenhang mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen kam es im Sommer 2018 zu Ernteaussfällen, Waldbränden, niedrigen Pegelständen der Flüsse und Talsperren sowie zu lokalen Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung. In Folge der Beeinträchtigung der Binnenschifffahrt kam es auch zu wirtschaftlichen Beeinträchtigungen einiger Wirtschaftssektoren (Reedereien, Häfen, Erdölversorgung mit steigenden Erdölpreisen, chemische Industrie).

Die realen Erfahrungen des Jahres 2018 bestätigen, dass eine Dürre ein durchaus realistisches Ereignis für Deutschland ist. Gleichzeitig ist es vor dem Hintergrund des Klimawandels denkbar, dass Dürreereignisse in den nächsten Jahren und Jahrzehnten eine möglicherweise häufiger vorkommende Herausforderung für Deutschland darstellen könnten. Da Dürreereignisse im Verhältnis zu Hochwasser/Sturzfluten und Stürmen seltener auftreten fehlt es an kontinuierlicher Erfahrung im Umgang mit ihnen. Dies macht eine theoretische Vorbereitung auf Dürreereignisse umso wichtiger.

Dieser Bericht ist als fachliche Bestandsaufnahme dessen zu verstehen, womit bei Eintreten des hier angenommenen Dürreereignisses in Deutschland aus Sicht des Bevölkerungsschutzes zu rechnen ist.

Mit dem Bezugsgebiet „Bundesrepublik Deutschland“ hat die Risikoanalyse einen äußerst komplexen und in vielerlei Hinsicht heterogenen Raum zum Gegenstand ihrer Untersuchung. Daher ist einerseits eine ausreichend konkrete Ausarbeitung des Szenarios notwendig, um die zu erwartenden Auswirkungen des angenommenen Ereignisses auf die unterschiedlichen Schutzgüter (Mensch, Umwelt, Volkswirtschaft, Immateriell) belastbar abschätzen zu können. Andererseits ist eine generisch-abstrakte Betrachtung in angemessen grober räumlicher Auflösung aus Bundesperspektive angezeigt. Eine konkretere Abschätzung dazu, welche Schäden, Ausfälle oder Störungen auf kleinräumigerer Ebene vor Ort zu erwarten wären, kann nur auf der jeweiligen administrativen Ebene im eigenen Zuständigkeitsbereich ermittelt werden. Das Szenario der vorliegenden Risikoanalyse kann hierfür als Ausgangspunkt und Informationsgrundlage verwendet werden.

## 1. Einleitung

Aufgabe des Bevölkerungsschutzes<sup>1</sup> ist es, die Bevölkerung, ihre Wohnungen und Arbeitsstätten, lebens- oder verteidigungswichtige zivile Dienststellen, Betriebe, Einrichtungen und Anlagen sowie die Umwelt und das Kulturgut vor Schadensereignissen zu schützen und die Folgen von Schadensereignissen zu beseitigen oder zu mildern. Deutschland verfügt über ein leistungsfähiges, integriertes Hilfeleistungssystem<sup>2</sup>, das auf dem Grundprinzip der Subsidiarität aufbaut und administrativ in allen Verwaltungsebenen verankert ist.

Die „Arbeitsteilung“ zwischen Bund und Ländern mit zahlreichen staatlichen, öffentlichen und privaten Akteuren und ihren ineinandergreifenden Aufgaben und Verantwortlichkeiten erfordert klar definierte Zuständigkeiten: Bund und Länder regeln die Aufgaben des aus Zivilschutz (Bund) und Katastrophenschutz (Länder) bestehenden Bevölkerungsschutzes durch jeweils eigene Gesetze für ihren originären Zuständigkeitsbereich. In die Länderzuständigkeit fallen zudem die im erweiterten Verständnis zum Bevölkerungsschutz zählenden Aufgaben wie Brandschutz, Technische Hilfe und Rettungsdienst. Die Zuständigkeiten für den Katastrophenschutz (Länder) und den Zivilschutz (Bund) werden durch die Katastrophenhilfe des Bundes (§§ 11 bis 15 ZSKG) und die gegenseitige Rechts- und Amtshilfe aller Behörden des Bundes und der Länder nach Artikel 35 Absatz 1 des Grundgesetzes (GG) ergänzt. § 16 des Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetzes (ZSKG) konkretisiert Artikel 35 Absatz 1 GG. Danach können Einrichtungen und Vorhaltungen des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), insbesondere im Bereich Lageerfassung und -bewertung sowie Nachweis und Vermittlung von Engpassressourcen, im Rahmen der Amtshilfe zur Unterstützung eines Landes verwendet werden. Zur Hilfe bei einer Naturkatastrophe oder bei einem besonders schweren Unglücksfall können die Länder gemäß Artikel 35 Absatz 2 GG Polizeikräfte anderer Länder, Kräfte und Einrichtungen anderer Verwaltungen, wie z. B. das Technische Hilfswerk (THW), die Bundespolizei und der Streitkräfte anfordern. Gefährdet die Naturkatastrophe oder der Unglücksfall das Gebiet mehr als eines Landes, so kann die Bundesregierung, soweit es zur wirksamen Bekämpfung erforderlich ist, den Landesregierungen gemäß Artikel 35 Absatz 3 GG die Weisung erteilen, Polizeikräfte anderen Ländern zur Verfügung zu stellen, sowie Einheiten der Bundespolizei und der Streitkräfte zur Unterstützung der Polizeikräfte einsetzen.

Dieses integrierte Hilfeleistungssystem hat sich im Einsatz bewährt. Gleichwohl sieht sich die Gesellschaft einer Reihe möglicher Gefahrenereignisse gegenüber, deren Intensität und Komplexität auch den deutschen Bevölkerungsschutz vor große Herausforderungen stellen würde. Dabei ist einzuräumen, dass Risiken verbleiben, vor denen ein vollumfänglicher Schutz nicht möglich ist.

Gemäß § 18 Absatz 1 Satz 1 ZSKG erstellt der Bund im Zusammenwirken mit den Ländern eine bundesweite Risikoanalyse für den Zivilschutz. Risikoanalysen im Bevölkerungsschutz auf Bundesebene dienen der vorsorglichen und strukturierten Beschäftigung mit möglichen bundesrelevanten Gefahren und den bei ihrem Eintritt zu erwartenden Auswirkungen auf die Bevölkerung, ihre Lebensgrundlagen und die öffentliche Sicherheit und Ordnung in Deutschland.<sup>3</sup> Ihre Ergebnisse sollen als Informations- und Entscheidungsgrundlage dienen und somit eine verbesserte, risiko- und bedarfsorientierte Vorsorge- und Abwehrplanung im Zivil- und Katastrophenschutz ermöglichen.<sup>4</sup>

Ausgehend vom Risiko- und Krisenmanagementkreislauf folgt auf die Analyse von Risiken eine Risikobewertung (vgl. Abbildung 1). Die Risikobewertung ist ein Verfahren,

- mit dem festgestellt wird, in welchem Ausmaß das zuvor definierte Schutzziel im Falle eines Ereignisses erreicht wird,
- durch das entschieden werden kann, welches verbleibende Risiko akzeptabel ist, und

<sup>1</sup> Der Bevölkerungsschutz beschreibt als Oberbegriff alle Aufgaben und Maßnahmen der Kommunen und der Länder im Katastrophenschutz sowie des Bundes im Zivilschutz (vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2018): BBK-Glossar: Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes).

<sup>2</sup> Das Integrierte Hilfeleistungssystem drückt als Begriff die Vernetzung der Ressourcen von Bund, Ländern und privaten Hilfsorganisationen zum Gesamtsystem „Bevölkerungsschutz“ aus (vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2018): BBK-Glossar: Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes).

<sup>3</sup> Vgl. Deutscher Bundestag: Plenarprotokoll 17/162, S. 19293.

<sup>4</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2011): Drucksache 17/8250, S. 2.

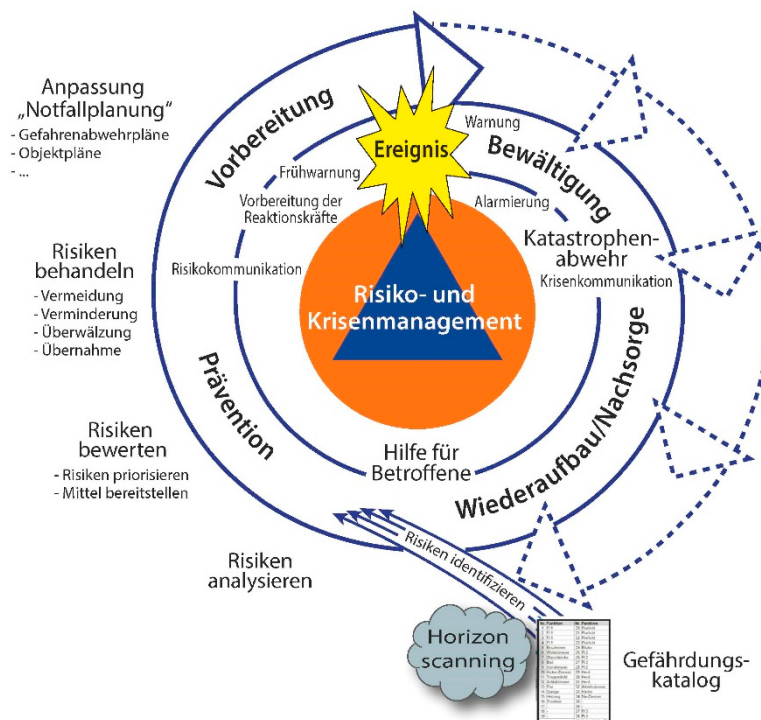
- mit Hilfe dessen entschieden wird, ob Maßnahmen zur Vermeidung und/oder Minimierung der Schadensausmaße ergriffen werden können oder müssen.<sup>5</sup>

Das Verfahren der Risikobewertung besteht aus zwei Prozessen, einem fachlichen Prozess, in dem mit fachlicher Expertise ein SOLL/IST-Abgleich zwischen den Fähigkeitsanforderungen für die Bewältigung eines bestimmten Ereignisses (SOLL-Vorgaben) und den vorhandenen Fähigkeiten (IST-Zustand) durchzuführen ist und einem politischen Prozess, in dem durch die administrativ-politisch verantwortlichen Ebenen letztendlich Entscheidungen darüber getroffen werden müssen, ob und welche Maßnahmen zu den identifizierten Fähigkeitslücken getroffen werden sollen, um die zuvor bestimmten Schutzziele zu erreichen. In diesen

Entscheidungsprozess fließen gesellschaftliche Werte und die jeweilige Risikoakzeptanz mit ein.

Abbildung 1

## Der Kreislauf des Risiko- und Krisenmanagements



Quelle: BBK

Die Risikoanalyse ist somit das Kernelement im Risikomanagement und Ausgangspunkt für den notwendigen Diskurs der Risikobewertung in Politik und Gesellschaft. Sie liefert die Grundlage für die Entscheidung über mögliche präventive Maßnahmen des Bevölkerungsschutzes und im Sinne eines ganzheitlichen Risiko- und Krisenmanagement Ansatzes (vgl. Abbildung 1) die Basis für ein erfolgreiches Krisenmanagement im Ereignisfall. Der ganzheitliche Ansatz zwischen Risiko- und Krisenmanagement unterstützt ein flexibles, effizientes und effektives Handeln im Ereignisfall und ist im gemeinsamen Interesse aller Verantwortlichen zum Schutz der Bevölkerung weiterzuverfolgen.

Der vorliegende Bericht stellt den Sachstand der Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz auf Bundesebene vor. Auf die Berichte der Jahre 2010 bis 2016 wird Bezug genommen.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2018): BBK-Glossar: Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes.

<sup>6</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2010-2015): Drucksachen 17/4178, 17/8250, 17/12051, 18/208, 18/3682, 18/7209 und 18/10850.

In Kapitel 2 wird der Stand der Umsetzung der Risikoanalyse auf Bundesebene dargelegt. Die Risikoanalyse „Dürre“ wurde 2018 fertiggestellt. Kapitel 2.1 fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Analyse zusammen, listet die nach derzeitigem Kenntnisstand von einem mehrjährigen Dürreereignis betroffenen Handlungsfelder auf und stellt Maßnahmenoptionen vor. Eine vollumfängliche Risikobewertung ist damit noch nicht erfüllt.

In Ergänzung u. a. zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)<sup>7</sup> von 2008 und deren Fortschrittsbericht von 2015<sup>8</sup> war das Ziel, im Gesamtkontext der strategischen Überlegungen des Bundes bei der Analyse eines klimaabhängigen Ereignisses wie der „Dürre“ auch auf mögliche zukünftige Entwicklungen („Trends“) einzugehen. Daher wurde erstmalig ein Kapitel „Trends“ (2.1.5) eingefügt.

Die Kapitel 3 und 4 stellen den Stand der Umsetzung der Risikoanalyse auf Länderebene sowie die parallelen Entwicklungen auf internationaler Ebene dar.

Der Bericht schließt in Kapitel 5 mit einem Ausblick auf die weiteren geplanten bzw. erforderlichen Schritte zur Optimierung und fortlaufenden Durchführung von Risikoanalysen im Bevölkerungsschutz sowie zur Etablierung eines ganzheitlichen Risiko- und Krisenmanagementansatzes.

---

<sup>7</sup> Vgl. Die Bundesregierung (Hrsg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin.

<sup>8</sup> Erster Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel; abrufbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimawandel\\_das\\_fortschrittsbericht\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf).

## 2. Stand der Umsetzung auf Ebene des Bundes

Die Risikoanalyse auf Bundesebene berücksichtigt Gefahren/Ereignisse, die eine potentielle Bundesrelevanz haben, d. h. bei deren Bewältigung der Bund in besonderer Weise im Rahmen seiner (grund-)gesetzlichen Verantwortung gefordert sein kann.

Für die strukturierte Durchführung der Risikoanalyse wurden 2011 ein Lenkungsausschuss der Bundesressorts (koordiniert durch das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat) sowie ein Arbeitskreis der mandatierten Geschäftsbereichsbehörden (koordiniert durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) eingerichtet. Der Lenkungsausschuss nimmt unter anderem die Auswahl der als bundesrelevant erachteten Gefahren/Ereignisse vor. Für diese werden in gefahrenspezifischen Arbeitsgruppen des Arbeitskreises Szenarien, in denen ein schädigendes Ereignis mit Blick auf dessen Intensität, räumliche Ausdehnung, Dauer, Ablauf usw. beschrieben wird, erarbeitet und analysiert. Die Szenarien sind an der Annahme eines denkbaren Extremereignisses orientiert (im internationalen Sprachgebrauch als „reasonable worst case“<sup>9</sup> bezeichnet).

Folgende Risikoanalysen wurden seit 2012 durchgeführt:

- Extremes Schmelzhochwasser aus den Mittelgebirgen (2012),
- Pandemie durch Virus Modi-SARS (2012),
- Wintersturm (2013),
- Sturmflut (2014),
- Freisetzung radioaktiver Stoffe aus einem Kernkraftwerk (2015),
- Freisetzung chemischer Stoffe (2016).

Ergänzende Hintergrundinformationen zu Grundlagen und Strukturen der Implementierung der Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz auf Bundesebene sowie zu den jeweiligen Ergebnissen der einzelnen Risikoanalysen finden sich in den Berichten der Jahre 2010 bis 2016.<sup>10</sup>

Mit Bericht von 2017 erfolgte eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus den seit 2012 erfolgreich durchgeführten sechs Risikoanalysen. Auf dieser Basis wurden im Bericht 2017 Erkenntnisse und erste Handlungsempfehlungen, die bisher aus den Risikoanalysen resultierten dargestellt sowie bestehende Erkenntnislücken in Bezug auf das Bevölkerungsschutzsystem aufgezeigt.

Um sich dem übergeordneten Ziel eines resilienten Bevölkerungsschutzsystems in Deutschland zu nähern, konzentrierten sich 2018 die Arbeiten zum Thema Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz daher auf die Betrachtung eines Ereignisses, dessen Risikoanalyse einen Beitrag zur Schließung der identifizierten Erkenntnislücken leisten kann.

Die Ergebnisse des Berichtes von 2017 zeigen, dass u. a. der Themenkomplex der „Trinkwasserversorgung“ durch die bisherigen Szenarien noch nicht ausreichend betrachtet wurde. Um diesen Themenkomplex in den Fokus zu nehmen, fiel die Entscheidung für die Risikoanalyse des Jahres 2018 auf ein „Dürre“-Szenario.

Darüber hinaus ist die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung auch eine der sieben Grundanforderungen der NATO, die die 28 Mitgliedstaaten bereits im Februar 2016 als Mindestanforderung (Baseline Requirements) für eine effektive zivile Verteidigungsplanung (Civil Preparedness) in Form einer sog. Resilienz Richtlinie konsentiert haben.

<sup>9</sup> Die Kombination der Begriffe „reasonable“ (übersetzt: denkbar) und „worst case“ (übersetzt: schlimmster Fall, wird im Rahmen der Risikoanalyse mit dem Begriff „Extremereignis“ gleichgesetzt) bedeutet im Kontext der Risikoanalyse folgendes: Ausgehend von plausiblen und fachlich begründeten Annahmen wird dem Szenario ein Ereignis größtmöglicher Intensität bzw. ungünstigster Ausprägung zugrunde gelegt. „Bundesrelevanz“ bedeutet, dass der Bund bei der Ereignisbewältigung im Rahmen seiner (grund-)gesetzlichen Verantwortung in besonderer Weise gefordert sein kann. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Ereignis die Strukturen des deutschen Bevölkerungsschutzsystems so stark fordert, dass auch der (massive) Einsatz der Vorhaltungen, Kräfte und Fähigkeiten des Bundes (Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Bundeswehr, Bundespolizei, Gemeinsames Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern, usw.) im Rahmen der Katastrophenhilfe notwendig würde, oder wenn es aufgrund einer politischen/gesellschaftlichen Brisanz eine nationale Krise hervorruft oder hervorrufen könnte. Darüber hinaus sind Fälle einer originären Zuständigkeit des Bundes denkbar.

<sup>10</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2010-2015): Drucksachen 17/4178, 17/8250, 17/12051, 18/208, 18/3682, 18/7209 und 18/10850.

Neben der Anforderung Nr. 4 „Resiliente Nahrungs- und Wasserressourcen“ werden folgende Mindestanforderungen festgeschrieben:

- Aufrechterhaltung der Staats- und Regierungsfunktionen
- Standhafte Energieversorgung
- Fähigkeit zum effektiven Umgang mit ungesteuerten Bevölkerungsbewegungen
- Fähigkeit zum Umgang mit einem Massenanfall von Verletzten
- Standhafte zivile Kommunikationssysteme
- Standhafte zivile Verkehrssysteme

Die NATO sieht die „Resilienz“, also die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit einer Gesellschaft, als ein Kernelement der kollektiven Verteidigung. Daher finden die „Baseline Requirements“ im Rahmen der Umsetzung der Konzeption Zivile Verteidigung (KZV)<sup>11</sup> von August 2016, in den vier Säulen der Zivilen Verteidigung besondere Berücksichtigung. Die Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz und die in diesem Zusammenhang erzielten Ergebnisse stehen insgesamt in engem Zusammenhang mit der in Bearbeitung befindlichen Umsetzung der KZV. Die KZV gibt den Rahmen für die notwendige Anpassung an ein sich wandelndes Sicherheitsumfeld und die damit einhergehenden Anforderungen an die zivile Verteidigung<sup>12</sup> und die zivile Notfallvorsorge<sup>13</sup> des Bundes vor.

Ausgangspunkt für diese ressortübergreifende Neukonzeption der zivilen Verteidigung und der zivilen Notfallvorsorge des Bundes ist eine veränderte Bedrohungslage wie sie im „Weißbuch 2016 zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr“<sup>14</sup> beschrieben wird.

Die in der KZV beschriebene Bedrohungseinschätzung<sup>15</sup> stellt eine Erweiterung des bundesrelevanten Gefahrenspektrums dar, das seinerzeit ressortübergreifend als Grundlage für die Risikoanalysen im Bevölkerungsschutz auf Bundesebene benannt wurde.

Gemeinsame Zielvorgabe von NATO und KZV ist u. a. einen Überblick über die wichtigsten Infrastruktursektoren und Ressourcen im Bereich Nahrung und Wasser zur Unterstützung einer nationalen Risikobewertung zu bekommen. Für die Generierung dieses Überblicks ist eine entsprechende Risikoanalyse unerlässlich.

Folglich sind die analysierten Szenarien und die erzielten Ergebnisse im Rahmen der Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz auf Bundesebene auch für den Umsetzungsprozess zur KZV von Bedeutung.

Im Zuge der Betrachtungen der bisherigen Risikoanalysen wurde ebenfalls festgestellt, dass neben der Trinkwasserversorgung bisher die Betrachtung großflächiger physischer Zerstörung von Infrastruktur und Bebauung fehlt. Entsprechend wurde im Lenkungsausschuss für das Jahr 2019 die Bearbeitung einer Risikoanalyse zur Gefahr „Erdbeben“ beschlossen. Parallel zur Durchführung der Risikoanalyse „Dürre“ wurde 2018 bereits mit ersten Vorarbeiten zum Szenario begonnen. In diesem Zusammenhang fanden zwei Treffen mit der fachlich federführenden Behörde, dem Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und Experten aus dem Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) sowie dem Geologischen Dienst NRW sowie weiteren Experten aus Wissenschaft und Forschung im Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) statt. Das Szenario wurde bzgl. Verortung und Intensität des Bebens bis Ende 2018 in einer Grobkonzeption fertig gestellt, sodass 2019 die Arbeiten im Kreis der Arbeitsgruppe der mandatierten Geschäftsbereichsbehörden fortgeführt werden können.

<sup>11</sup> Vgl. Bundesministerium des Innern (Hrsg.) (2016): Konzeption Zivile Verteidigung (KZV).

<sup>12</sup> Zivile Verteidigung: Nichtmilitärische Maßnahmen im Rahmen der Gesamtverteidigung (bestehend aus militärischer und ziviler Verteidigung), die sich auf Artikel 73 Abs. 1 Nr. 1 GG beziehen. Die Zivile Verteidigung unterteilt sich in folgende Aufgabenbereiche: Aufrechterhaltung der Staats- und Regierungsgewalt, Versorgung der Bevölkerung und der Streitkräfte mit Gütern und Leistungen, Unterstützung der Streitkräfte und Zivilschutz.

<sup>13</sup> Notfallvorsorge: Summe aller Maßnahmen, die auf die Zeit nach Eintritt eines Notfalls abzielen, die aber vorher ergriffen werden (vgl. BBK, Band 8 Praxis im Bevölkerungsschutz, BBK-Glossar: Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes, 2018).

<sup>14</sup> Vgl. Bundesministerium der Verteidigung (Hrsg.) (2016): Weißbuch 2016 zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr.

<sup>15</sup> Vgl. auch Bundesministerium der Verteidigung (Hrsg.) (2016): Weißbuch 2016 zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr.

## 2.1 Risikoanalyse „Dürre“

Die Risikoanalyse „Dürre“ erfolgte unter fachlicher Federführung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und unter Mitwirkung unterschiedlicher Bundesbehörden<sup>16</sup>, sowie mit fachlicher Unterstützung des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW), der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. (ATT) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).

Die folgenden Ausführungen fassen die Ergebnisse der Risikoanalyse „Dürre“ zusammen.

### Vorbemerkungen

Die mittlere Niederschlagsmenge in Deutschland liegt bei 800 mm pro Jahr. Die Erfahrung zeigt, dass die tatsächliche Niederschlagsmenge von Jahr zu Jahr schwankt. Die Natur und Infrastruktur sind bis zu einem bestimmten Maß an mehr oder weniger Niederschlag als im Mittel angepasst. Liegt ein Ereignis jedoch außerhalb dieses Anpassungsbereiches kommt es zu Problemen, wie zum Beispiel einer Dürre bei zu wenig Niederschlag. Bereits viele Monate in den Jahren 2015 bis Mitte 2017 wiesen neben übernormal hohen Temperaturen auch deutlich unternormale Niederschläge auf, so dass in diesem Zeitraum ausgeprägte Niedrigwasserphasen in den Flüssen auftraten. Erst in der zweiten Jahreshälfte 2017 bis hin zum Januar 2018 kam es zunächst zu einer Entspannung der Niedrigwassersituation. Nach diesem zu feuchten Januar zeichnen sich die darauffolgenden Monate wiederum durch deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen aus. Weiterhin lagen die Monatsmitteltemperaturen von April 2018 bis einschließlich November 2018<sup>17</sup> über den vieljährigen Mittelwerten. Analysen des DWD zeigen, dass der Sommer 2018 (Juni, Juli, August) im Deutschlandmittel der zweitwärmste (nach 2003) und zweitrockenste (nach 1911) seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen 1881 war. Bedingt durch die überdurchschnittliche Temperatur im Zusammenhang mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen kam es im Sommer 2018 zu Ernteaussfällen, Waldbränden, niedrigen Pegelständen der Flüsse und Talsperren sowie zu lokalen Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung.

Die Vorjahre und das Jahr 2018 zeigen, insbesondere nach einem überdurchschnittlich niederschlagsreichem Januar 2018, dass eine Dürre als schleichendes Ereignis eintritt und als solches erst erkannt wird, wenn es bereits eingetreten ist. Durch den allmählichen Beginn und die große betroffene Fläche zählen Dürren zu den schadensträchtigsten Naturkatastrophen<sup>18</sup>, die aber im Vergleich zu kleinräumigeren und kürzer andauernden Ereignissen wie Hochwasser oder Stürmen nur wenig mediale Aufmerksamkeit erzeugen.

### 2.1.1 Szenario

Die aktuelle Dürre des Jahres 2018 hat bereits bedeutende Beeinträchtigungen und Schäden in verschiedenen Bereichen gezeigt. Aus der Betrachtung langer historischer Zeitreihen lässt sich aber ableiten, dass derartige Trockenjahre durchaus auch mehrere Jahre hintereinander vorkommen können. Damit erhöhen sich die Schadenspotenziale in den verschiedenen Bereichen, die derzeit unter heutigen, aktuellen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen nur in Form eines entsprechenden Szenarios im Rahmen der vorgelegten Risikoanalyse aufgezeigt werden können.

Das Szenario dient damit als Leitlinie, um ein in der Praxis durchaus realistisches Ereignis theoretisch zu analysieren und notwendige Reaktionen durchspielen zu können. Es lehnt sich an reale Gegebenheiten an, verschärft diese allerdings im Vergleich zu bereits eingetretenen Ereignissen, unter realistischen Annahmen.

Diesem Grundsatz folgend wurde eine der extremsten bisher erfahrenen Dürren in Deutschland aus den Jahren 1971 bis 1976, für die meteorologische und hydrologische Beobachtungsdaten vorliegen, als Grundlage für ein denkbares Extremereignis („reasonable worst case“) herangezogen und für die vorliegende Risikoanalyse wie folgt angepasst:

<sup>16</sup> Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bundesamt für Naturschutz, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Umweltbundesamt, Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Planungsamt der Bundeswehr, Kommando Streitkräftebasis der Bundeswehr, Julius-Kühn-Institut, Robert-Koch-Institut.

<sup>17</sup> Zum Zeitpunkt der Finalisierung des Bundestagsberichtes lagen noch keine Auswertungen für Dezember 2018 vor.

<sup>18</sup> Vgl. WMO & GWP (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices. Abgerufen am 05.12.2018 von [http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP\\_Handbook\\_of\\_Drought\\_Indicators\\_and\\_Indices\\_2016.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf).

Die Niederschlagsmenge für die sechs Szenariojahre wurde im Verhältnis zu den Referenzjahren (1971 bis 1976) um 25 % reduziert. Zusätzlich wurde die Mitteltemperatur um 1 °C erhöht, um den Einfluss des Klimawandels und der damit verbundenen Temperaturerhöhung Rechnung zu tragen. Wetterlagen, die zu einer Dürre führen, können auch zu Hitze- und Kältewellen führen. Dazu wurde im sechsten Jahr des Szenarios, basierend auf den Daten von 1976, die Tagesmitteltemperatur im Februar um 5 °C reduziert und im August um 6 °C erhöht.

Die Plausibilität des Szenarios zeigt sich in der guten Übereinstimmung der meteorologischen Beobachtungen vom ersten Szenariojahr mit denen im Jahr 2018. Allerdings dauert das Dürreereignis im Szenario über einen Zeitraum von sechs Jahren an. Im Gegensatz dazu kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht verlässlich abgeschätzt werden, wann die aktuelle Dürre zu Ende sein wird. Allerdings ist eine Dauer von sechs Jahren nicht unrealistisch, da, wie oben erwähnt, die Trockenperiode in Deutschland bereits seit mindestens 2015 andauert.<sup>19</sup>

### 2.1.2 Ergebnisse im Überblick

Das generisch ermittelte anzunehmende Schadensausmaß für die Risikoanalyse ist in den nachstehenden Tabellen zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 1

#### Überblick Schadensausmaß (vgl. Kapitel III im Anhang „Risikoanalyse Dürre“)

| Schutzgut            | Schadensparameter |                                                         | Schadensausmaß |   |   |   |   |
|----------------------|-------------------|---------------------------------------------------------|----------------|---|---|---|---|
|                      |                   |                                                         | A              | B | C | D | E |
| MENSCH               | M <sub>1</sub>    | Tote                                                    |                |   |   |   |   |
|                      | M <sub>2</sub>    | Verletzte, Erkrankte                                    |                |   |   |   |   |
|                      | M <sub>3</sub>    | Hilfebedürftige                                         |                |   |   |   |   |
|                      | M <sub>4</sub>    | Vermisste                                               |                |   |   |   |   |
| UMWELT               | U <sub>1</sub>    | Schädigung geschützter Gebiete                          |                |   |   |   |   |
|                      | U <sub>2</sub>    | Schädigung von Oberflächengewässern/Grundwasser         |                |   |   |   |   |
|                      | U <sub>3</sub>    | Schädigung von Waldflächen                              |                |   |   |   |   |
|                      | U <sub>4</sub>    | Schädigung landwirtschaftlicher Nutzfläche              |                |   |   |   |   |
|                      | U <sub>5</sub>    | Schädigung von Nutztieren                               |                |   |   |   |   |
| VOLKS-<br>WIRTSCHAFT | V <sub>1</sub>    | Auswirkungen auf die öffentliche Hand                   |                |   |   |   |   |
|                      | V <sub>2</sub>    | Auswirkungen auf die private Wirtschaft                 |                |   |   |   |   |
|                      | V <sub>3</sub>    | Auswirkungen auf die privaten Haushalte                 |                |   |   |   |   |
| IMMATERIELL          | I <sub>1</sub>    | Auswirkungen auf die öffentliche Sicherheit und Ordnung |                |   |   |   |   |
|                      | I <sub>2</sub>    | Politische Auswirkungen                                 |                |   |   |   |   |
|                      | I <sub>3</sub>    | Psychosoziale Auswirkungen                              |                |   |   |   |   |
|                      | I <sub>4</sub>    | Schädigung von Kulturgut                                |                |   |   |   |   |

Quelle: BBK

<sup>19</sup> Bereits 2014 traten mehrere Monate mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen auf.

Tabelle 2

**Zugeordnete Schadensausmaß-Klassen**

| Schutzgut                    | Schadensausmaß-Klasse |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MENSCH</b>                | M <sub>1</sub>        | D: > 1.000 - 10.000 Tote                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                              | M <sub>2</sub>        | k.A.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                              | M <sub>3</sub>        | B: ≤ 100.000 Hilfebedürftige für ≤ 1 Woche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                              | M <sub>4</sub>        | A: ≤ 10 Vermisste                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>UMWELT</b>                | U <sub>1</sub>        | D: > 0,5% - 5% der Gesamtfläche der geschützten Gebiete geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                              | U <sub>2</sub>        | D: > 1% - 10% der Gesamtfläche der Oberflächengewässer/des Grundwassers geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                              | U <sub>3</sub>        | D: > 1% - 10% der gesamten Waldfläche geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                              | U <sub>4</sub>        | D: > 1% - 10% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                              | U <sub>5</sub>        | A: ≤ 1.500 Großvieheinheiten geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>VOLKS-<br/>WIRTSCHAFT</b> | V <sub>1</sub>        | B: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die öffentliche Hand können zum größten Teil durch das betroffene Land/die betroffenen Länder getragen werden. Umschichtungen im Haushalt können den Mittelbedarf abdecken. Einige Maßnahmen des Bundes werden beschleunigt bzw. vorgezogen.                                                                                                                                                                                        |
|                              | V <sub>2</sub>        | C: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die Privatwirtschaft haben einen überregionalen Umfang und ein Teil der betroffenen Unternehmen kann diese nicht aus eigener Kraft tragen. Kurz- bis mittelfristige Umsatzausfälle sind für die betroffenen Branchen bzw. Firmen zu erwarten. Einige Firmen gehen in die Insolvenz, weitere Firmen sind von Insolvenz bedroht; In einigen Branchen sind kurzfristige und überregionale Auswirkungen (Zulieferfirmen) festzustellen. |
|                              | V <sub>3</sub>        | B: > 4.000 - 40.000 Haushalte betroffen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>IMMATERIELL</b>           | I <sub>1</sub>        | B: Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist auf regionaler Ebene nur mit leicht erhöhtem Aufwand möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                              | I <sub>2</sub>        | D: Große politische Auswirkungen bis auf Bundesebene                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                              | I <sub>3</sub>        | A: ≤ 100.000 Personen betroffen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                              | I <sub>4</sub>        | A: ≤ 0,05% der als Kulturgut gemäß Haager Konvention gekennzeichneten Bauwerke beschädigt/zerstört                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Quelle: BBK

**2.1.3 Erkenntnisse**

Wesentliche Erkenntnisse aus der Risikoanalyse sind nachstehend zusammenfassend aufgeführt:

**Trinkwasserversorgung**

- Lange Dürreperioden (insbesondere in Verbindung mit Hitzewellen, wie im Szenario angenommen) können zu Problemen bei der Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser führen. Die Versorgungssicherheit hängt dabei von der Art der Wassergewinnung (z. B. Grundwasser, Talsperren, Uferfiltrat), der technischen Anlagenstruktur und des Wasserbedarfs vor Ort ab.
- Eine erhöhte Betroffenheit ist in solchen Gebieten zu erwarten, in denen die Trinkwasserversorgung bereits heute angespannt ist oder in Konkurrenz zu anderen Nutzungen (z. B. der Landwirtschaft) steht. Hierzu zählen unter anderem die östliche Lüneburger Heide und zentrale Bereiche Ostdeutschlands. Auch Regionen, in denen sich die Wasserversorgung primär auf Quellen mit wenig ergiebigen Kluftgrundwasserleitern<sup>20</sup> stützt, wie z. B. im süddeutschen Moränenland, im Südschwarzwald, im Rheinischen Schiefergebirge und im ostbayerischen Grundgebirge, und keine redundante Wassergewinnung vorhanden ist, ist eine erhöhte Betroffenheit möglich.<sup>21</sup>
- Aufgrund der sich im Verlauf des Ereignisses abzeichnenden angespannten Versorgungssituation kommt es örtlich zu Beschränkungen der Wasserverwendung (u. a. für das „Wassersprengen“ von Gärten, Rasenflächen, Spiel- und Sportplätzen, die Autowäsche oder die Befüllung von privaten Swimmingpools) durch die Wasserversorger (WVU) zur Sicherstellung der allgemeinen Wasserversorgung.

<sup>20</sup> Ein Kluftgrundwasserleiter ist ein Grundwasserleiter aus Festgestein, z. B. klüftiger Sandstein.

<sup>21</sup> Vgl. LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder.

- Lokal begrenzt ist im Rahmen des Szenarios damit zu rechnen, dass die leitungsgebundene Trinkwasserversorgung zeitweise nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Dort wo dies der Fall ist wird von der Kommune in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden und den Wasserversorgern eine Ersatzwasserversorgung der Bevölkerung, u. a. über Wassertransporte (Tankwagen) oder geeignete leitungsunabhängige Brunnen (insbesondere Trinkwassernotbrunnen nach dem Wassersicherstellungsgesetz – WasSiG) eingerichtet.<sup>22</sup> Dort, wo die Trinkwasserversorgung zeitweise auszufallen droht, wird soweit möglich, ggfs. mit Unterstützung des Katastrophenschutzes über mobile Notleitungen und Befüllung von Hochbehältern die Trinkwasserversorgung sichergestellt.
- Grundsätzlich stellt in diesem Kontext die Ersatzwasserversorgung sensibler Einrichtungen wie Krankenhäuser oder Pflegeheime (eine Betroffenheit vorausgesetzt) eine besondere Herausforderung dar.

### Energieversorgung

- Es ist davon auszugehen, dass Stromausfälle im Szenariozeitraum auftreten können.<sup>23</sup>
- Infolge von Niedrigwasserständen wird es notwendig, die Leistung von mit Flusswasser gekühlten thermischen Kraftwerken zu reduzieren.
- Im Zeitraum der Hitzewelle im letzten Szenariojahr ist mit einer weiteren Anspannung der Stromversorgungssituation zu rechnen, da neben der Drosselung in der Stromproduktion (s. o.) zugleich der Stromverbrauch gegenüber dem normalerweise in Sommermonaten zu verzeichnende Verbrauch steigt (u. a. durch stärkere Nutzung von Klimaanlage, Verlagerung von Massengütertransport vom Schifftransport auf die Schiene)

### Gesundheitssystem

- Es wird davon ausgegangen, dass die medizinische Versorgung während der Dürre- und insbesondere während der Hitzewelle gewährleistet bleibt. Die Hitzewelle stellt jedoch Arztpraxen, Versorgungszentren (MVZ) und Krankenhäuser aufgrund des erhöhten Patientenaufkommens sowie der Eigenbetroffenheit (körperliche Belastung des Personals durch die Hitze bei selten vorhandenen Klimaanlage) vor große Herausforderungen.

### Umwelt

- Es ist von einem reduzierten Pflanzenwachstum, dadurch einem Mangel an Nahrung aber auch an Wasser für Wildtiere, sowie erhöhtem Schädlings-/Krankheitsbefall bezogen auf Flora und Fauna auszugehen.
- Das großflächige Niederschlagsdefizit führt zu einem hohen Waldbrandrisiko. Die Waldbrandgefahr wird im Rahmen des Szenarios für ganz Deutschland deutlich steigen und über lange Zeiten die Gefährdungstufen 3-5 erreichen. Beleg dafür sind die gegen Ende Juli 2018 nach langanhaltender Trockenperiode für ca. 85 % der Waldflächen Deutschlands ausgesprochenen Gefährdungstufen.<sup>24</sup>

### Verkehr und Wirtschaft

- Im Verlauf des Szenarios kommt es zu Einschränkungen bis hin zur streckenweisen vorübergehenden Einstellung der Binnenschifffahrt. Entsprechend wird u. a. mit folgenden Auswirkungen gerechnet:
  - Geringe Ausfälle mit Verspätungen in der Frachtgutzustellung bis hin zu zeitweisen Totalausfällen beim Transport von Gütern auf den Binnenschifffahrtsstraßen treten ein.

<sup>22</sup> Die Qualitätsanforderungen von Notwasser im Verteidigungsfall sind gemäß 1. Wassersicherstellungsverordnung geringer, als die der Trinkwasserverordnung (friedensmäßiger Nutzen). Daher gilt es bei dem Einsatz der Notbrunnen im Rahmen der Ersatzwasserversorgung zu prüfen, ob die Notbrunnen die strengeren Vorgaben der Trinkwasserverordnung, die auch im Krisen- oder Katastrophenfall gelten, einhalten und das Wasser an die Bevölkerung abgegeben werden darf. Unabdingbar ist eine Desinfektion oder Aufbereitung des Notwassers vor Abgabe des Wassers an die Bevölkerung.

<sup>23</sup> Die Folgewirkungen von regionalen, teilweise über mehrere Tage andauernden Stromausfällen, wie sie auch im Rahmen des hier angenommenen Dürreszenarios möglich sind, wurden bereits in den Risikoanalysen „Wintersturm“ (2013) und „Sturmflut“ (2014) beschrieben.

<sup>24</sup> Waldbrand-Gefahrenindex WBI, abrufbar unter: <http://www.wettergefahren.de/warnungen/indizes/waldbrand.html> [letzter Abruf 27.11.2018].

- Damit sind große wirtschaftliche Schäden in verschiedenen Branchen (z. B. Industrie und Logistik) in ganz Deutschland verbunden.
- Es kommt zu Produktverteuerungen (teilweise sehr schnell, bspw. bei Mineralölerzeugnissen wie Heizöl).
- Dürrebedingte Einschränkungen und Ausfälle der Binnenschifffahrt können nicht in Gänze auf die Schiene verlagert werden, da bereits heute Kapazitätsgrenzen auf bestimmten Bahnstrecken erreicht sind.
- Vom Dürreereignis wird gesamtwirtschaftlich betrachtet insbesondere die Agrarwirtschaft betroffen sein und hinsichtlich der vorgenannten Einschränkungen insbesondere die Stahl- und Chemieindustrie. Hier ist mit erheblichen finanziellen Schäden zu rechnen.

### **Ernährung**

- Die Analyse hat gezeigt, dass es gegenwärtig einen Mangel an Forschungsarbeiten und empirischen Daten gibt, anhand derer die Auswirkungen auf Ernteerträge und -qualitäten sowie auf die Tierhaltung bei Dürre/Hitze belastbar abgeleitet werden können.
- Im Zeitraum des gesamten Ereignisses ist mit Ernteertragsdepressionen zu rechnen. Für das letzte Szenariojahr lassen sich unter den angenommenen Szenariobedingungen Ertragsdepressionen von bis zu 60 % einer Durchschnittsernte abschätzen.

#### **2.1.4 Betroffene Handlungsfelder**

Folgende Handlungsfelder sind nach den im Rahmen der Risikoanalyse gewonnen Erkenntnissen von einem mehrjährigen extremen Dürreereignis betroffen, wobei diese Auflistung aufgrund des gegenwärtigen Forschungsstands nicht als abschließend interpretiert werden kann:

- Trinkwasserversorgung,
- Talsperren- und Speichermanagement,
- Öffentliche Abwasserbeseitigung,
- Energieversorgung,
- Gesundheitssystem,
- Umwelt,
- Verkehr und Wirtschaft,
- Ernährungssektor,
- Gefahrenabwehr,
- Krisenkommunikation,
- Forschung.

Es erscheint notwendig, auch vor dem Hintergrund der zu erwartenden Entwicklungen im Zusammenhang mit dem fortschreitenden Klimawandel (vgl. Kap. 2.1.6), die gewonnenen Erkenntnisse strukturiert aufzuarbeiten. Dies gilt umso mehr, als zwischen den Handlungsfeldern starke Abhängigkeiten bestehen. Auf welcher Ebene diese Aufarbeitung erfolgen sollte, muss anhand der jeweiligen Betroffenheit und des zu erwartenden Schadens (vgl. Tabelle 2) entschieden werden. Grenz- und sektorenüberschreitende Aspekte sind zumindest bei den Handlungsfeldern zu beachten, die von Fragen der Wasserverfügbarkeit und Wassermenge berührt sind, da sich die Funktionsweise von Wasserkörpern nicht an Landesgrenzen orientiert. Neben den Handlungsfeldern der Wasserwirtschaft gilt dies z. B. auch für die Bereiche Verkehr oder Energieversorgung. Nachfolgend werden auf Basis der Risikoanalyse, die von einem mehrjährigen Dürreereignis betroffenen Handlungsfelder sowie der jeweilige ermittelte Handlungsbedarf benannt. In Ergänzung werden mögliche Maßnahmenoptionen zur Schließung der Handlungslücken vorgestellt, die von den an der Risikoanalyse beteiligten Fachbehörden des Bundes

(vgl. Kap. 2.1) sowie des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW), der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. (ATT) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) aus fachlicher Sicht empfohlen werden. Sie erheben weder einen Anspruch auf Vollständigkeit und sind unabhängig von eventuell bereits geplanten oder erfolgten Umsetzungen von möglichen Maßnahmen, die im Zuständigkeitsbereich der Länder und Kommunen liegen, zu sehen. Die aufgeführten Maßnahmenoptionen sind das Ergebnis einer bereits sehr differenzierten Betrachtung der Risikoanalyseergebnisse, gleichwohl ist dies nicht mit der zwingend erforderlichen Risikobewertung gleichzusetzen.

### Trinkwasserversorgung

*Handlungsbedarf:* Erhöhung der Versorgungssicherheit, Redundanz und Resilienz.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Durchführung von Risikoanalysen durch das jeweilige Wasserversorgungsunternehmen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden, um Versorgungsrisiken rechtzeitig zu erkennen und zu bewerten (siehe hierzu BBK-Empfehlung „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Teil I: Risikoanalyse“, 2016 und DIN EN 15975-2 „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil II: Risikomanagement“, 2013),
- Vorausschauende Wasserbedarfsprognosen unter Berücksichtigung der demografischen Entwicklung,
- Erarbeitung von und Anpassung bestehender Notfallvorsorgekonzepte(n) in Zusammenarbeit zwischen Wasserversorgungsunternehmen und zuständigen Behörden (Katastrophenschutz, Gesundheit, Umwelt) unter besonderer Berücksichtigung sensibler Einrichtungen und von extremen Ereignissen, z. B. Dürreereignisse, siehe BBK-Empfehlung „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung, (in Vorbereitung) und DIN EN 15975-1 „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil I: Krisenmanagement“,
- Optimierung von Wassergewinnungs- und Wasseraufbereitungsverfahren und Ausrichtung an zukünftige Einflussfaktoren,
- Stabilisierung, Optimierung und Ergänzung der Wassergewinnungsmöglichkeiten (z. B. durch Ausbau von Infiltrationsanlagen zur Grundwasseranreicherung),
- Wasserverluste auf niedrigem Niveau halten, bzw. dort wo erforderlich verringern,
- Ausbau von örtlichen und regionalen Leitungsverbünden,
- Konsequenter Schutz der Trinkwasserressourcen, auch durch die konsequente und zügige Ausweisung von Wasserschutzgebieten und Vorranggebieten für die Trinkwassergewinnung vor allem im Hinblick auf konkurrierende Nutzungen,
- Konsequente Verankerung der öffentlichen Wasserversorgung in der Landes-, Regional- und Flächennutzungsplanung,
- Beseitigung von Investitionshemmnissen durch klare Investitionsbedingungen und Finanzierungsgrundlagen,
- Überwachung der vorhandenen und Prognose der künftigen Wasserdarangebote unter Berücksichtigung des Klimawandels<sup>25</sup>,
- Förderung von Querschnittsforschungen zur Thematik Klimaanpassung und Klimaadaptation mit der Bereitstellung aufbereiteter Grundlagendaten.

<sup>25</sup> Dies fällt nicht in den Zuständigkeitsbereich der Wasserversorgungsunternehmen (WVU). Die Vorausschau bezieht sich auf die technische Anlagennutzdauer, die der Genehmigung hinterlegten wasserwirtschaftlichen Nutzungsdauer und der damit einhergehenden gesicherten Rechtsstellung des Vorhabens für das WVU.

## Talsperren- und Speichermanagement

*Handlungsbedarf:* Anpassung an Veränderungen der Nutzungsansprüche und Anforderungen an Talsperren auch im Hinblick auf mögliche Folgen des Klimawandels.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Überprüfung und ggf. Anpassung bzw. Dynamisierung der Stauziele, sodass bei multifunktionaler Nutzung von Talsperren beispielsweise saisonal unterschiedliche Stauziele an Bedeutung gewinnen können,
- Mit der angepassten Mengenbewirtschaftung steht auch eine darauf abgestimmte Anpassung der Gütebewirtschaftung in Zusammenhang. Für die Wassergüte in Talsperren ist von großer Bedeutung, an welchen Stellen möglichst sauberes Wasser für die Trinkwassernutzung auf der einen Seite und das weniger saubere Wasser für die Hochwasserentlastung und Abgabe an den Unterlauf auf der anderen Seite entnommen wird,
- Potentiellen Nutzungskonflikten z. B. zwischen Hochwasserschutz, Trinkwasser- und Brauchwasserversorgung, Niedrigwassersteuerung, Wasserkraftnutzung, Bereitstellung von Bewässerungswasser, Tourismus und Schifffahrt ist frühzeitig zu begegnen,
- Eine Verbundbewirtschaftung mehrerer Talsperren kann für die Sicherung der Wasserversorgung während langer Trockenperioden notwendig werden,
- Da Talsperren im Stande sind, mögliche negative Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt abzupuffern, ist zu erwarten, dass auf Talsperren höhere Anforderungen bzw. veränderte Nutzungsansprüche zukommen. Es muss sichergestellt werden, dass die Anlagen auch unter Klimawandelbedingungen sicher und effizient betrieben werden können.<sup>26</sup>

## Öffentliche Abwasserbeseitigung

*Handlungsbedarf:* Kompensation der negativen Folgen von zunehmenden und langandauernden Trockenperioden durch bauliche Optimierung und ein optimierter Betrieb vorhandener Kanalnetze erforderlich werden.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Durchführung von bedarfsgerechten Spülungen während der Trockenzeiten (u. U. Hochdruckspülungen und Einsatz von Chemikalien oder Maschinen),
- Entwicklung von hydraulisch effektiveren Rohrprofilen,
- Realisierung einer dezentralen Druckentwässerung in einzelnen Netzabschnitten.<sup>27</sup>

## Gefahrenabwehr

*Handlungsbedarf:* Schnelle und effiziente Reaktion der Gefahrenabwehrbehörden auf auftretende Schäden und entstehende Engpässe.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Zur Ersatz- und Notwasserversorgung:<sup>28</sup>
  - Beteiligung an der Erstellung von Notfallvorsorgekonzepten in Zusammenarbeit mit den Wasserversorgungsunternehmen und weiteren zuständigen Behörden sowie deren Umsetzung, insbesondere unter

<sup>26</sup> Vgl. LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder.

<sup>27</sup> Vgl. LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder.

<sup>28</sup> Für die Unterscheidung zwischen Ersatzversorgung und Notversorgung mit Trinkwasser vgl. Fußnote 22.

- Berücksichtigung der Organisation der Ersatz- und Notversorgung im Ereignisfall (u. a. personelle und technische Planung),
- Erfassung vorhandener Ressourcen und Kapazitäten der Ersatz- und Notversorgung (insbesondere mobile Ersatzversorgungskapazitäten wie Tankwagen oder Aufbereitungsanlagen, ausreichend groß dimensionierte Notstromaggregate oder vorhandene leitungsunabhängige Brunnen) und – wenn notwendig – Ergänzung der vorhandenen Ressourcen (IST-SOLL-Abgleich),
  - Ist eine Aufrechterhaltung der leitungsgebundenen Wasserversorgung nicht mengenmäßig sondern aus Beschaffenheitsgründen in Frage gestellt, da die Einhaltung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) mit den verfügbaren Aufbereitungs- und Desinfektionskapazitäten nicht mehr gewährleistet werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen, ob eine leitungsgebundene Versorgung mit Wasser, welches nicht den Anforderungen der TrinkwV genügt, sinnvoll ist. Das kann der Fall sein, wenn die rechtzeitige und umfassende Information der Bevölkerung, z. B. über Abkochgebote und die Einschränkung des Verwendungszwecks, und die Versorgung sensibler Einrichtungen, z. B. Krankenhäuser, mit Trinkwasser gemäß TrinkwV sichergestellt ist, und einer funktionsfähigen Abwasserbeseitigung unter dem Aspekt der Gesundheitsvorsorge (Schutz vor der Ausbreitung von Krankheitserregern) Vorrang eingeräumt wird; die Abwasserbeseitigung ist von einer funktionsfähigen, leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung abhängig.
- Bei erhöhter Gefahr von Vegetationsbränden in Folge von langanhaltender Trockenheit wird folgendes empfohlen:
    - Sicherstellung einer permanenten Überwachung des Waldes bei akuter Brandgefahr durch Überwachungsflüge und -kameras,
    - Verbreitung von Verhaltenshinweisen an die Bevölkerung zur Vermeidung des Ausbruchs von Bränden,
    - Ausbau und Pflege möglichst geradliniger Waldwege zur Befahrbarkeit durch Löschfahrzeuge und Aufhaltung von Bodenbränden,
    - Einrichtung von Löschwasserentnahmestellen in den besonders gefährdeten Waldabschnitten,
    - Einrichtung von speziellen Löschzügen für Waldbrände in den gefährdeten Landkreisen, welche eine für die Waldbrandbekämpfung angemessene Ausstattung beinhalten (z. B. geeignete Schutzkleidung, Rucksackspritzen),
    - Beschaffung von Löschflugzeugen<sup>29</sup>,
    - an die örtlichen Gegebenheiten angepasste Ausbildung der Feuerwehren in der Waldbrandbekämpfung,
    - Einführung von Waldbrand-Fachberatern in den gefährdeten Landkreisen zur Begleitung sämtlicher Maßnahmen vor, während und nach einem Waldbrand.<sup>30</sup>
  - Bei erhöhtem Einsatzaufkommen während der Hitzewelle bzw. Hitzebelastung für die Einsatzkräfte wird folgendes empfohlen:
    - Sicherstellung von genügend Patiententransportkapazitäten,
    - Unterstützung der Aufklärung der Bevölkerung über ein hitzeangepasstes Verhalten, um die Notwendigkeit von Einsätzen zu verringern,
    - Sicherstellung einer hitzeangepassten Arbeitsumgebung für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Einsatzorganisationen, z. B. durch Klimatisierung der Einsatzfahrzeuge und die Bereitstellung von Mineralwasser und Sonnenschutz,

<sup>29</sup> Vgl. dpa v. 24.07.2018 – „Bericht: Deutschland fehlt Ausrüstung zur Waldbrandbekämpfung“.

<sup>30</sup> Vgl. Hanl, A. (2018): Waldbrände in Deutschland. Ein Diskussionsbeitrag zur Vorbereitung auf Vegetationsbrände. In: Brandschutz Jg. 72, S. 756-760.

- Einbindung des Rettungswesens in die Erarbeitung von Hitzeaktionsplänen.<sup>31</sup>

### Krisenkommunikation

*Handlungsbedarf:* Unterstützung der Verhinderung oder Begrenzung von Schäden für die Bevölkerung. *Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- der Bevölkerung zeitnahe und umfassende Information sowie klare, konkrete Handlungsanweisungen (z. B. bei Evakuierungen, Anweisungen zur Gesundheitsvorsorge bei großer Hitze etc.) zur Verfügung zu stellen. Diese sollten über alle verfügbaren Medien (Fernsehen, Radio, soziale Medien) verbreitet werden. Soweit möglich, sollte sichergestellt werden, dass die Mehrheit der Bevölkerung über die verwendeten Medien informiert wird. Das BBK gibt auf seiner Website sowie über die Warn-APP NINA Hinweise zum Verhalten in besonderen Gefahrenlagen heraus.

### Forschung<sup>32</sup>

*Handlungsbedarf:* Verbesserte Vorhersagegüte von Dürren mittels dekadischer Klimavorhersagen.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Verbesserung der saisonalen und dekadischen Vorhersage sowie Entwicklung von Methoden der statistischen Nachbereitung mit dem Ziel, die Qualität von Dürrevorhersagen auf Monats-, saisonaler und dekadischer Zeitskala für Deutschland zu verbessern,
- Entwicklung räumlich (1 km x 1 km) und zeitlich (6 Stunden) hochaufgelöster Datensätze, die mindestens 30 Jahre umfassen (für die Parameter Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Strahlung, Wind und Bedeckungsgrad) zwecks Kalibrierung zukünftiger agrarmeteorologischer Beratungssysteme,
- Prüfung bestehender Dürremonitoringsysteme (z. B. des Deutschen Wetterdienstes, der Bundesanstalt für Gewässerkunde oder der Deutsche Dürremonitor des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung auf Eignung als Dürre-Früherkennungs- und -Warnsysteme oder der Erfordernis weiterer Entwicklungen<sup>33</sup>,
- Berücksichtigung von Forschungsergebnissen aus aktuellen Forschungsinitiativen, z. B. des BMBF (ClimXtreme, SacreX). Hier werden u. a. Dürren und Hitzewellen eingehend mit neuesten Forschungsmethoden im Kontext des Klimawandels untersucht,

### Energieversorgung

*Handlungsbedarf:* Anpassung an Dürreereignisse.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Verbesserung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen des Verkehrsträgers „Wasserstraße“ voranzutreiben (z. B. zur Erhöhung der Versorgungssicherheit von Kraftwerken) und im Hinblick auf einen möglichen Totalausfall der Wasserstraße (Extremfall) die Bereitstellung eines hinreichend dichten und redundanten Infrastrukturangebots, welches alternative Transportwege ermöglicht, zu verfolgen,

<sup>31</sup> Vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (2016): Klimawandel – Herausforderung für den Bevölkerungsschutz. Praxis im Bevölkerungsschutz, Bd. 5. [http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevölkerungsschutz/Band\\_5\\_Praxis\\_BS\\_Klimawandel\\_Herausforderung\\_f\\_BS.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevölkerungsschutz/Band_5_Praxis_BS_Klimawandel_Herausforderung_f_BS.pdf?__blob=publicationFile).

<sup>32</sup> Die hier aufgezeigten Empfehlungen des Forschungsbereichs bauen auf dem Kapitel 2.1.5 „Leistungen des Bundes im Fall einer Dürre“ auf.

<sup>33</sup> Vgl. Blauhut, V., Stahl, K. (2018): Risikomanagement von Dürren in Deutschland: von der Messung von Auswirkungen zur Modellierung. In: Schütze, N. et al. (Hrsg.): Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, H. 39.18. Tagungsband zum Tag der Hydrologie 2018, S. 203-2013.

- dass Industriezweige mit Kühlwassernutzung u. U. Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ergreifen. Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit der Anlagen sollte geprüft werden, ob alternative, weitgehend abflussunabhängige Kühlverfahren genutzt werden können<sup>34</sup>. Die Prozessabwärme kann – anstatt in Gewässer abgeleitet zu werden – auch einer weiteren Nutzung (z. B. für die Wärmeversorgung oder Stromerzeugung) zugutekommen oder über die Luft oder andere Wasservorkommen abgeleitet werden (z. B. Trockenkühlverfahren). Rückgeköhltes Kühlwasser kann außerdem im Kreislauf genutzt werden,
- dass – sofern keine Alternative zur Kühlwassernutzung aus dem Gewässer besteht – je nach Abflussverhältnissen variabel einsetzbare Kühltürme zum Einsatz kommen,
- im Vorfeld zu prüfen, wie im Falle einer erzwungenen Leistungsreduktion der Kraftwerke vorzugehen ist und zu prüfen wie trotzdem die Netzstabilität der Stromversorgung gewährleistet werden kann,
- darüber hinaus eine Effizienzsteigerung von Wasserkraftanlagen anzustreben, damit die durch den Klimawandel wahrscheinlich bedingten zunehmenden schwankenden Abflüsse (mehr Hochwasser- und Niedrigwasserabflüsse) für die Energieerzeugung besser genutzt werden können. Ein verbesserter Wirkungsgrad kann durch die Anpassung von Turbinen erreicht werden. Um größere Abflussbereiche möglichst optimal nutzen zu können, sind Maschinengruppen mit gestaffeltem Ausbaugrad zu empfehlen. Um aquatische Ökosysteme nicht zu schwächen und ihnen die Anpassung an den Klimawandel zu erschweren, ist auch die Einhaltung von ökologischen Anforderungen an eine Wasserkraftanlage (Durchgängigkeit, biologischer Mindestwasserabfluss, Fischschutz, kein Schwallbetrieb) wichtig.<sup>35</sup>

## Gesundheitssystem

*Handlungsbedarf:* Vorbereitung des Gesundheitssystems auf Hitzewellen

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Bereits bestehende Maßnahmen wie z. B. Hitzeaktionspläne und Hitzewarnsysteme sind zu evaluieren und ggf. anzupassen,
- ggf. einen Nationalen Hitzeaktionsplan zu erstellen,
- Hitzeaktionspläne in die Krankenhausalarmpläne zu implementieren,
- Häuser ggf. z. B. durch bauliche Maßnahmen an Hitze anzupassen,
- Forschung und damit einhergehendes Monitoring der Auswirkungen und Folgen von Hitzeereignissen auf die Gesundheit zu fördern und auszubauen<sup>36</sup>,
- Generell wird auf bereits bestehende Handlungsempfehlungen verwiesen. Beispielsweise von:
  - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit, 2017,
  - Umweltbundesamt (UBA) und Robert Koch-Institut (RKI): Klimawandel und Gesundheit. Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland. 2013,
  - Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe: Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)<sup>37</sup>, Herausgeber: BMU,
  - Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit,

<sup>34</sup> Vgl. LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2010): Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“ – Bestandsaufnahmen und Handlungsempfehlungen. LAWA, Dresden.

<sup>35</sup> Vgl. LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder.

<sup>36</sup> Vgl. auch RKI, Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht 1. November 2010.

- Weltgesundheitsorganisation (WHO): Heat-Health Action Plans, 2008; Improving Public Health Responses To Extreme Weather/Heat-Waves, 2009; Public Health Advice on preventing health effects of heat. New and updated information for different audiences, 2011.

Die acht Kernelemente der WHO sind:

- I. Zentrale Koordinierung und interdisziplinäre Zusammenarbeit
- II. Nutzung eines Hitzewarnsystems
- III. Information und Kommunikation
- IV. Reduzierung von Hitze in Innenräumen
- V. Besondere Beachtung von Risiko-Gruppen
- VI. Vorbereitung der Gesundheits- und Sozialsysteme
- VII. Langfristige Stadtplanung und Bauwesen
- VIII. Monitoring und Evaluation der Maßnahmen.

## Umwelt<sup>37</sup>

*Handlungsbedarf:* Anpassung an häufigeres Auftreten von Dürreereignissen.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- Implementierung eines effektiven und adaptierten Risikomanagements zur Minderung der Vulnerabilität von Schutzgebieten und Sicherstellung ihrer Funktionalität ausgehend von der Gesamtlandschaft. Dabei sollte die Priorität auf flächenmäßig kleineren Gebieten wegen deren besonderer Vulnerabilität liegen. Weiterhin sind der Erhalt und die Ausweitung von Schutzgebieten notwendig. Am sinnvollsten sind Schutzgebiete in einem kohärenten System zu erhalten und zu entwickeln, das Korridore bildet und Biotopverbünde möglich macht. Die Schutzziele können nur in Abstimmung mit anderen Nutzungsansprüchen – etwa denen der Landwirtschaft – und in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Nutzergruppen erreicht werden,
- Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Wäldern z. B. durch Umbau von Monokulturen (Kiefern- und Fichtenbestände) in standortgerechte Wälder sowie eine deutliche Zunahme der Waldflächen. Bei forstlichen Anpassungsmaßnahmen muss der Schutz gefährdeter Arten berücksichtigt werden z. B. durch Erhaltung von Alt- und Totholz, Wiedervernässung von Feuchtwäldern. Zusätzlich wird die Förderung nutzungs-freier Wälder für eine natürliche Waldentwicklung empfohlen,
- Erhöhung der Resilienz von Gewässerökosystemen gegenüber Klimaänderungen (insbesondere Niedrigwasserzeiten und Hochwasser) durch folgende Maßnahmen:
  - Herstellung möglichst natürlicher Gewässerstrukturen mit guter longitudinalen Durchgängigkeit, variablen und aufgeweiteten hydromorphologischen Strukturen sowie bewachsenen, entwickelten Uferbereichen. Dadurch entstehen Rückzugsmöglichkeiten für die Fischpopulation in Stresssituationen und es besteht die Möglichkeit der Wiederbesiedelung nach Extremereignissen, wie dem Trockenfallen von einzelnen Flussabschnitten. Insbesondere in dem Bereich der natürlichen Bundeswasserstraßen (stau-regelt und freifließend) sind hierzu die Wechselwirkungen mit dem Handlungsbedarf „Verbesserung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen des Verkehrsträgers „Wasserstraße“ zu beachten (vgl. Ausführungen zu „Verkehr und Wirtschaft“), sofern z.B. durch Staulegung keine negativen Auswirkungen auf das Niedrigwassermanagement (s.u.) bestehen,
  - Schutz und Entwicklung von Gewässerrandstreifen. Pflanzen im ufernahen Gewässerbereich tragen durch Nährstoffaufnahme und Filterwirkung zur natürlichen Reinigung der Gewässer bei. Sie bieten

<sup>37</sup> Vgl. auch Handlungsempfehlungen Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK).“

der Fischpopulation eine Rückzugsmöglichkeit, um sich dem Räuberdruck zu entziehen. Der Schatten von Ufergehölzbeständen wirkt zudem einer Aufheizung der Wasserkörper in Hitzeperioden entgegen,

- Naturschonende Gewässerunterhaltung,
  - Verringerung von diffusen Schad- und Nährstoffeinträgen in die Gewässer zur Verhinderung von Sauerstoffmangel und Eutrophierung sowie von toxikologischen Wirkungen auf Organismen. Mögliche Maßnahmen sind die Anlage von Pufferzonen und die landwirtschaftliche Extensivierung,
  - Anpassung von Entnahme- und Einleitungsgrenzwerten für Gewässer (Abflussmenge, -qualität, inkl. Wassertemperatur). Wenn bei Niedrigwasserabflüssen Einleitungen mit reduzierter Wasserqualität durch die im Gewässer vorhandene Restwassermenge nur noch unzureichend verdünnt werden, verringert sich die Wasserqualität im Gewässer zunehmend. Bei steigenden Wassertemperaturen werden die einleitbaren Wärmemengen bis zum Erreichen der Temperaturgrenzwerte außerdem geringer. Deshalb sollten bestehende Grenzwerte unter Berücksichtigung möglicher Klimawandeleinflüsse überprüft und ggf. angepasst werden. Mithilfe von Wärmelastplänen können Wärmeimmissionen für stark genutzte Gewässer besser abgeschätzt und bei der Standortwahl für Kraftwerke sowie bei Genehmigungsverfahren berücksichtigt werden,
  - Einführung von Gewässerqualitätswarndiensten, die bei sehr geringen Abflüssen und kritischen Wasserqualitätswerten zum Einsatz kommen, um gewässerökologische Schädigungen zu vermeiden. Durch entsprechende Meldestufen können Akteure gewarnt und sensibilisiert werden und Maßnahmen koordiniert eingeleitet und durchgeführt werden,
  - Klimaspezifische Anpassung und Auswertung des Gewässermonitorings. Die Auswirkungen höherer Wassertemperaturen und zunehmender Trockenheit sollen anhand verschiedener Indikatoren in den Gewässersystemen untersucht werden. Auch die regelmäßige Überwachung von Quellschüttungen als Bindeglied zwischen Grund- und Oberflächenwasser sind für die Beobachtung der klimatischen Veränderungen wichtig.
- Niedrigwassermanagement wird in vielen Regionen Deutschlands durch den Klimawandel wichtiger, da ein verstärktes Auftreten von Niedrigwasserabflüssen im Sommer und Herbst erwartet wird. Für das rechtzeitige Umsetzen von Maßnahmen im Niedrigwasserfall ist eine frühzeitige Abfluss- und Temperaturvorhersage wichtig,
  - Zum Schutz aquatischer Ökosysteme sollten Maßnahmenpläne für das Niedrigwassermanagement Maßnahmen festschreiben, die ab einer Unterschreitung bestimmter Schwellenwerte greifen. Solche Maßnahmen umfassen u. U. auch (weitergehende) Nutzungsbeschränkungen. Spezifische Anreize zum wassersparenden Verhalten im Niedrigwasserfall können evtl. zur Schonung der Gewässer beitragen. Zur Sicherung der Wasserqualität müssen evtl. drastische Maßnahmen, wie z. B. Belüftung, ergriffen werden. Auch eine Niedrigwasseraufhöhung (z. B. durch Stauregelung zur Wasserstandstützung) kann zur Sicherung der Wasserqualität beitragen. In Niedrigwasserphasen ist der grundwasserbürtige Basisabfluss für den Gewässerabfluss von großer Bedeutung. Deshalb sind Maßnahmen zur natürlichen Retention und Versickerung von Wasser, die zur Grundwasserneubildung beitragen, letztendlich auch für eine Erhöhung von Niedrigwasserabflüssen förderlich,
  - Umsetzung von Maßnahmen zur Verhinderung der Austrocknung von Quellen und zur Steigerung der Grundwasserneubildung z. B. durch Regenwasserversickerung über Sickerpflaster oder Muldenversickerung,
  - Da Erkenntnisse über die Auswirkungen des Klimawandels auf Grundwasservorkommen noch sehr unsicher sind, sollte eine klimaspezifische Auswertung und Anpassung des Grundwassermonitorings erfolgen. Um ggf. schnell reagieren zu können, sollten nicht nur die Grundwasserstände, sondern auch die Veränderung der Grundwasserqualität genau im Blick behalten werden. Wichtig hierfür sind langjährige Zeitreihen der Messdaten,
  - Die möglichen klimabedingten Veränderungen des Grundwassers stellen keine grundsätzlich neuen Probleme für Grundwasserschutz und -bewirtschaftung dar, sondern verschärfen bereits bekannte Probleme auf regionaler bzw. lokaler Ebene. Als Lösungsansätze eignen sich daher regionale Anpassungskonzepte mit flexiblen Nachsteuerungsmöglichkeiten. Grundwasserschonende Landbewirtschaftung, der Schutz von

grundwasserabhängigen Landökosystemen (z. B. Moore), Maßnahmen zur Förderung der Grundwasserneubildung und eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung stellen sinnvolle Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers dar.<sup>38</sup>

## Verkehr und Wirtschaft

Handlungsbedarf: Gewährleistung/Erhöhung der Zuverlässigkeit aller Verkehrssysteme und im Hinblick auf einen möglichen Totalausfall der Wasserstraße bei häufigerem Auftreten von Dürreereignissen eine stärkere Unabhängigkeit von einzelnen Verkehrsträgern.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Verbesserung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen des Verkehrsträgers „Wasserstraße“ und im Hinblick auf einen möglichen Totalausfall der Wasserstraße (Extremfall) die Bereitstellung eines hinreichend dichten und redundanten, Infrastrukturangebots, welches alternative Transportwege ermöglicht. Das bedeutet, dass die Zuverlässigkeit aller Verkehrssysteme durch gezielte Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur erhöht werden kann. Für den Fall einer dauerhaften Dürre müsste geprüft werden, inwieweit die Wasserstraßen- und Bahninfrastrukturen ausgebaut werden müssen,
- Für eine stabile Kraftstoffversorgung müssen, für die inländische Versorgung mit Mineralölprodukten, ausreichend Transportkapazitäten per Schiff, per Bahn oder Pipeline zur Verfügung stehen,
- Für den Bereich Binnenschifffahrt sind Maßnahmen zum Umgang mit Niedrigwasser zu entwickeln. Dazu gehören Maßnahmen in den Bereichen „Informationsbereitstellung“, „Transport und Logistik“ sowie „Infrastruktur“.

Auf Grund der Abhängigkeit der Wirtschaft vom Verkehr wird hier empfohlen,

- Auf Nutzer- bzw. Produzentenseite eine individuelle unternehmerische Vorsorge zu etablieren, um die Kosten potenzieller Störungen im Verkehrssystem bei einer Dürre zu begrenzen. Hierzu zählt u. a. eine geeignete Standortwahl, die in Abhängigkeit von der Transportaffinität des Unternehmens sowohl auf eine möglichst variable Verkehrsbedienung als auch auf unterschiedliche Lieferanten setzt. Zudem können transportabhängige Unternehmen oder Branchen über das Vorhalten bestimmter Reservekapazitäten im Bereich der Rohstoffe und Vorprodukte ihre individuellen Risiken in Bezug auf die Dürre reduzieren,
- Des Weiteren sollten die für (Rohstoff-)Lieferungen verantwortlichen Verkehrs- oder Logistikunternehmen ihre internen Routenplanungen auf Systemstörungen wie eine Dürre hin prüfen.

Weiterführend wird auf folgende Berichte verwiesen:

- „Positionspapier: Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte – (Deutscher Städtetag 2012),
- Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder (LAWA Klimawandel-Bericht 2017).

## Ernährungssektor

*Forschungsbedarf:* Die Empfehlungen für den Ernährungssektor sind eng mit dem Forschungsbereich verknüpft, denn die Erkenntnisse aus der Analyse zeigen, dass es gegenwärtig einen Mangel an Forschungsarbeiten und empirischen Daten gibt, anhand derer die Auswirkungen auf Ernteerträge und -qualitäten sowie auf die Tierhaltung bei Dürre/Hitze belastbar abgeleitet werden können.

<sup>38</sup> Vgl. LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder.

*Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):*

- eine stärkere Fokussierung anwendungsbezogener Forschung in Bezug auf die Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft empfohlen. Es sollten konkrete Lösungsvorschläge aus den Forschungsergebnissen abgeleitet werden. Beispielfhaft seien folgende konkret zu betrachtende Fragestellungen genannt:
  - Besteht die Möglichkeit zum Ausbau der Bewässerungsbewirtschaftung und des Wassermanagements für die Landwirtschaft?
  - Können trockenheits-/hitzeresistentere Ackerkultursorten gezüchtet werden?
  - Kann durch Klimatisierungstechniken und bauliche Maßnahmen zum Hitzeschutz ein optimales Stallklima gewährleistet werden?
- Damit sich Pflanzen während Trockenperioden länger über die Nutzung von Bodenwasser am Leben erhalten können, sollte die Wasserspeicherfähigkeit der Böden durch Maßnahmen wie der Humusanreicherung, dem Erosions- und Bodenschutz oder der konservierenden Bodenbearbeitung (z. B. nicht wendende Verfahren) erhalten oder verbessert werden,
- Auch können Anpassungen im Anbau von Pflanzen einen geringeren Wasserbedarf und eine effizientere Wassernutzung der Pflanzen, geringere Verdunstung oder Erosionsschutz bewirken. Vergleichbare Effekte können durch die Sortenwahl bzw. den Anbau trockenresistenter Pflanzen erzielt werden,
- Bei der Bewässerung selbst empfiehlt sich, möglichst effiziente Methoden vorzuziehen bzw. zu entwickeln. Schon stark beanspruchte Grundwasservorkommen sollten nach Möglichkeit nicht für Bewässerungszwecke genutzt werden. An bestimmten Standorten, z. B. im Weinbau, kann die Anlage von Regenwasserspeichern zur Bewässerung sinnvoll sein. In Wasserbewirtschaftungsplänen muss der zunehmende Bewässerungsbedarf mit einberechnet und Nutzungsrechte aufgeteilt werden. Behördlich angeordnete Entnahme einschränkungen bzw. Entnahmeverbote können die wirtschaftliche Lage der Landwirte beeinträchtigen, sodass hier eine frühzeitige Abstimmung der Maßnahmeneinleitung empfohlen wird.<sup>39</sup> Um eventuellen Konflikten wirkungsvoll zu begegnen bedarf es u. a. vorsorgender Maßnahmen, die auf regionaler- bzw. lokaler Ebene und unter Beteiligung aller Betroffenen abzustimmen sind,
- Über voraussichtliche klimatische Entwicklungen in der Region sollten Landwirte umfassend und frühzeitig informiert werden. Auch gute und frühzeitige agrar-meteorologische Vorhersagen können zur geeigneten Bewirtschaftung beitragen,
- Je nach Vorliegen lokaler bzw. regionaler Bedingungen kann die Gründung von Wasserverbänden zur organisierten und bedarfsgerechten Verteilung des zur Verfügung stehenden Oberflächenwassers eine wichtige Handlungsoption darstellen.<sup>40</sup>

### 2.1.5 Leistungen des Bundes im Fall einer Dürre

Für das hier betrachtete Szenario (Dürre mit Hitzewelle und Vegetationsbränden) und in diesem Zusammenhang eintretende Schäden und Belastungen an Mensch, Umwelt und Infrastrukturen hat der Bund Fähigkeiten und Ressourcen, die er den betroffenen Ländern und Kommunen – teilweise in Amtshilfe gemäß Artikel 35 GG – zur Verfügung stellt.

Zum einen stehen hier Fähigkeiten und Ressourcen die der Bund aufgrund eigener Zuständigkeit vorhält, dazu gehören u. a. die Leistungen des Deutschen Wetterdienst (DWD) oder der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) im Bereich Vorhersage und Monitoring und zum anderen Ressourcen die der Bund im Rahmen der ergänzenden Ausstattung des Landes-Katastrophenschutzes gemäß § 13 ZSKG den Ländern auch zur Nutzung bei Katastrophenfällen überlässt. Darüber hinaus verfügt der Bund zur Bewältigung der Auswirkungen von Dürre und Hitzeereignissen über vielfältige Fähigkeiten und Ressourcen (wie z. B. Anlagen der Trinkwasser-notversorgung oder die Fachgruppen Trinkwasserversorgung des Technischen Hilfswerkes [THW]), die er den

<sup>39</sup> Vgl. LfU BY – Landesamt für Umwelt Bayern (2016): Niedrigwasser in Bayern. Grundlagen, Veränderungen und Auswirkungen. UmweltSpezial.

<sup>40</sup> Vgl. LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder.

betroffenen Kommunen und Ländern im Rahmen der Amtshilfe gemäß Artikel 35 des Grundgesetzes – auf Anforderung – ebenfalls zur Verfügung stellt.

Die Fähigkeiten und Ressourcen des Bundes für die Bewältigung des hier angenommenen Dürreereignisses (einhergehend mit Hitzewelle und Vegetationsbränden) werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt:

### a) Ausstattung

Brandschutz (hier: Vegetations- bzw. Waldbrand) – Ausstattungskonzept des Bundes:

Für die Brandbekämpfung sind im abgestimmten Ausstattungskonzept des Bundes im Rahmen der Ergänzung des Katastrophenschutzes der Länder insgesamt 955 Löschgruppenfahrzeuge für den Katastrophenschutz (LF-KatS) und 466 Schlauchwagen für den Katastrophenschutz (SW-KatS) vorgesehen.

Das LF-KatS mit Allrad-Antrieb kann mit neun Einsatzkräften (eine Gruppe) und der Schlauchwagen mit drei Einsatzkräften (ein Trupp) besetzt werden. Die Fahrzeuge sind zur Kontaktaufnahme mit der jeweiligen Leitstelle sowohl mit Digital- als auch mit Analogfunkgeräten ausgestattet. Für die Kommunikation an der Einsatzstelle stehen Handfunksprechgeräte in entsprechender Anzahl zur Verfügung. Zum Eigenschutz der Einsatzkräfte stehen auf dem LF-KatS vier Umluft unabhängige Atemschutzgeräte zur Verfügung. Zusätzlich sind für jede Einsatzkraft auf dem LF-KatS und dem SW-KatS Atemschutzmasken mit Atemfilter vorrätig.

Mit diesen Fahrzeugen kann eine Wasserversorgung über lange Wegstrecken aufgebaut und ein Löschangriff vorgetragen werden. Die Schlauchwagen ermöglichen in Verbindung mit den LF-KatS die Fortleitung von Löschwasser über eine Distanz von bis zu 2000 m. Dabei kann, in Kombination mit der Tragkraftspritze des LF-KatS, ein Volumenstrom von 800 Liter/Minute sichergestellt werden. Bis zum Aufbau der Wasserversorgung kann der Löschangriff bereits mit dem auf dem LF-KatS mitgeführten Löschwasser (1 cbm) begonnen werden.

Die Brandbekämpfung kann sowohl aus der Distanz über Monitore (notwendig bei munitionsbelasteten Flächen) als auch flexibel über handgeführte Strahlrohre erfolgen. Zur Erstellung von Schneisen sind auf beiden Fahrzeugen motorbetriebene Kettensägen verfügbar.

Von diesen 955 LF-KatS sind 539 Fahrzeuge in den Ländern verfügbar. Aktuelle Beschaffungsmaßnahmen umfassen 306 weitere Fahrzeuge. Bei den Schlauchwagen sind in den Ländern 405 Fahrzeuge verfügbar. Eine aktuelle Beschaffungsmaßnahme deckt den Fehlbestand der SW-KatS vollständig ab.

### b) Weitere Unterstützungsleistungen

- Hubschrauber der Bundespolizei und der Bundeswehr zur Brandbekämpfung aus der Luft bzw. zur Erkundung,
- Nutzung von Anlagen der Trinkwassernotversorgung (Verbundleitungen, Notbrunnen, Chlortabletten, Wassertransportkapazitäten), die auf Grundlage des WasiSG für den Verteidigungsfall errichtet oder beschafft wurden.<sup>41</sup> Diese Anlagen dürfen gemäß § 8 WasiSG auch in Friedenszeiten verwendet werden. Die Vorgaben der TrinkwV sind hierbei zu beachten,
- Auf das Szenario Dürre und den damit ggf. einhergehenden Mangel an Wasser in Trinkwasserqualität bezogen, hält das THW zur Trinkwasseraufbereitung elf Fachgruppen vor. Diese können an Brennpunkten zum Einsatz kommen, bilden jedoch keine dauerhafte Einsatzoption für eine langanhaltende Dürre, da ihr Einsatz personal- und materialintensiv ist,
- Die Fachgruppen Trinkwasserversorgung des THW sind in der Lage 132.000 Menschen leitungsunabhängig mit 25 Liter pro Person und Tag zu versorgen. Leitungsgebunden sinkt diese Zahl auf rund 22.000 Menschen,
- Neben den Fähigkeiten des THW beim Vegetations- bzw. Waldbrand stehen die vom Szenario unabhängigen Fähigkeiten des THW grundsätzlich allen Bedarfsträgern zur Verfügung. Hierbei werden in erster Linie die Bereiche Führungsunterstützung, Transport- und Logistikleistungen sowie die Fähigkeiten im

<sup>41</sup> Für die Unterscheidung zwischen Ersatzversorgung und Notversorgung mit Trinkwasser vgl. Fußnote 22.

Bereich Verpflegung und Unterbringung von mehreren hundert Einsatzkräften von hoher Bedeutung sein. Gleichwohl kann das THW hierbei nur unterstützend tätig sein, da die Ressourcen/Anforderungen durch den Bund priorisiert werden bzw. meist überregional zusammengezogen werden müssten,

- Im Rahmen freier Kapazitäten kann die Bundeswehr mit Fähigkeiten und Ressourcen, die besonders zur Hilfeleistung geeignet sind, unterstützen. Bei Vegetations- bzw. Waldbränden sind diese z. B. Brandbekämpfung aus der Luft, Einsatz von schwerem Gerät (bspw. geschützter Pioniermaschinen im munitionsbelasteten Gebiet), Wärmebildaufklärung mit Flugzeugen oder Drohnen sowie der Einsatz der Bundeswehrfeuerwehr,
- Gleichwohl unterliegen die Fähigkeiten der Bundeswehr dem Grundsatz der Subsidiarität, entsprechende Beiträge im Rahmen der zivilen Katastrophenhilfe werden nicht vorgehalten,
- Fähigkeiten der Bundeswehr zur Trinkwasseraufbereitung und -transport.

### c) Beratungsleistungen – Vorhersage und Monitoring

#### Deutscher Wetterdienst (DWD)

##### *Monitoring*

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) betreibt zwei Systeme zum Monitoring der Niederschlagsmengen und damit auch von Dürren.

In der Abteilung Agrarmeteorologie wird aus den an Stationen gewonnenen Beobachtungsdaten der „Standardized Temperature Index“ (STI), der „Standardized Precipitation Index“ (SPI) und der „Standardized Precipitation Evapotranspiration Index“ (SPEI) berechnet und anschließend ausgehend von den Stationen auf das gesamte Bundesgebiet interpoliert. Diese Daten werden für die agrarmeteorologische Beratung verwendet.

In der Abteilung Hydrometeorologie wird ein anderer Ansatz verfolgt, bedingt durch das Ziel ein in nahezu Echtzeit global funktionierendes Dürremonitoring im Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN) zu betreiben. Hierzu werden mit den im WZN erstellten gerasterten Analysen des monatlichen Niederschlags und der gerasterten Monatsmitteltemperatur der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration in den USA) der SPI und SPEI berechnet und zum global anwendbaren GPCC-DI (Global Precipitation Climatology Centre – Drought Index) kombiniert. Außer einigen Gebieten in den Anden, im Hochland von Tibet und der Antarktis deckt dieser Index die globalen Landflächen mit einer räumlichen Auflösung von 1° ab, so dass hiermit eine Möglichkeit zur Überwachung der Situation in den Nachbarländern gegeben ist. Der GPCC-DI wird monatlich aktualisiert (liegt ab 1952 vor) und wird auch auf dekadische Klimavorhersagen angewendet. Mit den über die betroffene Fläche integrierten Werten der Dürreindizes kann die Intensität der Dürre abgeschätzt werden.

##### *Vorhersage*

Neben den allgemein bekannten numerischen Vorhersagesystemen für die Kurz- und Mittelfristvorhersagen (bis zehn Tage Vorhersagehorizont) prozessiert der DWD auch die mehrwöchigen Vorhersagen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW). Die Wochenvorhersagen umfassen Wochenmittelwerte für die nächsten sechs Wochen und werden zweimal wöchentlich bereitgestellt. Saisonale Klimavorhersagen werden vom DWD produziert und auf der Jahreszeitenvorhersage-Webseite des DWD ([www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage](http://www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage)) für Temperatur und Niederschlag veröffentlicht. Diese umfassen die Mittelwerte über die drei Folgemonate und werden einmal pro Monat aktualisiert. Die Entwicklung eines dekadischen Klimavorhersagesystems findet im Rahmen des Forschungsprojektes MiKlip statt, das ab 2020 operationell beim DWD betrieben werden soll. Bei den dekadischen Klimavorhersagen werden Jahres- und Vierjahresmittel für die nächsten zehn Jahre berechnet. Die dekadischen Klimavorhersagen werden einmal pro Jahr aktualisiert. Ab Herbst 2019 wird ein neuer DWD-Internetauftritt für Klimavorhersagen aufgebaut, der schrittweise alle Klimavorhersagezeitskalen erfassen wird. Zu Beginn werden Temperatur- und Niederschlagsvorhersagen veröffentlicht, die im weiteren Verlauf um Dürrevorhersagen ergänzt werden.

Aufbauend auf den Modellergebnissen kann ein Dürreindex zur Vorhersage von Dürren berechnet werden, um Dürren auf Zeitskalen von Wochen bis Dekaden vorhersagen zu können. Mit den Wochen- und saisonalen Klimavorhersagen lässt sich im Prinzip der Beginn und die Stärke einer Trocken- oder Dürreperiode vorhersagen, bedingt durch den kurzen Vorhersagehorizont aber möglicherweise nicht das Ende langer Ereignisse. Die dekadische Klimavorhersage beschreibt die generelle Wahrscheinlichkeit von Dürren mit einer zeitlichen Auflösung von einem beziehungsweise vier Jahren. Sie kann aber auch Informationen zu mehrjährigen saisonalen Mitteln, z. B. 4-jährigen Sommer- oder Winterdürren liefern.

Für die Wochenvorhersagen wird die Dürregefährdung aktuell basierend auf der Bodenfeuchte eines agrarmeteorologischen Klimafolgenmodells analysiert. Das saisonale Vorhersagesystem GCFS2.0 zeigt für Temperatur und Niederschlag für einige Startmonate in Deutschland eine bessere Vorhersagegüte gegenüber der beobachteten Klimatologie und könnte durch statistische Nachbereitung weiter verbessert werden. An der Umsetzung saisonaler Dürrevorhersagen über Deutschland, welche auf Temperatur und Niederschlag basieren, wird aktuell gearbeitet. Für dekadische Klimavorhersagen ist bereits ein Dürreindex berechnet worden. Dekadische Dürrevorhersagen zeigen für einzelne Regionen Deutschlands, z. B. Norddeutschland, eine bessere Vorhersagegüte als die beobachtete Klimatologie. Im MiKlip-Projekt wurde mit der statistischen Nachbearbeitung der dekadischen Klimavorhersagen eine Verbesserung der Vorhersagegüte erreicht.

Im Fokus der aktuellen Forschung stehen eine Verbesserung der Vorhersagbarkeit der Nordatlantischen Oszillation (NAO) und die Anwendung von Methoden der statistischen Nachbereitung, welche beide das Potential haben, die Qualität der Dürrevorhersagen auf Monats-, saisonaler und dekadischer Zeitskala für Deutschland zu steigern.

### **Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)**

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung inklusive ihrer Oberbehörde (BfG) betreibt ein bundesweites Monitoring extremer Hoch- und Niedrigwasserereignisse, welches beim Auftreten von Über- bzw. Unterschreiten bestimmter Schwellenwerte an den Bundeswasserstraßen aktiviert wird. Einen überregionalen Blick auch im Hinblick auf die Wasserqualität der großen Ströme Deutschlands präsentiert die BfG-Informationsplattform Undine. Während die BfG verkehrsbezogene Wasserstandsvorhersagen ( $\sim +4d$ ) erstellt, betreiben einige Bundesländer (z. B. Baden-Württemberg (BW)) auch spezielle Niedrigwasser-Vorhersagedienste, der im Falle von BW auch die Wassertemperatur umfasst.

Die Vorhersagedauern der operationellen Niedrigwasser-Vorhersagen sind mit  $\sim$  sieben Tagen vergleichsweise kurz. An der BfG wird derzeit an Vorhersagen mit Vorhersagezeiten von bis zu zehn Tagen gearbeitet. Ebenso führt die BfG Forschungsarbeiten zu „saisonalen hydrologische Vorhersagen“ durch. Diese Vorhersagen befinden sich derzeit (Stand 2018) jedoch noch erst im Testbetrieb. Es zeigt sich eine Vorhersagbarkeit von ein bis zwei Monaten. Mögliche Entwicklungen der kommenden Monate lassen sich jedoch in Form von Szenarien aufzeigen. Betroffene Bereiche (z. B. Binnenschifffahrt) haben somit einen gewissen Vorlauf sich auf die Situation einzustellen.

### **Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie**

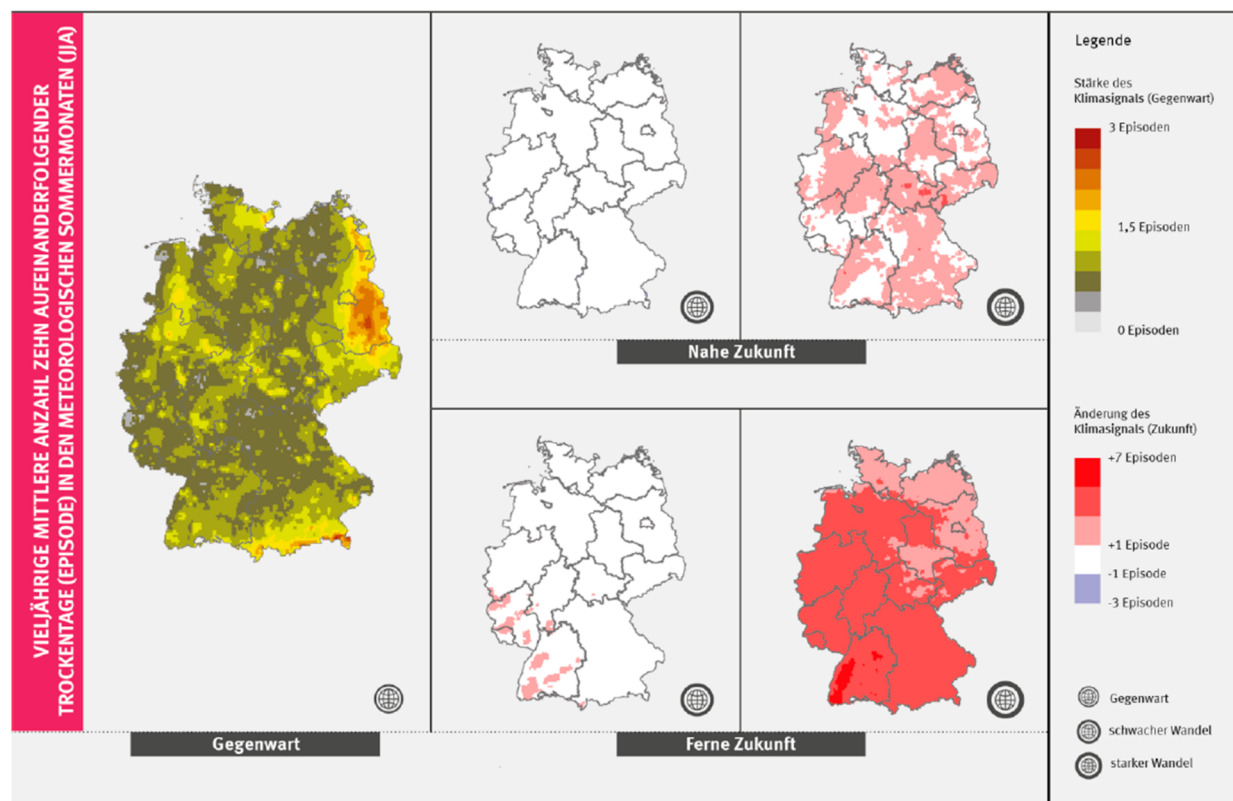
Die Meeresgezeiten dringen über die Mündungen und Unterläufe der Flüsse weit in das Hinterland. Für alle Küstenorte und Flüsse mit wahrnehmbaren Gezeiten werden Vorausberechnungen und Vorhersagen des Wasserstandes vom BSH geliefert. Wegen der Nähe der großen Häfen zum offenen Meer ist der Einfluss der Dürre auf die Wasserstände im Gezeitenbereich der gut ausgebauten Seeschifffahrtsstraßen gering. Im Einzelfall, insbesondere was die Seeschifffahrt mit großem Tiefgang betrifft, kann es im Rahmen eines realen Dürreereignisses vereinzelt Nachfragen zu (Tide-)Niedrigwasserständen geben. Diese Nachfragen werden durch den 24/7-Wasserstandsvorhersagedienst des BSH beantwortet.

#### **2.1.6 Trends**

Bereits heute sind einige Gebiete in Deutschland in den Sommermonaten regelmäßig mit Trockenheit konfrontiert. Gegenwärtig liegen Schwerpunkte der Episoden mit niederschlagsfreien Tagen in den ostdeutschen Bundesländern, darunter im östlichen Teil Brandenburgs, sowie am östlichen Alpenrand (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2

**Mittlere Anzahl von Trockenperioden (mindestens 10 aufeinanderfolgende Trockentage) in den meteorologischen Sommermonaten (Juni, Juli, August) und Änderungssignal für die Projektionszeiträume (nahe Zukunft: 2021-2050; ferne Zukunft: 2071-2100) gegenüber der Gegenwart**



Quelle: UBA 2015, S. 78.

Die zukünftige Veränderung der Niederschläge gilt insgesamt als schwieriger einzuschätzen als die Entwicklung der Temperatur und ist mit größeren Unsicherheiten behaftet.<sup>42</sup> Regionale Klimaprojektionen zeigen jedoch unter Annahme verschiedener Emissionsszenarien für Europa und auch für Deutschland im Allgemeinen eine Zunahme von Hitzewellen und Trockenperioden.

<sup>42</sup> Wenngleich sich in einem wärmeren Klima potenziell mehr Wasserdampf in der Atmosphäre befindet, entscheiden letztlich die großräumige Zirkulation und die niederschlagsbildenden Prozesse darüber, wieviel Wasser tatsächlich als Niederschlag zum Boden gelangt.

Räumlich genauere Aussagen für das Bundesgebiet wurden durch ein breites Netzwerk von Bundesoberbehörden in der Vulnerabilitätsanalyse 2015 (UBA 2015) erarbeitet. Die Vulnerabilitätsanalyse von 2015 wird im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel bis 2021 aktualisiert. Der Bericht von 2015 kommt unter der Annahme, dass der Klimawandel einen relativ ausgeprägten Verlauf nimmt („starker Wandel“), zu dem Schluss, dass Trockenperioden in Deutschland in den Sommermonaten gegen Ende des Jahrhunderts flächendeckend häufiger auftreten werden. Gleichzeitig wird eine Zunahme von Starkniederschlägen für weite Teile Deutschlands bei gleichbleibender Niederschlagsmenge im Sommer erwartet. Im Winter wird die Niederschlagsmenge leicht zunehmen. Aufgrund der durch die Trockenheit veränderten Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens können diese Niederschläge das Wasserdefizit jedoch wahrscheinlich nicht kompensieren; vielmehr sind ein erhöhter oberirdischer Abfluss und Bodenabtrag die Folge. Im Winter ist hingegen aufgrund der erwarteten Zunahme der winterlichen Niederschlagssummen mit nur geringen Änderungen bis hin zu einer Abnahme in der Anzahl von Trockenperioden zu rechnen. Für langanhaltende Trockenperioden von mindestens 6 Monaten Dauer konnte für den Zeitraum von 1951 bis 2010 für Deutschland allerdings kein signifikanter Trend nachgewiesen werden.<sup>43</sup> Auch werden Sommeranomalien wie im Jahr 2003 mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von etwa 450 Jahren als eher selten eingestuft.<sup>44</sup> Derartige Hitzewellen und Dürreperioden werden jedoch unter einem wärmeren Klima wahrscheinlicher.<sup>45</sup> Auswertungen verschiedener Klimaprojektionen durch den DWD zeigen, dass sich die Gesamtmenge des Niederschlags im Jahr kaum ändert bei einer Zunahme der Winterniederschläge und Verstärkung der Starkniederschläge im Sommer. Die Temperaturzunahme führt zu einer höheren Verdunstung sowie einem erhöhten Wasserbedarf der Vegetation. Die Zunahmen von Dürren in Deutschland, aufgrund einer Zunahme der Temperatur, wird auch durch die Analyse von Spioni et al. 2016 bestätigt.

Ausgehend von den Folgen, die bereits heute während langanhaltender Trockenperioden in Deutschland – so auch 2018 – zu beobachten sind, ist davon auszugehen, dass die in der Risikoanalyse beschriebenen Auswirkungen einer Dürre vor dem Hintergrund des Klimawandels künftig häufiger auftreten werden. Zudem werden sie zum Teil durch weitere Folgen des Klimawandels verstärkt. Beispielsweise wird sich die Gefahr von Niedrigwasserständen, etwa am Rhein, durch das zeitgleiche Schwinden der Alpengletscher wahrscheinlich noch leicht erhöhen, da der Schmelzwasseranteil sinkt.<sup>46</sup>

Dabei wird das Maß der Auswirkungen und Schäden einer Dürre von den vorherrschenden sozioökonomischen Faktoren der betroffenen Region wie z. B. der Bevölkerungsdichte, dem Industrialisierungsgrad oder der Landnutzung mitbestimmt. Zur Bestimmung des Schadensausmaßes künftiger Dürren gilt es daher, die Klimaveränderungen in ihrer Überlagerung mit weiteren gesellschaftlich relevanten Entwicklungen wie z. B. dem demographischen Wandel zu berücksichtigen.<sup>47</sup>

---

<sup>43</sup> Vgl. Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., & P. Barbosa (2016). *Meteorological Droughts in Europe. Events and Impacts. Past Trends and Future Projections*.

<sup>44</sup> Vgl. Schönwiese, C., Staeger, T., Trömel, S. (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol.13, No. 4, 323-327.

<sup>45</sup> Vgl. IPCC (2013): *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge.

<sup>46</sup> Beispielsweis betrug im Sommer 2003 beim Rheinpegel Kaub der Eis-Schmelzwasseranteil noch bis zu 20 Prozent. Nach mehreren sehr warmen und teils trockenen Jahren haben die Gletscher in der Schweiz seit 2008 ein Fünftel ihres Volumens eingebüßt; vgl. Jörg Uwe Belz, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Deutschen Presse-Agentur, 28.11.2018.

<sup>47</sup> Vgl. Brasseur, G., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (Hrsg.) (2017): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Springer; Umweltbundesamt (UBA) (2015): *Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel*. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_24\\_2015\\_vulnerabilitaet\\_deutschlands\\_gegenueber\\_dem\\_klimawandel\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf).

### 3. Stand der Umsetzung auf Ebene der Länder

Gemäß § 18 Absatz 1 Satz 1 ZSKG erstellt der Bund im Zusammenwirken mit den Ländern Risikoanalysen für den Zivilschutz.

Hieraus ergibt sich keine Verpflichtung der Länder zur Partizipation im Bereich der Risikoanalyse. Daher hat sich zwischen Bund und Ländern ein regelmäßiger fachlicher Austausch auf den unterschiedlichen Verwaltungsebenen mit den Vertretern der Landesinnenministerien bzw. -senatsverwaltungen etabliert. Die Szenarien, die den auf Bundesebene durchgeführten Risikoanalysen zugrunde liegen, genauso wie der gemeinsam entwickelte Leitfaden<sup>48</sup> für die Ebene Landkreise/kreisfreie Städte, werden den für den Katastrophenschutz zuständigen Stellen der Länder zur weiteren Verwendung bereitgestellt.

Um eine engere Verzahnung des Risiko- und Krisenmanagements unterschiedlicher Akteure auf unterschiedlichen Ebenen zu fördern und damit aktiv die Grundlage für eine effektivere Bewältigung von außergewöhnlichen Ereignissen zu legen, wird derzeit intensiv an der Erweiterung der Systematik hin zu einem Integrierten Risikomanagement im Bevölkerungsschutz gearbeitet. In einem ersten Schritt werden hier beispielsweise die Verfahren zur Risikoanalyse Kritischer Infrastrukturen mit denen der Gefahrenabwehrbehörden verknüpft. Ziel ist, den Austausch von Informationen zum Risikomanagement an den Schnittstellen innerhalb und zwischen Ebenen – Verwaltungsebenen oder staatlich- privatwirtschaftlichen Ebenen – zu fördern. Die erfolgreiche Implementierung und Anwendung von Verfahren eines Integrierten Risikomanagements im Bevölkerungsschutz führt insgesamt zu einer Stärkung der Resilienz<sup>49</sup> der Gesellschaft.

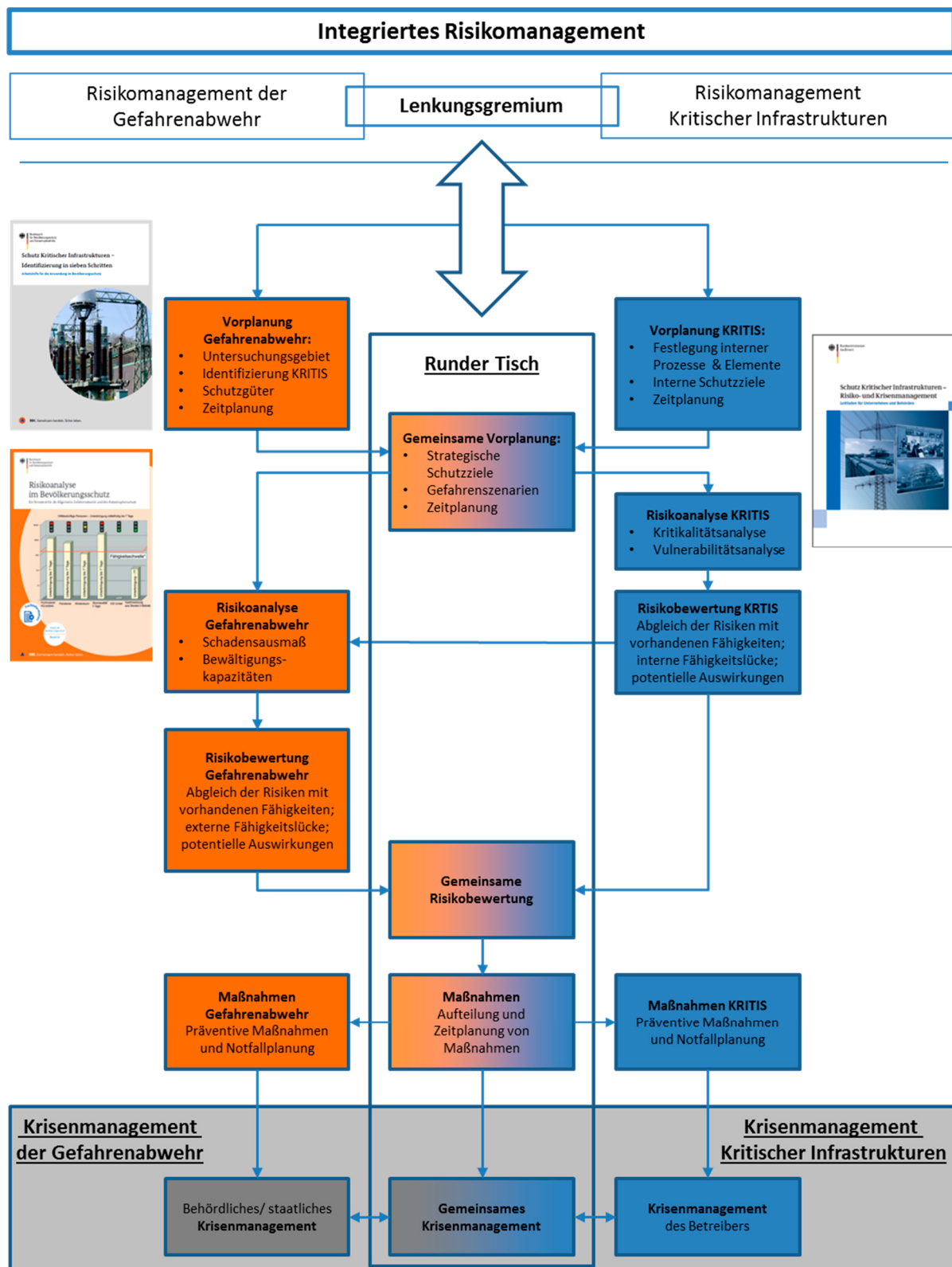
Die folgende Abbildung zeigt, wie im Integrierten Risikomanagement die Methode des Risikomanagements im Bevölkerungsschutz mit der Vorgehensweise des Risikomanagements Kritischer Infrastrukturen verknüpft werden kann, um an den Schnittstellen gezielt relevante Informationen austauschen zu können.

<sup>48</sup> Praxis im Bevölkerungsschutz Band 16: Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz – Ein Stresstest für die Allgemeine Gefahrenabwehr und den Katastrophenschutz, BBK, 2015. Vgl. hierzu auch Deutscher Bundestag (2016): Drucksache 18/10850, S. 18.

<sup>49</sup> Als Resilienz wird die Fähigkeit eines Systems (hier im Speziellen der Gesellschaft), Ereignissen zu widerstehen bzw. sich daran anzupassen und dabei seine Funktionsfähigkeit zu erhalten oder möglichst schnell wieder zu erlangen, verstanden. (vgl. <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/bevoelkerungsschutz/schutz-kritischer-infrastrukturen/schutz-kritischer-infrastrukturen-node.html>, zuletzt abgerufen am 17.10.2017).

Abbildung 3

**Beispielhafte Darstellung der Schnittstellen zwischen der kommunalen nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und Kritischen Infrastrukturen im Integrierten Risikomanagement**



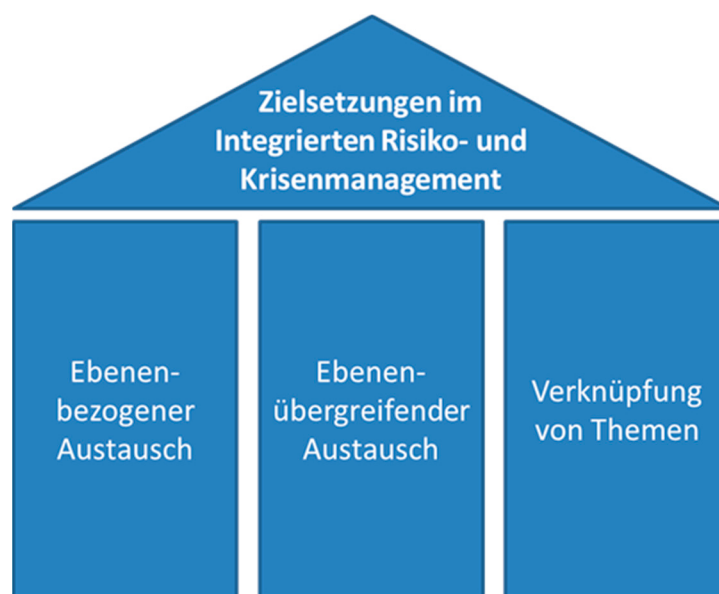
Quelle: BBK

Beispiele auf kommunaler Ebene zeigen, dass das Integrierte Risiko- und Krisenmanagement der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und der in den Kreisen bzw. kreisfreien Städte wichtigen Kritischen Infrastrukturen einen intensiven Austausch von der Vorplanung des jeweiligen Risikomanagements bis zu gemeinsamen Übungen im Rahmen des Krisenmanagements ermöglicht und dadurch einen Mehrwert erbringt. In einem Lenkungsgremium, dessen Zusammensetzung in den jeweiligen Kooperationen festzulegen ist, können Zielvorgaben festgelegt und ein Controlling für den Austausch verankert werden. Hierzu zählt beispielsweise die Einigung auf gemeinsam zu nutzende Szenarien.

In anderen Fällen, beispielsweise in der Zusammenarbeit von Ministerien oder Unternehmen zum Risiko- und Krisenmanagement, findet ein Austausch möglicherweise nur an ausgewählten Schnittstellen statt.

Abbildung 4

### Drei Zielsetzungen im Integrierten Risiko- und Krisenmanagement im Bevölkerungsschutz



Quelle: BBK

Eine enge Verzahnung des Risiko- und Krisenmanagements unterschiedlicher Akteure ermöglicht eine systematische und strukturierte Zusammenarbeit und schafft Synergieeffekte. Relevante Informationen können benannt und ausgetauscht und so Lücken geschlossen werden. Dies ermöglicht die Erarbeitung effektiver und effizienter Notfallpläne im Bevölkerungsschutz und die weitere Stärkung der Zusammenarbeit und gegenseitigen Unterstützung der Akteure im Krisenfall. Das Integrierte Risiko- und Krisenmanagement richtet sich an staatliche Vertreter im Bevölkerungsschutz auf allen administrativen Ebenen sowie an Betreiber Kritischer Infrastrukturen.

Es kann als Beitrag zur Umsetzung gesetzlicher und strategischer Vorgaben verstanden werden. So formuliert die Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen beispielsweise als eines ihrer Kernziele die enge Zusammenarbeit von Betreibern Kritischer Infrastrukturen und staatlichen Akteuren im Bevölkerungsschutz. Zwei Beispiele für erste noch zu erarbeitende Empfehlungen bzw. Leitfäden zur Systematisierung der Zusammenarbeit könnten sein (nicht abschließend!):

- Eine Empfehlung zur Verknüpfung des Risikomanagements der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und der Kritischen Infrastrukturen auf kommunaler Ebene (in Bearbeitung)
- Eine Empfehlung zur intensiveren Verknüpfung der physischen Sicherheit und Cybersicherheit.

Empfehlungen und Leitfäden dieser Art können erheblich zum Zusammenwachsen und zur Harmonisierung der unterschiedlichen Vorgehensweisen im Risiko- und letztlich auch im Krisenmanagement im Bevölkerungsschutz beitragen. Das gesamte Potenzial des Integrierten Risiko- und Krisenmanagements kann allerdings heute

noch nicht erfasst werden. Daher wird das Konzept zukünftig weiter wachsen und sich an den Bedarf der Akteure im Bevölkerungsschutz anpassen.

Wichtig ist, dass die Federführung der Risikoanalysen beim jeweiligen Land bzw. bei der jeweiligen kreisfreien Stadt/dem jeweiligen Landkreis liegt. Im Rahmen der Implementierung der vom BBK entwickelten Methode des Integrierten Risikomanagement, einschließlich der Durchführung von Risikoanalyse auf allen administrativen Ebenen, werden Erkenntnisse gewonnen, die in den Umsetzungsprozess unter Berücksichtigung der Länder- und Bundesinteressen einfließen können.

#### 4. Parallele Entwicklung auf internationaler Ebene

Deutschland misst der Beschäftigung mit der Erarbeitung und Anwendung von Risikoanalysen auf europäischer Ebene große Bedeutung bei. Die bilateralen und multilateralen Aktivitäten der EU-Kommission zum Schutz der Bevölkerung stellen dabei den richtigen Ansatz dar, um die Ziele zum Schutz der Bevölkerung im gesamten Bereich der Europäischen Union unter Wahrung des Subsidiaritätsprinzips zu verankern und den Gedanken der Prävention in ganz Europa zu stärken. Hierzu zählt der Austausch von Informationen und Methoden sowie bewährten Verfahrensweisen. In diesem Kontext arbeitet die Bundesregierung eng mit anderen Mitgliedstaaten sowie mit der Europäischen Kommission zusammen.

Mit Beschluss Nr. 1313/2013/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 über ein Katastrophenschutzverfahren der Union (Unionsverfahren)<sup>50</sup> wurde eine neue Rechtsgrundlage zur gemeinschaftlichen Zusammenarbeit der EU-Mitgliedstaaten im Katastrophenschutz geschaffen. Mit diesem Verfahren wird angestrebt, im Bereich des Katastrophenschutzes die Zusammenarbeit zwischen der Europäischen Union und den Mitgliedstaaten zu verstärken und die Koordinierung zu erleichtern, um die Wirksamkeit der Präventions-, Vorsorge- und Bewältigungssysteme für Naturkatastrophen und vom Menschen verursachte Katastrophen zu verbessern. Gemäß den Artikeln 5 und 6 des Katastrophenschutzverfahrens der Union wurden 2018 u. a. folgende Schritte im Bereich Prävention und Risikomanagement vorangetrieben:

- Gemäß Artikel 6 Buchstabe a des Unionsverfahrens haben die Mitgliedstaaten Risikobewertungen auf nationaler oder geeigneter subnationaler Ebene durchzuführen und der Kommission bis zum 22. Dezember 2015 und danach alle drei Jahre eine Zusammenfassung der einschlägigen Punkte dieser Risikobewertung zur Verfügung zu stellen.<sup>51</sup> Die Vorlage des deutschen Berichtes bei der Europäischen Kommission erfolgte fristgerecht durch das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Im Jahr 2018 erfolgte die Aktualisierung des 2015'er Berichtes in Abstimmung mit den Ländern.
- Neben dem o. g. Bericht an die EU-Kommission haben die Mitgliedsstaaten noch eine weitere Berichtspflicht zu erfüllen: Erstmals war 2018, drei Jahre nach Fertigstellung der entsprechenden Richtlinien durch die EU-Kommission, gemäß Artikel 6 Buchstabe c des Beschlusses 1313/2013/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über ein EU-Katastrophenschutzverfahren ein Bericht zur Bewertung der jeweiligen Risikomanagementfähigkeiten zu fertigen. Eine Neubewertung der Risikomanagementfähigkeiten auf nationaler oder geeigneter subnationaler Ebene wird nach aktueller Rechtslage alle drei Jahre vorzunehmen sein.

Der Bericht des Jahres 2018 zur Bewertung der Risikomanagementfähigkeiten Deutschlands stützt sich auf folgende Schwerpunkte:

1. Das Verständnis von Katastrophenrisiken (u. a. Forschung, Methoden, Schulung, Risikokommunikation),
2. Die Organisation des Katastrophenrisikomanagements (u. a. Zivil- und Katastrophenschutz im föderalen System, Akteure, Strategische Weiterentwicklung),

<sup>50</sup> Amtsblatt der Europäischen Union L 347/924 vom 20.12.2013: Beschluss Nr. 1313/2013/EU Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.12.2013 über ein Katastrophenschutzverfahren der Union.

<sup>51</sup> Auszug, vgl. Amtsblatt der Europäischen Union L 347/924 vom 20.12.2013: Beschluss Nr. 1313/2013/EU Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.12.2013 über ein Katastrophenschutzverfahren der Union:

Artikel 6  
Risikomanagement

Zur Förderung eines wirksamen und kohärenten Ansatzes bei der Katastrophenprävention und -vorsorge durch den Austausch nicht sensibler Informationen, namentlich Informationen, deren Preisgabe nicht den wesentlichen Sicherheitsinteressen der Mitgliedstaaten widersprechen würde, und durch den Austausch bewährter Vorgehensweisen im Rahmen des Unionsverfahrens gehen die Mitgliedstaaten wie folgt vor:

- a) Sie erstellen Risikobewertungen auf nationaler oder geeigneter subnationaler Ebene und stellen der Kommission bis zum 22. Dezember 2015 und danach alle drei Jahre eine Zusammenfassung der einschlägigen Punkte dieser Risikobewertungen zur Verfügung;
- b) sie entwickeln und verfeinern ihre Katastrophenrisikomanagementplanung auf nationaler oder geeigneter subnationaler Ebene;
- c) sie stellen der Kommission nach der endgültigen Erarbeitung der einschlägigen Leitlinien gemäß Artikel 5 Absatz 1 Buchstabe f alle drei Jahre und jedes Mal, wenn bedeutende Änderungen vorliegen, die Bewertung ihrer Risikomanagementfähigkeit auf nationaler oder geeigneter subnationaler Ebene zur Verfügung, und sie nehmen auf freiwilliger Basis an gegenseitigen Begutachtungen der Bewertung ihrer Risikomanagementfähigkeit teil.“

3. Die Förderung von Katastrophenvorsorge (u. a. Instrumente und Investitionen in Katastrophenvorsorge zwischen und innerhalb von Sektoren, Risikotransfer und Absicherung, Verbindungen zwischen nachhaltiger Entwicklung, Klimawandelanpassung und Katastrophenvorsorge),
4. Die Vorbereitung auf den Katastrophenfall (u. a. Frühwarnung und Risikoüberwachung, Notfallvorsorge, Integrierung von Prävention in Rehabilitierungs- und Wiederaufbaumaßnahmen).

Damit orientiert sich der Bericht in seiner Struktur an den vier Handlungsprioritäten des Sendai Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge (2015-2030). Das Sendai Rahmenwerk stellt einen praktischen und sektorübergreifenden Leitfaden für integriertes Katastrophenrisikomanagement und zur Stärkung der Resilienz dar. Dabei gehören die regelmäßige Analyse und Bewertung von Katastrophenrisiken<sup>52</sup> sowie der technischen, finanziellen und administrativen Kapazitäten im Bereich des Managements von Katastrophenrisiken<sup>53</sup> zu konkreten Maßnahmen des Rahmenwerks. Im Rahmen der Umsetzung des Sendai Rahmenwerks in Deutschland werden existierende Fähigkeiten und Prozesse erfasst, um Maßnahmen für eine stetige Verbesserung des Katastrophenrisikomanagements zu identifizieren und sie in einer nationalen Umsetzungsstrategie zusammenzufassen.

Die Synergien, die sich aus dem Umsetzungsprozess des Sendai Rahmenwerkes in Deutschland und der Bewertung der Risikomanagementfähigkeiten im Zuge des Katastrophenschutzverfahrens der Europäischen Union ergeben, wurden mithin für die Erstellung des o. g. Berichts gemäß Artikel 6 Buchstabe c des Beschlusses 1313/2013/EU genutzt.

Der Bericht wurde am 9. November 2018 der EU-Kommission vorgelegt.

---

<sup>52</sup> Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge (2015-2030), Handlungspriorität 1, Absatz 24.

<sup>53</sup> Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge (2015-2030), Handlungspriorität 2, Absatz 27.

## 5. Ausblick

Die Risikoanalyse geht der Frage nach „Mit welchen Gefahren/Ereignissen müssen wir in Deutschland rechnen?“. Die Risikoanalyse des Bundes wird auch künftig ressortübergreifend und unter Einbindung aller relevanten Geschäftsbereichsbehörden und der Einbindung von weiteren Behörden und Experten von Bund, Länder und der Wirtschaft erfolgen. So wird sichergestellt, dass vorhandene Erkenntnisse und Expertise gebündelt und gemeinsam abgestimmte Aussagen aus Bundessicht getroffen werden. Gerade die Beschäftigung mit solch gleichermaßen außergewöhnlichen wie plausiblen Ereignissen und ihren möglichen Konsequenzen ist wichtig, da sie die Gefahrenabwehr und das deutsche Hilfeleistungssystem in bislang noch nicht dagewesener Form herausfordern könnten. Gleichwohl dürfen die analysierten Szenarien nicht im Sinne einer Prognose (miss)verstanden werden, denn ob und wann ein solches Ereignis tatsächlich so oder in vergleichbarer Form eintreten wird, ist grundsätzlich nicht vorhersagbar.

Die Frage „Ist der deutsche Bevölkerungsschutz angemessen vorbereitet?“ kann ohne Darstellung der Landesseite nicht abschließend beantwortet werden. Die vorgestellten Ergebnisse aus Bundessicht können jedoch als Ausgangspunkt und Basis für eine notwendige Konkretisierung unter Einbeziehung der Länder und z. B. Betreibern Kritischer Infrastrukturen genutzt werden. Damit sind Grundlagen für eine derzeit noch ausstehende, gemeinsame fachliche Risikobewertung von Bund und Ländern geschaffen.

Letztendlich ist auf den administrativ-politisch verantwortlichen Ebenen, insbesondere auch im Parlament im Rahmen einer unverzichtbaren politischen Risikobewertung zu entscheiden, wie mit identifizierten Fähigkeitslücken und damit verbundenem Handlungsbedarf verfahren werden soll.

**Quellenverweis**

Amtsblatt der Europäischen Union L 347/924 vom 20.12.2013: Beschluss Nr. 1313/2013/EU Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.12.2013 über ein Katastrophenschutzverfahren der Union.

Bericht 751 der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat (2016): Jahresbericht über die Strategien der Europäischen Union für humanitäre Hilfe und Katastrophenschutz und deren Umsetzung im Jahr 2015.

Blauhut, V., & K Stahl. (2018). Risikomanagment von Dürren in Deutschland: von der Messung von Auswirkungen zur Modellierung. In N. Schütze, & et. al, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. H 39.18.Tagungsband zum Tag der Hyydrologie 2018 (S. 203-213).

Brasseur, G., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer; Umweltbundesamt (UBA) (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_24\\_2015\\_vulnerabilitaet\\_deutschlands\\_gegenueber\\_dem\\_klimawandel\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.). (2018). BBK-Glossar: Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes. Bundesamt für Bevölkerungsschutz. Abgerufen am 12.12.2018 von  
[https://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/Glossar\\_2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/Glossar_2018.pdf?__blob=publicationFile)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2016). Klimawandel – Herausforderung für den Bevölkerungsschutz. Praxis im Bevölkerungsschutz. Band 5. Abgerufen am 07. 12 2018 von  
[http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevoelkerungsschutz/Band\\_5\\_Praxis\\_BS\\_Klimawandel\\_Herausforderung\\_f\\_BS.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevoelkerungsschutz/Band_5_Praxis_BS_Klimawandel_Herausforderung_f_BS.pdf?__blob=publicationFile)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2016) Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz – Ein Stresstest für die Allgemeine Gefahrenabwehr u. den Katastrophenschutz). In: Praxis im Bevölkerungsschutz, Bd. 16. Abgerufen am 12.12.2018 von  
[https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevoelkerungsschutz/Band\\_16\\_Risikoanalyse\\_im\\_BS.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevoelkerungsschutz/Band_16_Risikoanalyse_im_BS.pdf?__blob=publicationFile)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2016) : Sicherheit der Trinkwasserversorgung. Teil 1: Risikoanalyse. Praxis im Bevölkerungsschutz Band 16. Bonn.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (in Vorbereitung) : Sicherheit der Trinkwasserversorgung. Teil 2: Risikoanalyse. Praxis im Bevölkerungsschutz Band 16. Bonn.

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.) (2009): Nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). Berlin.

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.) (2016): Konzeption Zivile Verteidigung (KZV). Abgerufen am 12.12.2018 von  
[https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/bevoelkerungsschutz/konzeption-zivile-verteidigung.pdf;jsessionid=193AD870E330885B9D32E2DBC08AAAE5.2\\_cid364?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/bevoelkerungsschutz/konzeption-zivile-verteidigung.pdf;jsessionid=193AD870E330885B9D32E2DBC08AAAE5.2_cid364?__blob=publicationFile&v=1)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) 2017. Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Abgerufen am 12.12.2018 von  
[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/hap\\_handlungsempfehlungen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/hap_handlungsempfehlungen_bf.pdf)

Bundesministerium der Verteidigung (Hrsg.) (2016): Weißbuch 2016 zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr. Berlin

Bundesministerium der Verteidigung (Hrsg.) (2018): Konzeption der Bundeswehr. Berlin

Deutscher Städtetag. (2012). Positionspapier: Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte. Deutsche Städtetag.

Deutscher Bundestag (2010): Drucksache 17/4178.

Deutscher Bundestag (2011): Drucksache 17/8250.

Deutscher Bundestag (2012): Plenarprotokoll 17/162.

Deutscher Bundestag (2013a): Drucksache 17/12051.

Deutscher Bundestag (2013b): Drucksache 18/208.

Deutscher Bundestag (2014): Drucksache 18/3682.

Deutscher Bundestag (2015): Drucksache 18/7209.

Deutscher Bundestag (2016): Drucksache 18/10850.

Deutscher Städtetag (2012): Positionspapier Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte. Köln

Die Bundesregierung (Hrsg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin. Abgerufen am 29.01.2019 von [https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf)

Die Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin. Abgerufen am 29.01.2019 von [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimawandel\\_das\\_fortschrittsbericht\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf)

DIN EN 15975-1 „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil I: Krisenmanagement.

DIN EN 15975-2. (2013). Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil II: Risikomanagement.

Deutscher Wetterdienst (o.D.). Waldbrand Gefahrenindex WBI. Abgerufen am 07. 12 2018 von Wettergefahren: <http://www.wettergefahren.de/warnungen/indizes/waldbrand.html>.

Eis, D., Helm, D., Laußmann, D., & Stark, K. (2010). Klimawandel und Gesundheit. Ein Sachstandsbericht. Robert-Koch Institut (RKI) (Hrsg.) Abgerufen am 06. 12 2018 von [https://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?__blob=publicationFile)

Hanl, A. et al. (2018). Waldbrände in Deutschland. Ein Diskussionsbeitrag zur Vorbereitung auf Vegetationsbrände. Brandschutz Jg. 72, S. 756-760.

IPCC (2013): Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge

LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder. Abgerufen am 07. 12 2018 von Länderfinanzierungsprogramm Wasser, Boden & Abfall : [http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb\\_prod/WaBoAb/Vorhaben/Sonstige/K\\_1.17/20171221\\_lawa-bericht\\_hydron.pdf](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/Sonstige/K_1.17/20171221_lawa-bericht_hydron.pdf)

LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017). Entwurf Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch, Teil C.

- LfU BY Landesamt für Umwelt. Bayern. (2016). Niedrigwasser in Bayern. Grundlagen, Veränderungen und Auswirkungen. UmweltSpezial. Abgerufen am 07. 12 2018 von <https://www.nid.bayern.de/files/docs/niedrigwasserbericht.pdf>
- o.V. dpa. (2018) in Westdeutsche Zeitung. Bericht: Deutschland fehlt Ausrüstung zur Waldbrandbekämpfung. Abgerufen am 12.12.2018 von [https://www.wz.de/nrw/deutschland-fehlt-ausruestung-zur-waldbrandbekaempfung\\_aid-25134325](https://www.wz.de/nrw/deutschland-fehlt-ausruestung-zur-waldbrandbekaempfung_aid-25134325)
- Robert Koch Institut (2010): Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht. Berlin
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., & P. Barbosa (2016). Meteorological Droughts in Europe. Events and Impacts. Past Trends and Future Projections. Abgerufen am 06. 12 2018 von The European Commission's science and knowledge service: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/meteorological-droughts-europe-events-and-impacts-past-trends-and-future-projections>
- Schönwiese, C., Staeger, T., Trömel, S. (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. Meteorologische Zeitschrift, Vol.13, No. 4, 323-327.
- Stadtwiki Karlsruhe (2018).Rheinhafendampfkraftwerk. Abgerufen am 12.12.2018 von <https://ka.stadtwiki.net/Rheinhafendampfkraftwerk>.
- Svoboda, M., & Fuchs, B. (2016). <http://www.droughtmanagement.info/>. Abgerufen am 05.12.2018 von [http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP\\_Handbook\\_of\\_Drought\\_Indicators\\_and\\_Indices\\_2016.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf)
- Umweltbundesamt (Hrsg) (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel.
- Umweltbundesamt u. Robert Koch Institut (2013): Klimawandel und Gesundheit – Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland.
- Vereinte Nationen, Generalversammlung (2015). Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge (2015 – 2030), Handlungspriorität 1, Absatz 24.
- Vereinte Nationen, Generalversammlung (2015). Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge (2015 – 2030), Handlungspriorität 2, Absatz 27.
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2008): Heat-Health Action Plans.
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2009): Improving Public Health Responses To Extreme Weather/Heat-Waves.
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2011) Public Health Advice on preventing health effects of heat. New and updated information for different audiences.

## **Risikoanalyse Bevölkerungsschutz Bund**

### **Risikoanalyse Dürre**

Stand: 12.12.2018

Die Risikoanalyse „Dürre“ wurde unter Mitwirkung folgender Bundesbehörden erstellt:

- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)
- Bundesamt für Naturschutz (BfN)
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), fachlich federführende Behörde
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW)
- Deutscher Wetterdienst (DWD), fachlich federführende Behörde
- Kommando Streitkräftebasis (KdoSKB)
- Planungsamt der Bundeswehr (PlgABw)
- Umweltbundesamt (UBA)
- Robert-Koch-Institut (RKI)
- Julius-Kühn-Institut (JKI)

Des Weiteren wirkten bei der Erstellung der Risikoanalyse mit:

- Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V. (ATT)
- Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)
- Deutsche Vereinigung Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA)

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                     | Seite |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> .....                                  | 41    |
| <b>Tabellenverzeichnis</b> .....                                    | 42    |
| <b>Ergebnisse der Risikoanalyse im Überblick</b> .....              | 43    |
| <b>Vorbemerkung</b> .....                                           | 45    |
| <b>I. Szenario</b> .....                                            | 46    |
| 1. Definition der Gefahr/Ereignisart. ....                          | 48    |
| 2. Beschreibung des Ereignisses .....                               | 49    |
| 2.1 Auftretensort/Räumliche Ausdehnung/Betroffene Bevölkerung ..... | 49    |
| 2.2 Zeitpunkt .....                                                 | 49    |
| 2.3 Auslösende Ereignisse .....                                     | 49    |
| 2.4 Intensität, Verlauf und Dauer .....                             | 50    |
| 2.5 Vorhersagbarkeit/Vorwarnung/Kommunikation .....                 | 58    |
| 2.6 Zuständigkeiten und Maßnahmen von Behörden und Betreibern ..... | 58    |
| 2.7 Bevölkerung .....                                               | 60    |
| 3. Auswirkungen auf KRITIS/Versorgung .....                         | 61    |
| 4. Referenzereignisse .....                                         | 86    |
| <b>II. Eintrittswahrscheinlichkeit</b> .....                        | 91    |
| <b>III. Schadensausmaß</b> .....                                    | 92    |
| <b>IV. Leistungen des Bundes</b> .....                              | 115   |
| a. Ausstattung .....                                                | 115   |
| b. Weitere Unterstützungsleistungen .....                           | 115   |
| c. Beratungsleistungen: Vorhersage u. Monitoring .....              | 116   |
| <b>V. Betroffene Handlungsfelder</b> .....                          | 119   |
| • Trinkwasserversorgung .....                                       | 119   |
| • Talsperren- und Speichermanagement .....                          | 120   |
| • Öffentliche Abwasserbeseitigung .....                             | 121   |

|                                                                          | Seite      |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| • Gefahrenabwehr.....                                                    | 121        |
| • Krisenkommunikation.....                                               | 122        |
| • Forschung.....                                                         | 122        |
| • Energieversorgung .....                                                | 123        |
| • Gesundheitssystem.....                                                 | 123        |
| • Umwelt.....                                                            | 124        |
| • Verkehr und Wirtschaft.....                                            | 126        |
| • Ernährungssektor .....                                                 | 127        |
| <b>VI Trends.....</b>                                                    | <b>129</b> |
| <b>VII. Literatur und weiterführende Informationen.....</b>              | <b>131</b> |
| <b>Anhang A: Herleitung der Auswirkungen auf die Landwirtschaft.....</b> | <b>140</b> |

**Abbildungsverzeichnis**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Abbildung 1: Unter Annahme des Dürreszenarios simulierte Abflussganglinien für den Mittelrheinpegel Kaub .....                                                                                                                                                                                  | 53    |
| Abbildung 2: Mit meteorologischen Beobachtungsdaten und unter Annahme des Dürreszenarios simulierte aufsummierte jährliche rundwasserneubildungsraten für die großen Stromgebiete Deutschlands.....                                                                                             | 54    |
| Abbildung 3: Gebietsmittel für Deutschland für den monatlichen Niederschlag im Szenario und für vieljährige Mittelwerte von 1981 bis 2010 .....                                                                                                                                                 | 55    |
| Abbildung 4: Aggregiertes Niederschlagsdefizit des Gebietsmittels für Deutschland im Szenario .....                                                                                                                                                                                             | 56    |
| Abbildung 5: Gebietsmittel für Deutschland der Mitteltemperatur im Szenario und die vieljährigen Mittelwerte von 1981 bis 2010 .....                                                                                                                                                            | 57    |
| Abbildung 6: Transporte flüssiger Mineralölerzeugnisse per Bahn und Binnenschiff .....                                                                                                                                                                                                          | 64    |
| Abbildung 7: Transportaufkommen Binnenschiff 2014.....                                                                                                                                                                                                                                          | 69    |
| Abbildung 8: Transportaufkommen Bahn und Binnenschiff 2014.....                                                                                                                                                                                                                                 | 70    |
| Abbildung 9: Transportaufkommen der Bahn, Binnenschiff und Straße 2014.....                                                                                                                                                                                                                     | 71    |
| Abbildung 10: Wassergewinnung in Deutschland.....                                                                                                                                                                                                                                               | 74    |
| Abbildung 11: Beispiel für den Verlauf von täglichen Abflussganglinien in extremen Niedrigwasserjahren am Pegel Köln.....                                                                                                                                                                       | 88    |
| Abbildung 12: Abschätzung der Volkswirtschaftlichen Bedeutung von Verkehrsinfrastrukturen auf Basis der Bruttowertschöpfung (BWS).....                                                                                                                                                          | 104   |
| Abbildung 13: Mittlere Anzahl von Trockenperioden (mindestens 10 aufeinanderfolgende Trockentage) in den meteorologischen Sommermonaten (Juni, Juli, August) und Änderungssignal für die Projektionszeiträume (nahe Zukunft: 2021-2050; ferne Zukunft: 2071-2100) gegenüber der Gegenwart ..... | 129   |

**Tabellenverzeichnis**

|                                                                                                                  | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabelle 1: Überblick Schadensausmaß .....                                                                        | 44    |
| Tabelle 2: Zugeordnete Schadensausmaß-Klassen.....                                                               | 44    |
| Tabelle 3: Entwicklung der Wasserbilanz von Deutschland in<br>den Jahren 2011 bis 2015 .....                     | 47    |
| Tabelle 4: Kennzahlen der Kälte- und Hitzewelle<br>im 6. Szenariojahr.....                                       | 52    |
| Tabelle 5: Eigengewinnung und Fremdbezug von Wasser durch<br>nichtöffentliche Betriebe 2013 in Deutschland ..... | 80    |
| Tabelle 6: Niederschlags- und Erntedaten wichtiger<br>Ackerkulturen .....                                        | 82    |
| Tabelle 7: Dürreindex des vom DWD betriebenen Weltzentrums<br>für Niederschlagsklimatologie.....                 | 86    |
| Tabelle 8: Vergleich bundesweit relevanter Niedrigwasserereignisse<br>im 20. und 21. Jahrhundert .....           | 89    |
| Tabelle 9: Gütergruppen der Input-Output-Rechnung.....                                                           | 106   |

**Ergebnis der Risikoanalyse im Überblick****Eintrittswahrscheinlichkeit**

Die Eintrittswahrscheinlichkeit des der Risikoanalyse zugrunde liegenden Ereignisses wird der Klasse C (bedingt wahrscheinlich) zugeordnet. Es handelt sich um ein Ereignis, dass statistisch in der Regel einmal in einem Zeitraum von 100 bis 1.000 Jahren auftritt.

**Schadensausmaß**

Tabelle 1

**Überblick Schadensausmaß**

Zuordnungen der jeweiligen Schadensausmaß-Klasse gemäß aktueller Klassifikation des Schadensausmaßes für die Risikoanalyse Bevölkerungsschutz Bund  
(Vgl. Kapitel III. Schadensausmaß)

| Schutzgut                    | Schadensparameter |                                                         | Schadensausmaß |   |   |   |   |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------|----------------|---|---|---|---|
|                              |                   |                                                         | A              | B | C | D | E |
| <b>MENSCH</b>                | M <sub>1</sub>    | Tote                                                    |                |   |   |   |   |
|                              | M <sub>2</sub>    | Verletzte, Erkrankte                                    |                |   |   |   |   |
|                              | M <sub>3</sub>    | Hilfebedürftige                                         |                |   |   |   |   |
|                              | M <sub>4</sub>    | Vermisste                                               |                |   |   |   |   |
| <b>UMWELT</b>                | U <sub>1</sub>    | Schädigung geschützter Gebiete                          |                |   |   |   |   |
|                              | U <sub>2</sub>    | Schädigung von Oberflächengewässern/Grundwasser         |                |   |   |   |   |
|                              | U <sub>3</sub>    | Schädigung von Waldflächen                              |                |   |   |   |   |
|                              | U <sub>4</sub>    | Schädigung landwirtschaftlicher Nutzfläche              |                |   |   |   |   |
|                              | U <sub>5</sub>    | Schädigung von Nutztieren                               |                |   |   |   |   |
| <b>VOLKS-<br/>WIRTSCHAFT</b> | V <sub>1</sub>    | Auswirkungen auf die öffentliche Hand                   |                |   |   |   |   |
|                              | V <sub>2</sub>    | Auswirkungen auf die private Wirtschaft                 |                |   |   |   |   |
|                              | V <sub>3</sub>    | Auswirkungen auf die privaten Haushalte                 |                |   |   |   |   |
| <b>IMMATERIELL</b>           | I <sub>1</sub>    | Auswirkungen auf die öffentliche Sicherheit und Ordnung |                |   |   |   |   |
|                              | I <sub>2</sub>    | Politische Auswirkungen                                 |                |   |   |   |   |
|                              | I <sub>3</sub>    | Psychosoziale Auswirkungen                              |                |   |   |   |   |
|                              | I <sub>4</sub>    | Schädigung von Kulturgut                                |                |   |   |   |   |

Quelle: BBK

Tabelle 2

**Zugeordnete Schadensausmaß-Klassen**

| Schutzgut                    | Schadensausmaß-Klasse |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MENSCH</b>                | M <sub>1</sub>        | D: > 1.000 - 10.000 Tote                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                              | M <sub>2</sub>        | k.A.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                              | M <sub>3</sub>        | B: ≤ 100.000 Hilfebedürftige für ≤ 1 Woche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                              | M <sub>4</sub>        | A: ≤ 10 Vermisste                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>UMWELT</b>                | U <sub>1</sub>        | D: > 0,5% - 5% der Gesamtfläche der geschützten Gebiete geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                              | U <sub>2</sub>        | D: > 1% - 10% der Gesamtfläche der Oberflächengewässer/des Grundwassers geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                              | U <sub>3</sub>        | D: > 1% - 10% der gesamten Waldfläche geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                              | U <sub>4</sub>        | D: > 1% - 10% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                              | U <sub>5</sub>        | A: ≤ 1.500 Großvieheinheiten geschädigt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>VOLKS-<br/>WIRTSCHAFT</b> | V <sub>1</sub>        | B: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die öffentliche Hand können zum größten Teil durch das betroffene Land/die betroffenen Länder getragen werden. Umschichtungen im Haushalt können den Mittelbedarf abdecken. Einige Maßnahmen des Bundes werden beschleunigt bzw. vorgezogen.                                                                                                                                                                                        |
|                              | V <sub>2</sub>        | C: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die Privatwirtschaft haben einen überregionalen Umfang und ein Teil der betroffenen Unternehmen kann diese nicht aus eigener Kraft tragen. Kurz- bis mittelfristige Umsatzausfälle sind für die betroffenen Branchen bzw. Firmen zu erwarten. Einige Firmen gehen in die Insolvenz, weitere Firmen sind von Insolvenz bedroht; In einigen Branchen sind kurzfristige und überregionale Auswirkungen (Zulieferfirmen) festzustellen. |
|                              | V <sub>3</sub>        | B: > 4.000 - 40.000 Haushalte betroffen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>IMMATERIELL</b>           | I <sub>1</sub>        | B: Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist auf regionaler Ebene nur mit leicht erhöhtem Aufwand möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                              | I <sub>2</sub>        | D: Große politische Auswirkungen bis auf Bundesebene                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                              | I <sub>3</sub>        | A: ≤ 100.000 Personen betroffen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                              | I <sub>4</sub>        | A: ≤ 0,05% der als Kulturgut gemäß Haager Konvention gekennzeichneten Bauwerke beschädigt/zerstört                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Quelle: BBK

**Vorbemerkung**

Die vorliegende Risikoanalyse ist als fachliche Bestandsaufnahme dessen zu verstehen, womit bei Eintreten des hier angenommenen Ereignisses in Deutschland aus Sicht des Bevölkerungsschutzes zu rechnen ist. Sie nimmt keine politische Bewertung des damit verbundenen Risikos oder zu ergreifender Maßnahmen vorweg. Sie bildet vielmehr den Ausgangspunkt für die Entscheidung über den Umgang mit identifizierten Defiziten und erkanntem Handlungsbedarf sowie für den notwendigen Diskurs der Risikobewertung in Politik und Gesellschaft. Ausgehend von den hier vorgelegten Erkenntnissen muss folglich auch eine Risikobewertung durch die administrativ-politisch Verantwortlichen erfolgen. Es gilt zu prüfen, ob die vorhandenen Fähigkeiten zum Schutz der Bevölkerung und ihrer Lebensgrundlagen angemessen sind. Daraus sind Handlungsbedarfe und Maßnahmen des Bevölkerungsschutzes abzuleiten.

Mit dem Bezugsgebiet „Bundesrepublik Deutschland“ hat die Risikoanalyse ein äußerst komplexes und in vielerlei Hinsicht (z. B. geographisch, sozio-demographisch) heterogenes System zum Gegenstand ihrer Untersuchung. Daher ist einerseits eine ausreichend konkrete Ausarbeitung des Szenarios notwendig, um die zu erwartenden Auswirkungen des angenommenen Ereignisses auf die unterschiedlichen Schutzgüter (Mensch, Umwelt, Volkswirtschaft, Immateriell) belastbar abschätzen zu können. Andererseits ist eine generisch-abstrakte Betrachtung in angemessen grober räumlicher Auflösung aus Bundesperspektive angezeigt. Eine konkretere Abschätzung dazu, welche Schäden, Ausfälle oder Störungen auf kleinräumigerer Ebene vor Ort zu erwarten wären, kann nur auf der jeweiligen administrativen Ebene im eigenen Zuständigkeitsbereich ermittelt werden. Das Szenario der vorliegenden Risikoanalyse kann hierfür als Ausgangspunkt und Informationsgrundlage verwendet werden.

Die vorliegende Risikoanalyse befasst sich mit den Auswirkungen eines Dürreszenarios für Deutschland. Hierbei stehen insbesondere die Auswirkungen auf die (Trink-)Wasserversorgung der Bevölkerung im Fokus der Betrachtungen.

## I. Szenario

### Aktualität und Hintergrund

Die mittlere Niederschlagsmenge in Deutschland liegt bei 800 mm pro Jahr. Die Erfahrung zeigt, dass die tatsächliche Niederschlagsmenge von Jahr zu Jahr schwankt. Die Natur und Infrastruktur sind bis zu einem bestimmten Maß an mehr oder weniger Niederschlag als im Mittel angepasst. Liegt ein Ereignis jedoch außerhalb dieses Anpassungsbereiches kommt es zu Problemen, wie zum Beispiel einer Dürre bei zu wenig Niederschlag. Bereits viele Monate in den Jahren 2015 bis Mitte 2017 wiesen neben übernormal hohen Temperaturen auch deutlich unternormale Niederschläge auf, so dass in diesem Zeitraum ausgeprägte Niedrigwasserphasen in den Flüssen auftraten. Erst in der zweiten Jahreshälfte 2017 bis hin zum Januar 2018 kam es zunächst zu einer Entspannung der Niedrigwassersituation. Nach diesem zu feuchten Januar zeichnen sich die darauffolgenden Monate wiederum durch deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen aus. Weiterhin lagen die Monatsmitteltemperaturen von April 2018 bis einschließlich November 2018) über den vieljährigen Mittelwerten. Analysen des DWD zeigen, dass der Sommer 2018 (Juni, Juli, August) im Deutschlandmittel der zweitwärmste (nach 2003) und zweitrockenste (nach 1911) seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen 1881 war. Eine detaillierte Auswertung des DWD zum Sommer 2018 wurde am 6. September 2018 veröffentlicht.<sup>54</sup> Die Niederschlagsarmut und die zu warmen Temperaturen setzten sich auch zumindest bis zur Erstellung der vorliegenden Analyse fort. Bedingt durch die überdurchschnittliche Temperatur im Zusammenhang mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen kam es im Sommer und Herbst 2018 zu Ernteausfällen, Waldbränden und -schäden, niedrigen Pegelständen der Flüsse und Talsperren mit starker Einschränkung der Binnenschifffahrt sowie des Fährbetriebes und lokal (Festgesteinsbereiche der Mittelgebirgsregionen) zu Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung. In Folge der Beeinträchtigung der Binnenschifffahrt kam es auch bereits zu wirtschaftlichen Beeinträchtigungen einiger Wirtschaftssektoren (Reedereien, Häfen, Erdölversorgung mit steigenden Erdölpreisen, chemische Industrie). Auch muss davon ausgegangen werden, dass die von der Wasserkraft abhängigen Energieversorgungsbereiche Beeinträchtigungen und wirtschaftliche Einbußen erlitten haben und einige lokale Fischpopulationen während des Augusts aufgrund von verhältnismäßig hohen Temperaturen der Oberflächengewässer Stress ausgesetzt waren.

Die aktuellen Ereignisse decken sich gut mit den Annahmen zum Beginn des Szenarios, wobei zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vorhergesagt werden kann, wann die aktuelle Dürrephase enden wird. Das Szenario sieht eine Dürre von sechs Jahren vor, was in der gewählten Länge, Intensität und vor allem Komplexität durch die Integration einer Kälte- und Hitzewelle außergewöhnlich aber nicht unrealistisch ist.

Die Vorjahre (hier Wasserbilanzgrößen seit dem Jahr 2011, vgl. Tabelle 3) und das aktuelle Jahr 2018 zeigen, dass eine Dürre als schleichendes Ereignis eintritt und als solches erst erkannt wird, wenn es bereits eingetreten ist. Durch den allmählichen Beginn und die große betroffene Fläche zählen Dürren deshalb zu den schadensträchtigsten Naturkatastrophen<sup>55</sup>, die aber im Vergleich zu kleinräumigeren und kürzer andauernden Ereignissen wie Hochwasser oder Stürmen nur wenig mediale Aufmerksamkeit erzeugen. Da Dürreereignisse im Verhältnis zu Hochwasser/Sturzfluten und Stürmen seltener auftreten fehlt es an kontinuierlicher Erfahrung im Umgang mit ihnen. Dies macht eine theoretische Vorbereitung auf Dürreereignisse umso wichtiger.

Die aktuelle Dürre des Jahres 2018 hat bereits bedeutende Beeinträchtigungen und Schäden in verschiedenen Bereichen gezeigt. Aus der Betrachtung langer historischer Zeitreihen lässt sich aber ableiten, dass derartige Trockenjahre durchaus auch mehrere Jahre hintereinander eintreten können. Damit erhöhen sich die Schadenspotenziale in den verschiedenen Bereichen, die derzeit unter heutigen aktuellen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen nur in Form eines entsprechenden Szenarios im Rahmen der vorgelegten Risikoanalyse aufgezeigt werden können.

Das Szenario dient damit als Leitlinie, um ein in der Praxis durchaus eintreten könnendes Ereignis theoretisch zu analysieren und notwendige Reaktionen durchspielen zu können. Es lehnt sich an reale Gegebenheiten an, verschärft diese allerdings im Vergleich zu bereits eingetretenen Ereignissen, unter realistischen Annahmen.

<sup>54</sup> Vgl. F. Imbery (2018).

<sup>55</sup> Vgl. WMO & GWP (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices. Abgerufen am 05.12.2018 von [http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP\\_Handbook\\_of\\_Drought\\_Indicators\\_and\\_Indices\\_2016.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf).

Tabelle 3

**Entwicklung der Wasserbilanz von Deutschland in den Jahren 2011 bis 2015  
im Vergleich zum vieljährigen Mittel 1961 bis 1990**

(Die Jahre 2016 bis 2018 befinden sich aktuell in Bearbeitung)

**Wasserbilanz für Deutschland**

| Wasserhaushaltsgrößen<br>in Milliarden Kubikmeter (Mrd. m <sup>3</sup> )* | Mittelwert **<br>1961–1990 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| Niederschlag                                                              | 278                        | 257  | 272  | 276  | 257  | 249  |
| Zufluss von Oberliegern                                                   | 71                         | 55   | 75   | 80   | 64   | 60   |
| Gebietsbürtiger Abfluss oberirdisch vom<br>Bundesgebiet***                | 106                        | 103  | 95   | 118  | 79   | 83   |
| Verdunstung                                                               | 165                        | 187  | 183  | 180  | 195  | 182  |
| Erneuerbare Wasserressourcen                                              | 188                        | 130  | 169  | 181  | 131  | 132  |

Quelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Mitteilung vom 9.12.2016

\* Werte gerundet

\*\* Vieljähriger Mittelwert und Einzeljahre auf der Grundlage unkorrigierter Stationsniederschläge

\*\*\* ermittelt aus Abflussbilanz

Diesem Grundsatz folgend wurde eine der extremsten bisher erfahrenen Dürren in Deutschland aus den Jahren 1971 bis 1976, für die meteorologische und hydrologische Beobachtungsdaten vorliegen, als Grundlage für ein denkbares Extremereignis („reasonable worst case“) herangezogen und für die vorliegende Risikoanalyse wie folgt angepasst:

Die Niederschlagsmenge für die sechs Szenariojahre wurde im Verhältnis zu den Referenzjahren (1971 bis 1976) um 25 % reduziert. Zusätzlich wurde die Mitteltemperatur um 1 °C erhöht, um dem Einfluss des Klimawandels und der damit verbundenen Temperaturerhöhung Rechnung zu tragen. Wetterlagen, die zu einer Dürre führen, können auch zu Hitze- und Kälteperioden führen. Dazu wurde im sechsten Jahr des Szenarios, basierend auf den Daten von 1976, die Tagesmitteltemperatur im gesamten Februar um 5 °C reduziert und im Monat August um 6 °C erhöht.

Die Plausibilität des Szenarios zeigt sich in der weitgehenden Übereinstimmung der meteorologischen Beobachtungen vom ersten Szenariojahr mit denen im Jahr 2018. Allerdings dauert das Dürreereignis im Szenario über einen Zeitraum von sechs Jahren an. Im Gegensatz dazu kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht verlässlich abgeschätzt werden, wann die aktuelle Dürre zu Ende sein wird. Allerdings ist eine Dauer von sechs Jahren nicht unrealistisch, da, wie oben erwähnt, die Trockenperiode in Deutschland seit mindestens 2015 andauert.<sup>56</sup>

<sup>56</sup> Bereits 2014 traten mehrere Monate mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen auf.

**1. Definition der Gefahr/Ereignisart**

Unter Dürre wird ein Mangel an Wasser verstanden. Dieser kann auf verschiedenen Ursachen beruhen:

- weniger Niederschlag als üblich,
- mehr Verdunstung als üblich durch höhere Temperaturen/Einstrahlung und/oder mehr Wind und/oder trockenere Luft (bei sommerlicher Dürre),
- anhaltend niedrige Temperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt bei gleichzeitig hoher Ausstrahlung mit Gefrieren von Fließgewässern, Seen und Kanälen (bei winterlicher Dürre),
- die Kombination der vorgenannten Punkte.

Je nach Dauer der Dürre unterscheidet man:

- Meteorologische Dürre (mindestens ein bis zwei Monate trockener als üblich),
- Landwirtschaftliche Dürre (zwei Monate und länger trocken, geringe Bodenfeuchte, Ernteeinbußen),
- Hydrologische Dürre (ab vier Monaten, Tiefstand der Grundwasser- und Pegelstände der Flüsse und Stehgewässer (Seen, Talsperren),
- Sozio-ökonomische Dürre (ab einem Jahr, Wassermangel bremst produzierende Wirtschaft),
- sowie weitere Einteilungen und Bezeichnungen.

Zur Detektion einer Dürre wird die gemessene Niederschlagsmenge und/oder klimatische Wasserbilanz (z. B. Verhältnis von Niederschlagsmenge zu potentieller Evapotranspiration<sup>57</sup>) gegen die Verteilung der vieljährigen Mittelwerte davon verglichen. Es gibt zahlreiche Dürreindizes, die diese Variablen in verschiedenen Kombination und Andauern anordnen.<sup>58</sup>

**Hinweis: Unterschied Dürre und Aridität**

Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Dürre und Aridität. Dürre ist ein vorübergehender Mangel an Wasser, also ein zeitlich begrenzter Zustand. Aridität ist eine konstante Klimaeigenschaft, die auf geografische Räume zutrifft, die im Mittel geringe Niederschlagsmengen (weniger als 200 Millimeter pro Jahr) aufweisen. Dies trifft für den mitteleuropäischen Raum jedoch nicht zu.

Dürren in Mitteleuropa und somit Deutschland gehen mit langanhaltenden niederschlagsarmen Großwetterlagen einher. In den dabei auftretenden Hochdruckgebieten wird die Wolken- und damit Niederschlagsbildung durch die großräumige absinkende Vertikalbewegung behindert. Hinzu kommt weiterhin, dass durch die östlichen Winde Luftmassen mit geringem Feuchtigkeitsgehalt herangeführt werden. Das Hochdruckgebiet kann dabei mit seinem Kern über Mitteleuropa liegen oder durch eine Lage über Fennoskandien<sup>59</sup> durch die sich einstellende Ost- bzw. Nordostströmung trockene Luft aus dem nordwestasiatischen Raum heranzuführen. Durch die geringe Anzahl an Wolken in einem Hochdruckgebiet kommt es im Winter durch die ungehinderte Ausstrahlung zu niedrigeren Temperaturen als üblich, wogegen im Sommer mit einer Hitzewelle zu rechnen ist.

<sup>57</sup> Die Evapotranspiration ist die Gesamtverdunstung von einer natürlich bewachsenen Bodenoberfläche. Sie setzt sich zusammen aus der Evaporation (Verdunstung über einer freien Wasserfläche oder über einer vegetationslosen Erdoberfläche) und der Transpiration (Abgabe von Wasserdampf durch Pflanzen).

<sup>58</sup> Vgl. WMO and GWP (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices. Abgerufen am 05.12.2018 von [http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP\\_Handbook\\_of\\_Drought\\_Indicators\\_and\\_Indices\\_2016.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf).

<sup>59</sup> Fennoskandinavien, auch Fennoskandien oder Fennoskandia genannt, ist eine Bezeichnung für die nordeuropäische Halbinsel, die sich aus Finnland (Fenno-) und der Skandinavischen Halbinsel (-scandia) sowie Karelien und der Halbinsel Kola zusammensetzt. In regionalgeologischem Kontext wird dieses Gebiet, mit Ausnahme des nordwestlichen (kaledonischen) Teils des Skandinavischen Gebirges, als Fennoskandischer Schild oder auch Baltischer Schild bezeichnet.

## 2. Beschreibung des Ereignisses

Über einen Zeitraum von sechs Jahren fallen durchschnittlich 25 % weniger Niederschläge als in der bisherigen extremsten Trockenphase (zwischen 1971 und 1976) der letzten Jahrzehnte in Deutschland. Darüber hinaus kommt es im letzten Szenariojahr zu einer Kältewelle und im Sommer zu einer außergewöhnlich starken Hitzewelle, die dem Ereignis des Jahres 2003 ähnelt. Zusätzlich zu diesen Wetterextremen werden im Laufe der sechsjährigen extremen Trockenperiode vereinzelte Vegetations- bzw. Waldbrände, die in der Analyse des Szenarios auch mit bedacht werden, verzeichnet.

### 2.1. Auftretensort/Räumliche Ausdehnung/Betroffene Bevölkerung

#### Wo passiert das Ereignis/Welches Gebiet ist durch das Ereignis betroffen?

Durch das wiederholte Auftreten von persistenten Hochdruckgebieten über Mitteleuropa, Fennoskandien oder Westrussland kommt es zu einem Dürreereignis von dem neben der gesamten Bundesrepublik Deutschland auch Frankreich, die Beneluxstaaten, Schweiz, Österreich, Tschechien, Slowakei, Polen, Weißrussland, die baltischen Staaten, Schweden, Finnland, Westrussland und der Süden Norwegens in unterschiedlicher Intensität betroffen sind.

### 2.2. Zeitpunkt

#### Wann passiert das Ereignis?

Nach mehreren vorangegangenen Jahren, die sich durch eine ausgeglichene Niederschlagsbilanz auszeichneten, baut sich mit Beginn des ersten Szenariojahres das Niederschlagsdefizit, das im Ergebnis innerhalb des Szenariozeitraums von insgesamt 6 Jahren zu einer großräumigen und außergewöhnlich extremen Dürre führt, auf.

### 2.3. Auslösende Ereignisse

#### Wodurch wird das Ereignis ausgelöst?

Die Jahre vor dem eigentlichen Beginn des Szenarios zeichnen sich insgesamt durch eine ausgeglichene Niederschlagsbilanz aus. Durch das mit Beginn des ersten Szenariojahres wiederholte Auftreten von persistenten Hochdruckgebieten über Mitteleuropa, Fennoskandien oder Westrussland können nur wenige Tiefdruckgebiete mit ihren Niederschlagsgebieten in den zentraleuropäischen Raum vorstoßen und werden stattdessen hauptsächlich nach Nordskandinavien und in Richtung des Nordpolarmeeres umgelenkt. Die absteigende Luftbewegung in den Hochdruckgebieten unterbindet zudem effektiv die Ausbildung konvektiver Niederschläge (Schauer). Hierdurch kommt es in der Folge, mit Ausnahme einer Unterbrechung im fünften Szenariojahr, zu einer Abnahme der Niederschlagsmengen, was zu einer großräumigen Dürre führt. Nach Ablauf des sechsten Szenariojahres folgen wieder Jahre mit einer ausgeglichenen Niederschlagsbilanz.<sup>60</sup>

Im Februar des sechsten Szenariojahres kommt es zusätzlich zu einer Kältewelle und im August desselben Jahres zu einer Hitzewelle. Auslöser hierfür sind ebenfalls die im Zusammenhang mit der Dürre beschriebenen Hochdruckwetterlagen.

<sup>60</sup> Für Fragen der Wasserversorgung werden aber die real eingetretenen meteorologischen und die daraus resultierenden hydrologischen Bedingungen des Zeitraumes 1977 bis 1980 noch mitbetrachtet, da die Grundwasserstände durchaus eine zeitliche Verschiebung der zu erwartenden Tiefstände von mehreren Monaten aufweisen können.

**2.4. Intensität, Verlauf und Dauer****Wie stark ist das Ereignis? Wie verläuft das Ereignis und wie lange dauert es an?**

In Folge von mehreren normalen hydrologischen Jahren im Vorfeld, entsprechen zu Beginn des ersten Szenariojahres die Füllstände der Talsperren der Jahreszeit. Auch die Fluss- und Grundwasserspiegel verzeichnen die für die Jahreszeit üblichen Stände.<sup>61</sup>

**Hinweis: Hydrologisches Jahr**

Das hydrologische Jahr dauert in Deutschland jeweils vom 1. November eines Jahres bis zum 31. Oktober des folgenden Jahres. Das Winterhalbjahr umfasst die Monate November bis April, das Sommerhalbjahr die Monate Mai bis Oktober. Diese Einteilung wird gewählt, um in der Jahresbilanz die Niederschläge erfassen zu können, die bereits im November und Dezember als Schnee oder Eis gespeichert wurden und erst im folgenden Jahr abfließen. Diese würden in einer klassisch kalendarischen Betrachtung unberücksichtigt bleiben.

Mit dem Beginn des 1. Szenariojahres endet diese Folge von Normaljahren mit einer ausgeglichenen Niederschlagsbilanz und ausgeglichenen Temperaturen. Statt der nun zu erwartenden Niederschläge und dem geringeren Wasserbedarf bzw. -verbrauch in der Ruheperiode der Vegetation, die zu einem der Jahreszeit entsprechenden weiteren Ansteigen der Flusspegel und zum Auffüllen der Bodenfeuchte, Talsperren und Seen sowie des Grundwassers führen würden, bleiben diese aus. Die Talsperren werden noch entsprechend ihrer Betriebsvorschriften gefüllt (d. h. Auffüllung zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung und Freihalten des Stauraumes für den Hochwasserschutz). Da die bevorstehende Dürresituation nicht als solche erkannt werden kann, erfolgt noch keine Anpassung der Betriebsregel an die sich einstellende Niedrigwasserperiode.

**Hinweis: Anpassung der Betriebsregel bei Talsperren**

Eine Talsperre bzw. ein Talsperrensystem dient entweder primär der Wasserversorgung, der Niedrigwasser-Aufhöhung von Fließgewässern oder der Energiegewinnung, um in Zeiten mit geringem natürlichem Abfluss (Sommer- und Herbstmonate) die Versorgung zu gewährleisten. In manchen Fällen dienen sie auch dem Hochwasserschutz durch eine entsprechende Bewirtschaftung. Da z. B. in den deutschen Mittelgebirgen vornehmlich Winter- und Frühjahrshochwasser (Dezember-März) auftreten, muss für diese Regionen in diesen Monaten entsprechender Schutzraum in der Talsperre vorgehalten werden. Im Ereignisfall kann dieses Volumen die Abflussschwelle unterhalb der Talsperre deutlich dämpfen.

Auf Grund der geringeren Niederschlagsmengen in den Wintermonaten Januar und Februar, kommt es zu keinem nennenswerten Eintrag an Wasser aus der Schneeschmelze in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser. Entsprechend dieser hydrologischen Anfangsbedingungen und der meteorologischen Randbedingungen beginnen die Pegelstände (Oberflächengewässer und Grundwasser) gegenüber einem Normaljahr zu sinken, wobei sich leicht zu niedrige Wasserstände einstellen.

Mit Beginn der Vegetationsperiode im ersten Szenariojahr (April/Mai) erhöht sich der Wasserbedarf der Vegetation sowie in der Landwirtschaft was zu einem erhöhten Wasserverbrauch durch Verdunstung (Evapotranspiration) führt. Da die Niederschlagsmengen weiter unter den üblichen Mengen liegen, verringert sich die Bodenfeuchte übernormal stark und es kommt zur Ausprägung einer landwirtschaftlichen Dürre. Die Flusspegel sinken weiter ab, auch dadurch verstärkt, dass kein merklicher Schmelzwasseranteil aus den Mittelgebirgen und niedrigen alpinen Lagen kommt. Auch im Sommer, mit Ausnahme des Monats Juni, bleiben die Niederschläge aus (einschließlich der Niederschläge aus Gewittern). Zu einer Hitzewelle kommt es allerdings nicht. Die angenommenen moderaten sommerlichen Niederschläge können in dem aus der Vorperiode herrührenden unternormal trockenen Bodenspeicher zurückgehalten werden. Sie kommen somit nicht zum Abfluss bzw. tragen nicht zur Grundwasserneubildung bei, sondern gehen über die Verdunstung verloren. In den Flüssen stellen

<sup>61</sup> Die Erfahrung zeigt, dass dem Höhepunkt einer hydrologischen Dürre oftmals bereits mehrjährige längere Trockenjahre oder auch nur Normaljahre vorangehen können (z. B. 1971 bis 1976, vgl. Kapitel 4 „Referenzereignisse“). Dieses bestimmt das Verhalten der Grundwasserstände sowie der Füllstände der Seen und Talsperren und maßgeblich die Ausprägung (Intensität und Andauer) der hydrologischen Dürre.

sich vermehrt zu niedrige Wasserstände ein (Erreichen des MNQ [Mittlerer Niedrigwasserabfluss]-Wertes, vgl. Kapitel 4)

#### **Erläuterung MNQ, NQ, GLQ-Werte**

Neben dem an einem Pegel kontinuierlich gemessenen Wasserstand (W) stellt der an einem Flussquerschnitt ermittelte Durchfluss (Q), der allgemein auch als Abfluss bezeichnet und einem Pegel zugeordnet wird, eine wichtige hydrologische Größe dar. Die zu Tagesmittelwerten zusammengefassten Wasserstands- und Abflussbeobachtungen werden bei graphischen Darstellungen auch als Ganglinien bezeichnet. Aus den Momentan- und Tagesmittelwerten wird die sogenannte gewässerkundliche Statistik berechnet. Die dort festgelegten Parameter erlauben eine entsprechende statistische Beschreibung der Beobachtungswerte. Wichtige Kenngrößen mit Bezug zu Mittel- und Niedrigwasser sind:

- **MW, MQ:** Mittelwert (M) des Wasserstandes oder Abflusses in einer Zeitspanne, z. B. in einem Jahr oder mehreren aufeinander folgende Jahren. Hierbei kann sich die Zeitspanne auch auf einzelne Monate oder Halbjahre beziehen,
- **MNW, MNQ:** Mittlerer niedrigste Wert (MN) in einer Zeitspanne. Z. B. berechnet sich das MNQ der Periode 1961-1990 als arithmetisches Mittel der kleinsten Abflusswerte (NQ) der entsprechenden Einzeljahre,
- **NW, NQ:** Niedrigster Wert (N) in einer Zeitspanne,
- **NNW, NNQ:** niedrigster bekannter Wert (NN), der bisher überhaupt an der betreffenden Messstelle gemessen wurde.
- **GLW, GLQ:** gleichwertiger Wasserstand bzw. Abfluss. Schifffahrtsbezogener Schwellenwert, der eine bestimmte schiffbare Wassertiefe garantiert. Dieser Wert wird für Pegel ausgewiesen und Flussabschnitten zugeordnet. In einigen Bundeswasserstraßen findet sich hierfür auch der Begriff Regulierungsniedrigwasserstand (RNW). Wenn Wasserstände bzw. Abflüsse diesen Wert unterschreiten, führt dies zu Einschränkungen der Schiffbarkeit.

Bei den Kennwerten ist immer der Zeitbezug, z. B. Monat, Jahr, Halbjahr bzw. Zeitperiode anzugeben.

Die verringerte Schneeschmelze aus den höheren alpinen Einzugsgebietsanteilen bewirkt in den Flussabschnitten der Donau und des Inns bzw. des Rheins eine deutliche Niedrigwassersituation. Im Oktober des ersten Szenariojahres endet ein hydrologisches Jahr mit einer deutlich zu geringen Niederschlagsmenge und bereits langanhaltenden Niedrigwasserphasen. Die Flurabstände des Grundwassers von der Geländeoberfläche haben sich bereits deutlich erhöht und die Pegel der Talsperren und Seen liegen unterhalb der für die Jahreszeit üblichen Werte.

Die Ereignisse im ersten Jahr des Szenarios wiederholen sich in ähnlicher Weise auch in den folgenden drei Jahren, wobei sich ein immer größer werdendes Niederschlagsdefizit aufbaut.

Zum Jahreswechsel des 4. zum 5. Szenariojahr führen überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen zu einer zeitweisen Entspannung der Situation, ab der zweiten Jahreshälfte sind die Überschüsse aus dem vorangegangenen Winter aber aufgebraucht und das Niederschlagsdefizit wird wieder größer.

Im Januar des 6. und letzten Szenariojahres tritt auf Grund übernormal hoher Niederschläge eine leichte Entspannung ein. Im Februar kommt es zu einer langandauernden Zufuhr (Advektion) trockener und kalter Luftmassen polaren Ursprungs via Westrussland und Polen sowie zu Kahlfrösten durch eine Kältewelle, die den gesamten Februar anhält. Die Monatsmitteltemperatur im Februar beträgt  $-4,6^{\circ}\text{C}$ , was einer Abweichung von  $5,5^{\circ}\text{C}$  gegenüber dem Mittelwert von  $0,9^{\circ}\text{C}$  für den Referenzzeitraum 1981-2010 entspricht und der Niederschlag erreicht nur 30 % des vieljährigen Mittels.

Auch die Niederschlagsmengen im Frühjahr und Sommer sind weiterhin unterdurchschnittlich, in den Flüssen hat sich inzwischen ein extremes Niedrigwasser eingestellt (deutliches Unterschreiten des MNQ, bzw. schiff-fahrtsrelevanter Schwellenwerte, z. B. GLQ). Das Ausbleiben der Schneeschmelzanteile aus den alpinen Lagen ausländischer Flussgebietsanteile bewirkt in Verbindung mit den geringen Beiträgen der Nebenflüsse ein extremes Niedrigwasser im Rhein und auf der schiffbaren Donau sowie von Weser und Elbe. Es werden neue Extremwerte der Niedrigwasserstände und hinsichtlich der Andauer der Niedrigwasserphasen erreicht.

Dies trifft auch für die Grundwasserstände zu, wobei jetzt insbesondere auch die grundwasserreichen Regionen betroffen sein können, je nach regionalen Gegebenheiten.

Tabelle 4

### Kennzahlen der Kälte- und Hitzewelle im 6. Szenariojahr

(Anzahl Tage, TMAX bzw. TMIN=Tageswerte Maximum- bzw. Minimum-Temperatur,  
Pr=Tagessumme Niederschlag)

| Gebietsmittel Deutschland                                     | Definition   | Monat   | Anzahl Tage |
|---------------------------------------------------------------|--------------|---------|-------------|
| Kältewelle (6. Szenariojahr)                                  |              |         |             |
| Frosttage                                                     | TMIN < 0°C): | Februar | 29          |
|                                                               |              | März    | 20          |
| Tage mit strengerem Frost                                     | TMIN < -10°C | Februar | 25          |
|                                                               |              | März    | 13          |
| Hitzewelle 6. Szenariojahr                                    |              |         |             |
| Tropentage/heißen Tage                                        | TMAX > 30°C  | Mai     | 4           |
|                                                               |              | Juni    | 18          |
|                                                               |              | Juli    | 19          |
|                                                               |              | August  | 28          |
| Niederschlag während der Kälte-/Hitzewelle im 6. Szenariojahr |              |         |             |
| Trockene Tage                                                 | Pr < 1 mm/d  | Februar | 24          |
|                                                               |              | März    | 27          |
|                                                               |              | April   | 25          |
|                                                               |              | Mai     | 16          |
|                                                               |              | Juni    | 22          |
|                                                               |              | Juli    | 17          |
|                                                               |              | August  | 19          |

Quelle: DWD

Im August des letzten Szenariojahres kommt es nun zu einer den gesamten Monat andauernden Hitzewelle. Die Monatsmitteltemperatur beträgt 22,2 °C, was einer Abweichung von 4,8 °C gegenüber dem Mittelwert von 17,4 °C für den Referenzzeitraum 1981 bis 2010 entspricht. Diese extremen Bedingungen bewirken neben einer Schädigung der Vegetation auch Veränderungen der Bodenstruktur. Die Hitzewelle bedingt auch einen höheren

Trinkwasserbedarf sowie höhere Kühlwasserentnahmen z. B. durch Industrie und Kraftwerke. Dies zieht wiederum einen höheren Verbrauch (Verdunstungsverluste, Temperaturerhöhung) nach sich. Einige Trinkwasser-talsperren können historisch niedrige Wasserstände erreichen und aufgrund der verfügbaren Mengen oder Rohwasserqualitäten keinen wesentlichen Beitrag mehr zur Trinkwassergewinnung leisten.

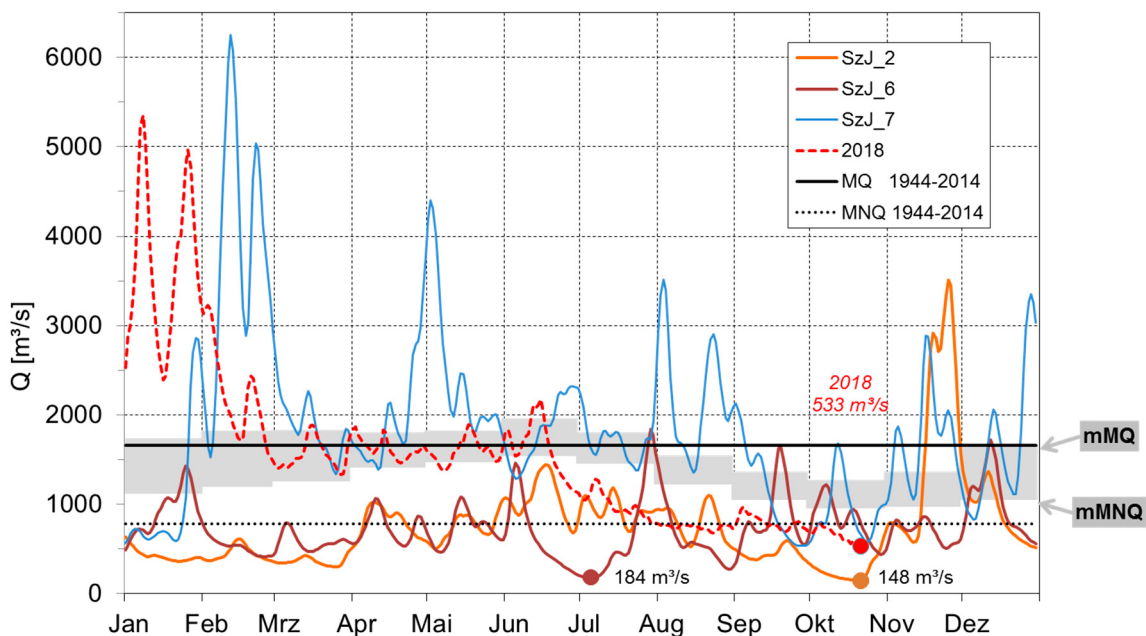
Durch das viele abgestorbene Unterholz der vorangegangenen Dürrejahre und die nicht verrotteten Blätter besteht eine extrem hohe Waldbrandgefahr. Im Verlauf des Szenariozeitraumes kommt es immer wieder vereinzelt zu lokalen bis regionalen Vegetationsbränden.

Die geringen Niederschläge und erhöhten Lufttemperaturen führen in den Flussgebieten Deutschlands in allen Szenariojahren zu über mehrere Wochen und Monate andauernden extremen Niedrigwasserphasen. Hierbei werden bekannte Tiefststände der jüngeren Vergangenheit (1944 bis aktuell) deutlich unterschritten. Die Ausprägungen der Niedrigwasserphasen sind beispielhaft anhand des für die Schifffahrt wichtigen Mittelrheinpegels Kaub für die beiden extremsten hydrologischen Szenariojahre 2 und 6 in Abbildung 1 aufgeführt. Extrem niedrige Abflüsse werden für die Dauer von bis zu zwei Monaten im letzten Szenariojahr erreicht.

Abbildung 1

**Unter Annahme des Dürreszenarios simulierte Abflussganglinien (Tagesmittelwerte, Q)  
für den Mittelrheinpegel Kaub für das zweite, sechste und siebte hydrologische  
Szenariojahr (SzJ\_2, SzJ\_6 und SzJ\_7) im Vergleich zu den  
beobachteten Abflüssen im Jahr 2018 (Stand: 22.10.2018)**

(Zur Orientierung sind die monatlichen und jährlichen Mittel- und Niedrigwasserabflusskennwerte (mMQ, mMNQ bzw. MQ und MNQ) der Zeitreihe 1944 bis 2005 eingezeichnet)



Quelle: BfG

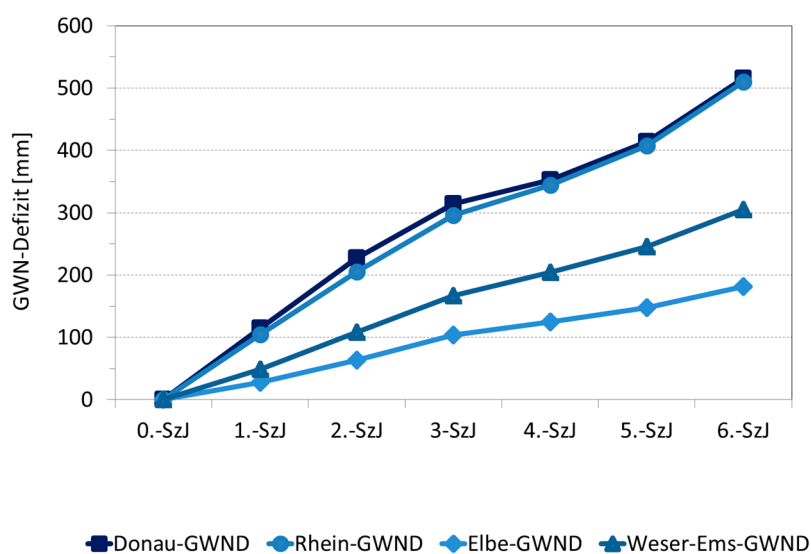
Als Indikator für die Verringerung der Grundwasservorräte im Szenariozeitraum kann die Grundwasserneubildung (GWN) herangezogen werden. In der Abbildung 2 ist hierzu beispielhaft das rechnerisch ermittelte aggregierte GWN-Defizit der großen Stromgebiete für den Szenariozeitraum dargestellt. Das Defizit ergibt sich aus der Differenz der simulierten GWN gegenüber einer mittleren GWN. Das Defizit baut sich in allen Stromgebieten bis zum letzten Szenariojahr kontinuierlich auf, sodass für das Donaugebiet 33 %, für das Rheingebiet 41 %, für das Weser-Emsgebiet 53 % und für das Elbegebiet 43 % der normalen Grundwasserneubildung er-

reicht werden. Da gleichzeitig der Grundwasserspeicher über den Basisabfluss in die Oberflächengewässer entleert wird und zudem Entnahmen aus dem Grundwasser für Trinkwasser und Bewässerung stetig erfolgen, ist damit zu rechnen, dass der Grundwasserspiegel in Abhängigkeit der hydrogeologischen Verhältnisse entsprechend stark sinken wird.

Abbildung 2

**Mit meteorologischen Daten des Dürreszenarios simulierte und über die sechs Szenariojahre aufsummierte jährliche Grundwasserneubildungsdefizite für die großen Stromgebiete Deutschlands**

(Das Defizit ergibt sich aus der Differenz zwischen simulierter Grundwasserneubildung (GWN) und einer mittleren GWN)

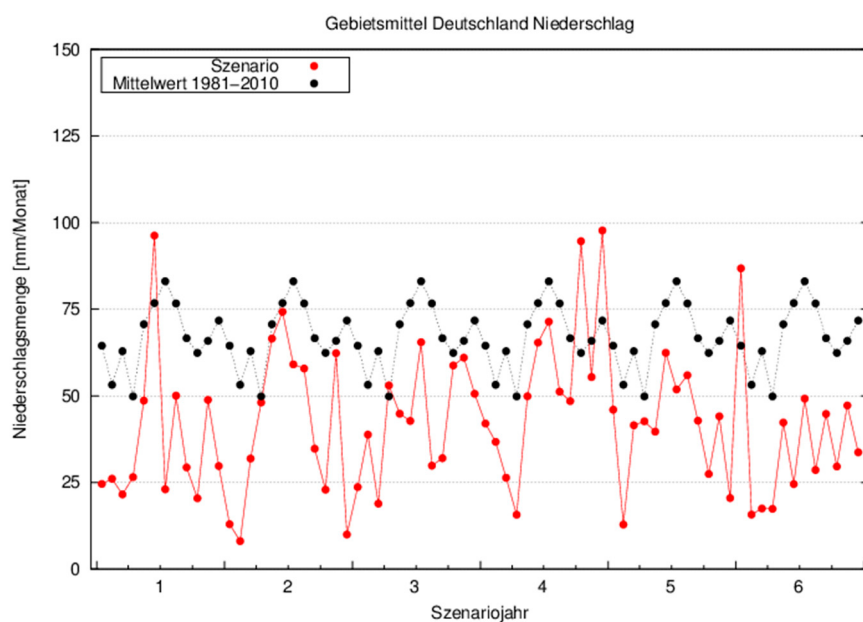


Quelle: BfG

Die Niederschlagsmengen sind in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3

**Gebietsmittel für Deutschland für den monatlichen Niederschlag im Szenario (rot) und für vieljährige Mittelwerte von 1981 bis 2010 (schwarz)**



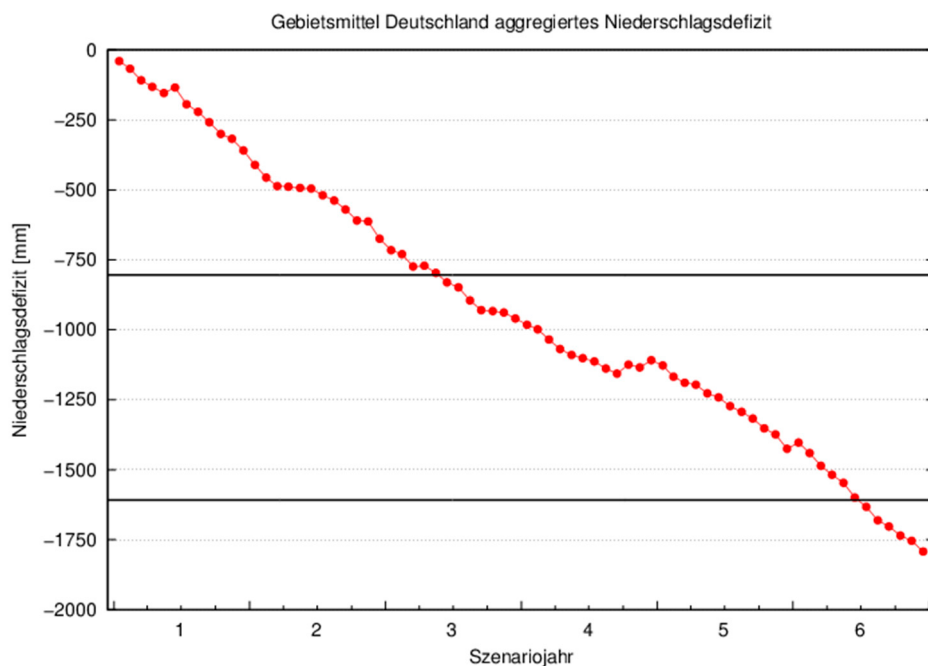
Quelle: DWD

Das sich über den Szenariozeitraum aggregierende Niederschlagsdefizit ist in Abbildung 4 gezeigt. Über die sechs Szenariojahre ergibt sich ein Defizit von etwas mehr als zwei mittleren Jahressummen (804 mm).

Abbildung 4

**Aggregiertes Niederschlagsdefizit (Monatssummen) des Gebietsmittels für Deutschland im Szenario**

(Die dicken schwarzen Linien markieren das Unterschreiten von ein beziehungsweise zwei Jahresniederschlagsmengen)

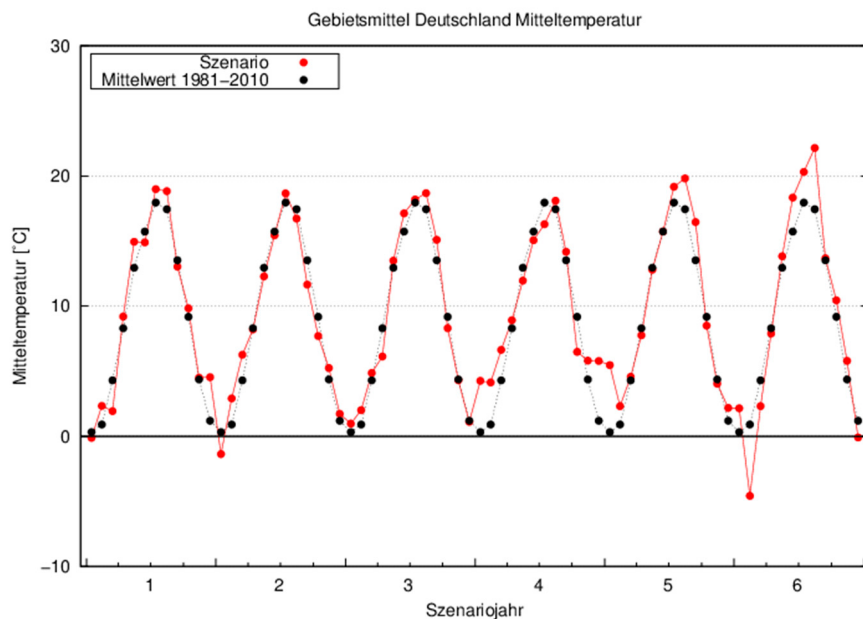


Quelle: DWD

Die mittlere Temperatur ist in Abbildung 5 dargestellt. Deutlich sind die Kältewelle im Februar und die Hitze-  
welle im August des sechsten Szenariojahres zu erkennen.

Abbildung 5

**Gebietsmittel für Deutschland der Mitteltemperatur im Szenario (rot) und  
die vieljährigen Mittelwerte von 1981 bis 2010 (schwarz)**



Quelle: DWD

Nach dem Ende des 6. Szenariojahres stellt sich wieder eine Normalsituation ein, wobei höhere Niederschlags-  
mengen im Februar die Flusspegel deutlich steigen lassen.

Durch Schneefälle steht auch wieder Schmelzwasser im Frühjahr zur Verfügung, dass zum Auffüllen der Tal-  
sperren genutzt wird. Unterhalb der Talsperren steht dieses Wasser dann jedoch nicht zur Verfügung, was die  
Entspannung der Oberflächengewässer in diesen Regionen verzögert.

Bezogen auf die Andauer der hydrologischen Dürre ist anzunehmen, dass die räumliche Ausprägung neben den  
klimatischen Gegebenheiten von der über Deutschland bzw. Mitteleuropa stark variierenden hydrogeologischen  
Situation und Bodennutzungsart geprägt wird, so dass zunächst die räumlich-zeitliche Ausprägung der hydro-  
logischen Dürre entsprechend diesem Raummuster eintreten wird.<sup>62</sup> Erst zum Ende des Szenario-Horizontes  
wird angenommen, dass alle Grundwasserstände ihren Niedrigwasserstand erreicht haben. Die Auffüllung die-  
ser Vorräte erfolgt jedoch ebenfalls entsprechend der hydrogeologischen und bodenkundlichen Rahmenbedin-  
gungen, so dass eine Entlastung der Systeme bei Annahme einer meteorologischen Entspannung ebenfalls zeit-  
lich versetzt eintreten wird.

Es ist damit zu rechnen, dass sich ab dem dritten hydrologischen Jahr nach Ende des Szenariozeitraumes die  
Situation wieder deutlich entspannt.

<sup>62</sup> Festgesteinsbereiche (Mittelgebirgsregionen) zeigen im Verhältnis eine schnellere Reaktion im Auslaufverhalten des Grundwasser-  
speichers (rasche Leerung) als Lockergesteinsbereiche (Talauen), wo auf Grund der Mächtigkeit des Grundwasserkörpers eine ver-  
zögerte Reaktion (lang anhaltender Abfluss) auftritt.

## 2.5. Vorhersagbarkeit/Vorwarnung/Kommunikation

### Ist das Ereignis erwartet?

Das Auftreten von Dürren ist ein natürliches Ereignis, das immer wieder vorkommen kann. Gleiches gilt ebenfalls für die Gefahren Hitze- und Kältewelle sowie Vegetationsbrände, die alleine, aber auch in Kombination mit Dürren auftreten können.

Mit der numerischen Wettervorhersage kann weder der Beginn noch die Dauer einer Dürre erfasst werden, da der vorhergesagte Zeitrahmen mit maximal 10 Tagen zu kurz dazu ist. Anders sieht es mit den numerischen Klimavorhersagen aus, die über die Monatsklimavorhersage, saisonale Klimavorhersage und dekadische Klimavorhersage die relevanten Zeiträume abdecken.

### Inwiefern können sich die Behörden auf das Ereignis vorbereiten?

Der DWD warnt beim Eintreten von mehreren der im Szenario auftretenden Gefahren im Rahmen der Herausgabe von amtlichen Warnungen über Wettererscheinungen. Hierzu zählen Warnungen vor Hitze und Frost (unterhalb von 800 m) sowie die Berechnung des Waldbrand- und Graslandfeuerindex. Daneben wird das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zweimal pro Woche über die Bodenfeuchte der letzten zwei Wochen und die Prognose für die kommenden sechs Tage unterrichtet, damit rechtzeitig eine Trockensituation erkannt werden kann. Diese Unterrichtung erfolgt permanent, das heißt nicht erst ab dem Unterschreiten einer Warnschwelle.

Ein amtliches Warnkriterium für Dürre als Wetter-/Klimawarnung existiert bisher nicht. Der allmähliche Anfang einer Dürre und deren lange Andauer machen eine operationelle Vorwarnung schwierig. Dekadische und saisonale Klimavorhersagen zeigen in manchen Zeiträumen und Regionen Deutschlands bereits eine bessere Vorhersagegüte als die beobachtete Klimatologie. Der DWD forscht in Zusammenarbeit mit Universitäten an einer weiteren Verbesserung der Dürrevorhersage über Deutschland.

### Kommunikation

Die Behörden weisen die Bevölkerung über verschiedenen Kommunikationskanäle (Printmedien, Social Media, Radio- und Fernsehveröffentlichungen) auf die Notwendigkeit des sparsamen Umgangs mit Trinkwasser hin. Ebenfalls werden Hinweise zur Vermeidung von Vegetationsbränden veröffentlicht. Bei Waldsperrungen mit Verboten von jeglichem Betreten und Befahren gem. Waldsperrungsverordnungen der Bundesländer wird die Bevölkerung entsprechend informiert.

## 2.6. Zuständigkeiten und Maßnahmen von Behörden und Betreibern

Über den gesamten Szenariozeitraum ist Deutschland von dem hier angenommenen Dürreereignis in regional unterschiedlicher Intensität betroffen. Entsprechend unterscheiden sich auch zeitlicher Eintritt und räumliche Ausprägung der zu erwartenden Folgen und die Umsetzung behördlicher Maßnahmen bzw. Maßnahmen der Betreiber Kritischer Infrastrukturen.

### Bereich öffentliche Wasserversorgung

Der dürrebedingt gesteigerte Wasserbedarf führt im Verlauf des Szenarios immer wieder dazu, dass die technischen Anlagen einiger Wasserversorger in Spitzenzeiten an ihre Kapazitätsgrenze stoßen. Darüber hinaus kann das im Verlauf des Szenarios zunehmende Niederschlagsdefizit in Kombination mit der steigenden Wassernachfrage insbesondere im Zeitraum der erhöhten, teilweise weit über Normalbedingungen liegenden Temperaturen in den Sommermonaten (vgl. Hitzewelle im letzten Szenariojahr) in der Folge zu Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung oder sogar zu lokalen Ausfällen der Trinkwasserversorgung führen. Hiervon sind insbesondere Wasserversorger betroffen, bei denen bereits heute in Trockenzeiten die Trinkwasserversorgung angespannt ist.

Die öffentliche Wasserversorgung ist eine kommunale Aufgabe der Daseinsvorsorge. Als Wasserversorger agieren entweder die Kommunen selbst, von diesen gebildete Zweckverbände oder auch Unternehmen, denen

die Aufgabe übertragen wurde. Der Bund und die Länder geben den bei der Wasserversorgung zu beachtenden rechtlichen Rahmen (Trinkwasserverordnung, Wassergesetze, etc.) vor. Die Bundesländer mit ihren Fachverwaltungen unterstützen, teilweise auch finanziell, die Wasserversorger bei den mit der Wasserversorgung verbundenen vielfältigen Aktivitäten. Hierbei werden auch aktuelle Themen, wie z. B. die Auswirkungen des Klimawandels bzw. längerer Trockenzeiten auf die Wasserversorgung sowie evtl. erforderliche diesbezügliche Maßnahmen, kommuniziert. Den örtlich zuständigen Wasserrechtsbehörden obliegt es, unter Einbindung insbesondere der jeweiligen Fachbehörden, die rechtlichen Voraussetzungen für die Nutzung von Grund- oder Oberflächenwasser zum Zwecke der Wasserversorgung zu schaffen und auf die Einhaltung der gesetzlichen oder im Wasserrechtsbescheid aufgenommenen Vorgaben seitens des Wasserversorgers zu achten.

Nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) sind die Wasserversorger gefordert, Maßnahmenpläne, für den Umgang mit Störungen im Rahmen des Normalbetriebs zu erstellen.

Kann die leitungsgebundene Wasserversorgung durch die Wasserversorger jedoch nicht aufrechterhalten werden, ist die Zuständigkeit des Kreises/ der kreisfreien Stadt als örtliche Katastrophenschutzbehörde zur Ersatz- und Notversorgung<sup>63</sup> der Bevölkerung gegeben. Das Gesundheitsamt ordnet dann eine leitungsungebundene Versorgung an. Diese kann z. B. durch den Einsatz von Wassertransportfahrzeugen oder durch die Nutzung von leitungsunabhängigen Brunnen (Holversorgung) erfolgen. Hier können ggfs. Anlagen der Trinkwassernotversorgung nach WasSiG genutzt werden. Die Vorgaben der TrinkwV sind hierbei zu beachten (siehe Hinweiskasten unten).

#### **Hinweis: Trinkwassernotversorgung des Bundes**

Die Trinkwassernotversorgung des Bundes wird vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) gemeinsam mit den Ländern und den Kommunen nach dem WasSiG umgesetzt. Die Aufgabe der Trinkwassernotversorgung ist die Versorgung der Zivilbevölkerung im Verteidigungsfall mit lebensnotwendigem Wasser (Notwasser) über derzeit etwa 5.200 leitungsunabhängige Einzelbrunnen, die teilweise auch im Falle eines Stromausfalls über Notstromaggregate betrieben werden können. Diese ursprünglich für den Zweck des Zivilschutzes im Verteidigungsfall vorgesehene Trinkwassernotversorgung des Bundes kann gemäß § 8 WasSiG auch im Rahmen von Trinkwassernotständen in Friedenszeiten (z. B. im Rahmen eines Dürreereignisses) von den Behörden vor Ort (z. B. untere Katastrophenschutzbehörde) in Anspruch genommen werden. Voraussetzung hierfür ist die Genehmigung durch die zuständige Fachbehörde. Hierbei gilt jedoch folgendes zu beachten: Die Qualitätsanforderungen von Notwasser im Verteidigungsfall sind gemäß 1. Wassersicherstellungsverordnung geringer, als die der Trinkwasserverordnung (friedensmäßiger Nutzen). Daher gilt es bei dem Einsatz der Notbrunnen im Rahmen der Ersatzwasserversorgung zu prüfen, ob die Notbrunnen die strengeren Vorgaben der Trinkwasserverordnung, die auch im Krisen- oder Katastrophenfall gelten, einhalten und das Wasser an die Bevölkerung abgegeben werden darf. Unabdingbar ist eine Desinfektion oder Aufbereitung des Notwassers vor Abgabe des Wassers an die Bevölkerung.

#### **Warnung und Information**

Abhängig von der Wettersituation warnt der DWD entsprechend seinem gesetzlichen Auftrag vor damit verbundenen Gefahren. Zu diesen Warnungen zählen die Warnung vor Hitze und Kälte sowie die Prognose des Waldbrand- und Graslandfeuerindex.

Routinemäßig wird das BMEL zweimal pro Woche über die aktuelle Bodenfeuchtesituation unterrichtet. Daneben führt der DWD eine klimatologische Bewertung von außergewöhnlichen Witterungsereignissen durch, bei länger andauernden Ereignissen auch schon als Zwischenbewertung (siehe auch Beispiele im Abschnitt „Literatur und weiterführende Informationen“).

#### **Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz**

Auf Grundlage der ausgesprochenen Warnungen belegt das THW bestimmte Fähigkeiten wie Trinkwasseraufbereitung, Pumpen oder Transport mit Einsatzvorbehalten (Einsatz nur unter bestimmten Bedingungen nach

<sup>63</sup> Für die Unterscheidung zwischen Ersatzversorgung und Notversorgung mit Trinkwasser vgl. Hinweiskasten „Trinkwassernotversorgung des Bundes“, S. 25.

zentraler Freigabe), damit diese an den bundesweit am schwersten betroffenen Orten zum Einsatz kommen können. Bei vermehrten Anforderungen des THW werden bundesweit Leitungs- und Koordinierungsstäbe einberufen, die die Mangelressourcen des THW koordinieren. Das THW rechnet damit, dass im Bereich der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes vermehrt Einsatzkräfte von Feuerwehren und THW zum Wässern von Bäumen und Belüften von Teichen (durch Wassereinsatz, um den Sauerstoffgehalt zu erhöhen) eingesetzt werden.

Detailliertere Betrachtungen der hier erwähnten Maßnahmen sowie weitere branchenspezifische Maßnahmen werden in Kapitel 3 „Auswirkungen auf KRITIS/Versorgung“ vorgenommen.

## 2.7 Bevölkerung

### Kann sich die Bevölkerung auf das Ereignis einstellen?

Der Großteil der Bevölkerung kann sich aufgrund des „schleichenden“ Eintritts des Ereignisses, der frühzeitigen Erfassung der sich abzeichnenden Gefahrensituationen sowie der verbreiteten Risikokommunikation, der behördlichen Warninformationen und der Berichterstattung in den Medien gut auf das Ereignis einstellen.

### Wie reagiert die Bevölkerung?

Grundsätzlich sind in dieser Schadenslage zunächst keine besonderen Bevölkerungsreaktionen zu erwarten. Bei anhaltender Dürre über die Jahre, bei einer zunehmenden Verschärfung der klimatischen Situation, Versorgungsengpässen und mobilen Einschränkungen wird in der Bevölkerung ein zunehmend umfassenderes Informationsbedürfnis formuliert werden. Die Bevölkerung wird ein ausgeprägtes Bedürfnis nach klaren und verlässlichen Informationen und Handlungsanweisungen haben. Die Bürger werden Informationen über alle zugänglichen Möglichkeiten generieren und vermitteln. Daraus resultiert:

- Es ist, je nach Anliegen, mit einem zunehmenden Anrufaufkommen bei Bürgertelefonen, in Gesundheitsämtern und den Organisationen der Gefahrenabwehr zu rechnen. Das Anrufaufkommen wird insbesondere in Zeiten großer Hitze oder Kälte und bei (zu erwartenden) Versorgungsengpässen ansteigen, so dass dann die jeweiligen Behörden und Organisationen an ihre technischen und personellen Belastungsgrenzen kommen.

Die Behörden können von einer Bevölkerung ausgehen, die sich gut informiert, und die eine umfassende und transparente Information einfordert.

- In den sozialen Medien (Twitter, Facebook u. a.) werden die Dürre-Entwicklung und die klimatischen Veränderungen umfassend diskutiert und Hilfsangebote eingestellt, z. B.:
  - Bürger berichten über die aktuelle klimatische Situation, stellen Fotos ein und diskutieren die Entwicklung und Prognosen,
  - Umweltschutzorganisationen, Vereine, Verbände, politische Parteien u. a. fordern sehr zeitnahe und umfassende Konsequenzen zum Schutz des Klimas,
  - es formieren sich regionsbezogene Facebook-Seiten mit Hilfsangeboten und Hashtags auf Twitter zur Vermittlung von Hilfen innerhalb von Nachbarschaften und Vierteln sowie überregional, z. B. *#watersharing*,
  - vereinzelt äußern sich Verschwörungstheoretiker oder Apokalyptiker.
- Bürger greifen vermehrt auf die Internetseiten von Behörden zu, zur Informationsgenerierung und auf der Suche nach konkreten Handlungsanweisungen.

Der partielle Ausfall der Trinkwasserversorgung (Endstränge können trockenfallen ->Randbereiche der Versorgung) führt zu Unmut der betroffenen Bevölkerung. Anfangs ist zwar ein grundsätzliches Verständnis für einschränkende Maßnahmen festzustellen, im weiteren Verlauf der langen Trockenperiode kommt es aber vermehrt zu kritischen Reaktionen in den sozialen Medien und auch partiell zum Ignorieren der behördlichen Anordnung zum Wassersparen (ausgesprochene Verbote von Gartenbewässerung, Auto waschen, u. ä.).

Einschränkungen im Bahnverkehr durch hitze- und kältebedingte Schäden führen zu Verärgerung in der betroffenen Bevölkerung und zeitweise zu einer Mehrbelastung im Straßenverkehr.

Besonders belastet sind Menschen, die in der Landwirtschaft tätig sind, da es durch die klimatischen Bedingungen zu erheblichen Ernteaussfällen und zu Problemen in der Versorgung der Nutztiere kommt, sodass Landwirte zum Teil in ihrer Existenzgrundlage bedroht sind.

Im notwendigen Fall großräumiger Evakuierungen, z. B. bei Bränden oder großer Brandgefahr, wird ein Großteil der Bevölkerung den Anweisungen der Behörden kooperativ Folge leisten.

### **3. Auswirkungen auf KRITIS/Versorgung**

#### **Vorgehensweise**

Kritische Infrastrukturen (KRITIS) sind komplexe Systeme, von denen eine Vielzahl von Versorgungsfunktionen abhängen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Beeinträchtigung einzelner Infrastrukturektoren und -branchen auch Einfluss auf andere Infrastrukturen und ihre Versorgungsleistungen haben wird. Dieser Umstand kann in seiner Komplexität hier nicht abgebildet werden. Da die Risikoanalyse aus der übergeordneten Perspektive des Bundes erfolgt, werden die zu erwartenden Auswirkungen auf den Bereich KRITIS/Versorgung hier in generalisierter, qualitativer Weise dargestellt. Grundlage hierfür sind begründete Annahmen und Einschätzungen der beteiligten Expertinnen und Experten aus den Bundesbehörden, der Wissenschaft und der Wirtschaft.

Im Rahmen der Risikoanalyse erfolgt eine nähere Betrachtung derjenigen KRITIS-Branchen, innerhalb derer aus Bundessicht relevante Auswirkungen auf zentrale Versorgungsfunktionen für die Bevölkerung zu erwarten sind oder für die eine außergewöhnliche Belastungssituation aufgrund des angenommenen Ereignisses zu erwarten ist.

Der Fokus der Betrachtungen liegt dabei auf den Auswirkungen der angenommenen Dürre. Die begleitenden Gefahren der Hitze- und Kältewelle sowie der erwartbaren Vegetationsbrände werden in diesem Zusammenhang, auch aus Gründen der Handhabbarkeit der Analyse, nur untergeordnet berücksichtigt.

#### *Hinweis:*

Zur Beurteilung der Auswirkungen der beschriebenen Trockenjahre können auf Grund der Komplexität sowie sehr eingeschränkter Datengrundlagen nur Abschätzungen vorgenommen werden.

## Sektor Energie

### Grundannahmen

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass in der Folge des angenommenen Dürreereignisses, Stromausfälle im Szenariozeitraum auftreten können. Dabei hängen zeitliches Auftreten, räumliche Ausdehnung und Dauer der Stromausfälle neben der Situation in Deutschland und den jeweiligen Gegebenheiten vor Ort insbesondere von der Betroffenheit des europäischen Stromverbundnetzes ab, da das Dürreereignis auch weitere europäische Staaten betrifft (vgl. Kap. 2.1) und dort mit ähnlichen Folgen und Problemlagen in den nationalen Stromversorgungsinfrastrukturen zu rechnen ist.

In diesem Zusammenhang geht es nicht nur um die Verfügbarkeit und Nachfrage der Strommenge im Netz, sondern auch um die Aufrechterhaltung der Frequenzstabilität (die Frequenz im europäischen Stromverbundnetz beträgt 50 Hertz). Hierzu liefern beispielsweise Wasserkraftanlagen mit ihren konstanten, frequenzstabilen Leistungen (im Gegensatz beispielsweise zu Solar- oder Windkraftanlagen) einen wichtigen Beitrag. Vor dem Hintergrund eines außergewöhnlich extremen Dürreereignisses kann dieser Beitrag jedoch eingeschränkt oder gefährdet sein. Grundsätzlich ist es daher auch denkbar, dass es im Rahmen eines außergewöhnlich extremen Dürreereignisses zu einem sogenannten Blackout in Deutschland und weiteren Teilen Europas kommen könnte.

#### **Hinweis: Energie und Stromversorgung bei Dürren in Verbindung mit Hitzewellen**

Thermische Kraftwerke (Atom-, Kohle und Gaskraftwerke) liegen häufig an Flüssen und nutzen deren Wasser zur Kühlung.

Zu Zeiten von Hitzeperioden oder Dürren führen die Flüsse häufig sehr warmes und/oder verhältnismäßig wenig Wasser, so dass Kraftwerke zum Schutz der Lebewesen in den Flüssen nur noch geringere Kühlwassermengen entnehmen und/oder einleiten dürfen. In der Folge müssen die Kraftwerke ihre Leistung reduzieren (ca. 10 % bis 30 %).

Wasserkraftwerke stellen in den Sommermonaten ca. 1/3 weniger Strom zur Verfügung als in den Monaten mit Normalwasserständen. Sehr niedrige Wasserstände haben nur einen geringen verstärkenden Effekt.

In den Sommern 2003, 2006 und 2018 (lange Trockenphasen) wurden thermische Kraftwerke, auch beispielsweise AKW's in Frankreich, in ihrer Leistung reduziert. Dennoch kam es in diesen Jahren zu keinen Stromausfällen aufgrund zu geringer Erzeugungsleistung im europäischen Netzverbund.

Gegenmaßnahmen für einen flächendeckenden Blackout sind Sondergenehmigungen für das Einleiten von Kühlwasser in Flüsse, und temporäre und rotierende Stromabschaltungen durch die Stromnetzbetreiber.

Aufgrund eines höheren Strombedarfes für die Kühlung technischer Systeme (z. B. Klimatisierung IT-Technik) und der wachsenden Klimatisierung in privaten Haushalten, ist in diesen Segmenten perspektivisch eine Zunahme des Energiebedarfes im Verlauf hoher Außentemperaturen zu erwarten.

Die Folgewirkungen von regionalen, teilweise über mehrere Tage andauernden Stromausfällen, wie sie auch im Rahmen des hier angenommenen Dürreszenarios möglich sind, wurden in den Risikoanalysen „Wintersturm“ (2013)<sup>64</sup> und „Sturmflut“ (2014)<sup>65</sup> beschrieben. Daher wird an dieser Stelle auf eine erneute Darstellung verzichtet und auf die genannten Publikationen hingewiesen.

<sup>64</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2013).

<sup>65</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2014).

**Branche Elektrizität**

- Infolge von Niedrigwasserständen wird es notwendig, die Leistung von mit Flusswasser gekühlten thermischen Kraftwerken zu reduzieren. Hintergrund sind Umweltauflagen zum Schutz der Lebewesen in den Flüssen. Danach darf das abfließende Kühlwasser eine Grenztemperatur nicht überschreiten. Durch die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung kann hiervon abgewichen werden. Betroffen sind thermische Kraftwerke die Flusswasser zur Kühlung benutzen und anschließend wieder in den Fluss zurückspeisen (z. B. Kernkraftwerke und Kohlekraftwerke).<sup>66</sup>
- Die Steinkohleverstromung ist wegen ihrer Importabhängigkeit auf eine robuste Verkehrsinfrastruktur angewiesen. Eine Reihe von großen deutschen Kraftwerken ist insbesondere vom Steinkohletransport von den belgischen und niederländischen Seehäfen per Binnenschiff auf dem Rhein abhängig. Die hierfür als Verkehrsträger bedeutende Binnenschifffahrt ist aufgrund des Dürreereignisses von Einschränkungen bis hin zur vorübergehenden Einstellung auf bestimmten Streckenabschnitten betroffen (vgl. auch Branche Binnenschifffahrt). Eine Kompensation des ausgefallenen Transportvolumens kann über die Bahninfrastruktur nicht in vollem Umfang geleistet werden.<sup>67</sup> In der Folge kann es zur Drosselung der Kraftwerksleistung kommen, wenn auch die Reservebestände auf den eigenen Lagerflächen nicht mehr ausreichend sind.
- Die Energiegewinnung durch Windkraftanlagen ist aufgrund der persistenten Hochdruckwetterlagen und der hierdurch phasenweise abgeschwächten oder fehlenden Winde, während der Dauer des gesamten Dürreereignisses immer wieder eingeschränkt. Auch der Wirkungsgrad von Solaranlagen ist gedrosselt, denn mit zunehmender Temperatur der Module nimmt deren Leistung ab.<sup>68</sup>
- Im Zeitraum der Hitzewelle wird sich die Stromversorgungssituation auch dadurch weiter anspannen, dass neben der Drosselung in der Stromproduktion (s. o.) zugleich der Stromverbrauch gegenüber dem normalerweise in Sommermonaten zu verzeichnenden Verbrauch steigt (u. a. durch stärkere Nutzung von Klimaanlage, Verlagerung von Massengütertransport vom Schifftransport auf die Schiene).

<sup>66</sup> Kraftwerke, die ihr Kühlwasser aus Tideflüssen beziehen, sind jedoch nur bei stärkeren ablandigen Winden in der Deutschen Bucht betroffen.

<sup>67</sup> In einer Analyse des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) aus dem Jahr 2013 wurde auf Basis der Verkehrsleistungsstatistik die Robustheit des deutschen Verkehrssystems mit Blick auf die Brennstoffversorgung der deutschen Steinkohlekraftwerke untersucht. Abrufbar unter:  
[https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2013/DL\\_11\\_2013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2013/DL_11_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=3)  
[letzter Abruf 18.10.2018].

<sup>68</sup> Vgl. Dapp (2018).

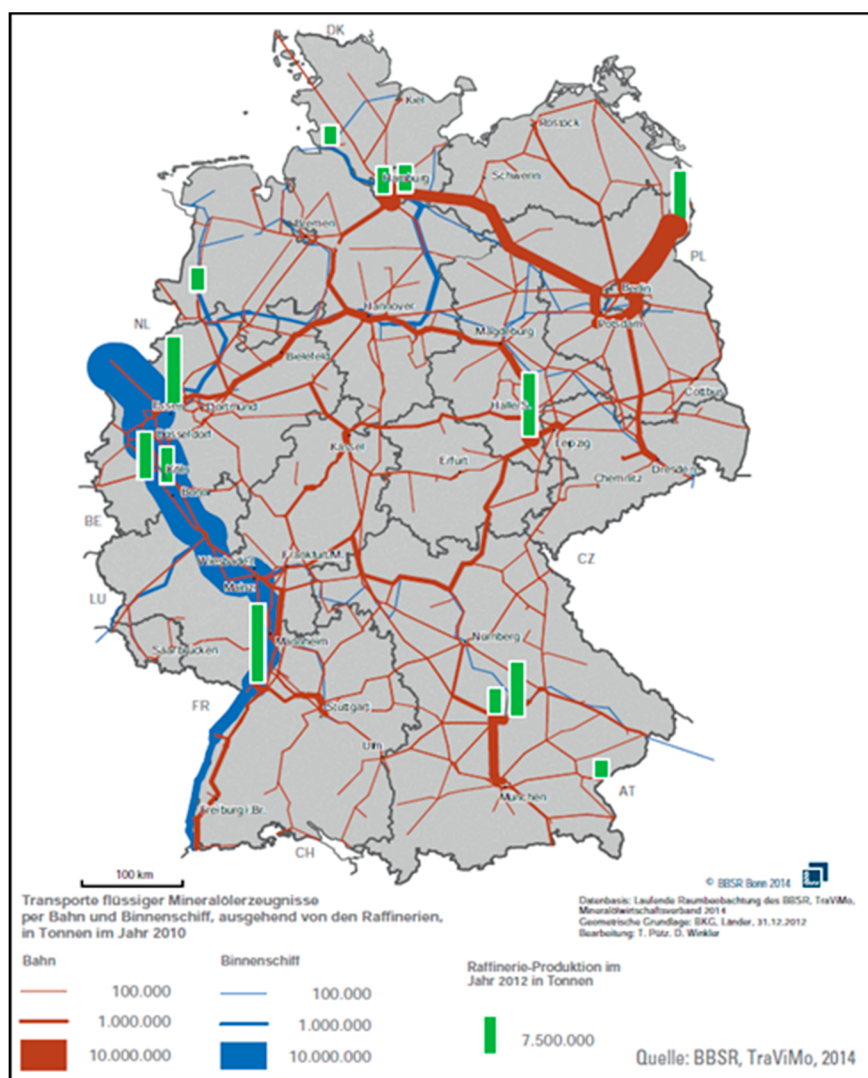
## Branche Mineralöl

### Vorbemerkungen

Rohöl wird per Pipeline oder Seeverkehr zu den Raffinerien transportiert. Von dort gelangen die daraus gewonnenen Produkte über Produktpipelines, Binnenschiffe oder mit der Bahn per Kesselwagen zu Tanklagern. Aus den rund 50 großen Tanklagern<sup>69</sup> in Deutschland werden 14.200 Straßentankstellen und 360 Autobahntankstellen per Tankwagen mit Kraftstoffen beliefert.<sup>70</sup> Aus weiteren über 200 kleineren Tanklagern werden auch Privathaushalte mit Heizöl versorgt.

Abbildung 6

### Transporte flüssiger Mineralölerzeugnisse per Bahn und Binnenschiff von den Raffinerien im Jahr 2010



Quelle: BBSR, TraViMo 2014

<sup>69</sup> Vgl. BP Europa SE (2013).

<sup>70</sup> Vgl. Scope Ratings AG (2017).

Am Beispiel der Kraftstoffversorgung wird der Weg des Öls besonders deutlich. Da die Wahl des Transportmittels neben den Systemeigenschaften abhängig von der Entfernung sowie Transportmenge und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit ist, wird im Nahbereich in der Regel der Lkw eingesetzt, über längere Strecken Binnenschiff und die Bahn.

Im Jahr 2010 wurden rund 73,4 Mio. Tonnen Mineralölprodukte per Bahn oder Binnenschiff in Deutschland transportiert. Der Transportstrom teilte sich mit ca. 34,7 Mio. Tonnen auf das Binnenschiff und ca. 38,7 Mio. Tonnen auf die Bahn auf. Die Haupttransportrouten liegen dabei bezogen auf die Schiene zwischen Brandenburg (Raffineriestandort Schwedt) und Hamburg (3,453 Mio. Tonnen) sowie Ingolstadt und München (1,478 Mio. Tonnen). Die größten Binnenschifftransporte von Mineralölprodukten verlaufen hingegen auf dem Abschnitt zwischen Köln und Amsterdam (0,76 Mio. Tonnen) sowie Essen und Maastricht (0,707 Mio. Tonnen).

Die Auswertung des Transportstrom-Visualisierungs-Modells (TraViMo) des BBSR aus dem Jahr 2014 zeigt, dass die meisten Raffinerien in Deutschland über eine bi-modale Logistikstruktur für den Vertrieb ihrer Mineralölprodukte verfügen.<sup>71</sup> Die Mehrzahl der Raffinerien nutzen im Jahr 2010 sowohl die Bahn als auch das Binnenschiff für den Transport ihrer Produkte zu den Zwischen- und Endabnehmern. Rund 33 % der Mineralöltransporte von den Raffinerien erfolgten im Jahr 2010 mit dem Binnenschiff und 67 % der abgehenden Mineralöltransporte mit der Bahn.

### Auswirkungen

Aufgrund der im Szenario angenommenen langanhaltenden extremen Niedrigwasserphasen insbesondere am Rhein könnte die Versorgung von Haushalten und Unternehmen mit Kraftstoffen regional beeinträchtigt werden. Beispielsweise hatten bereits beim Niedrigwasser des Jahres 2018 (Stand November 2018) einzelne Tankstellen stundenweise keinen Treibstoff mehr.<sup>72</sup> Dies wurde auch dadurch verstärkt, dass eine Verlagerung der Transporte von Mineralölprodukten vom Schiff auf Schiene und Straße nur eingeschränkt möglich ist.

- Aufgrund der eingeschränkten Transportkapazitäten (Beladung der Schiffe 50 %-> teilweise unter 50 % der normalen Kapazitäten) auf den Flüssen (insbesondere des Rheins) kann der Bedarf an Heizöl, Benzin oder Diesel nicht mehr gedeckt werden. Dies führt nicht nur zu Versorgungsengpässen, sondern auch zu einer starken Verteuerung der Kraftstoffe.<sup>73</sup>
- Wegen der niedrigen Pegelstände an wichtigen Flüssen hat der Bund im Jahr 2018 auch einen Teil der strategischen Ölreserven freigegeben. Dabei handelt es sich um Benzin, Diesel und Kerosin im Umfang von insgesamt 271.000 Tonnen Rohöläquivalent. Mit dem Schritt sollen Versorgungsengpässe in den Bundesländern gemildert werden, die besonders durch die Transporteinschränkungen auf Rhein und Main betroffen sind. Strategische Reserven wurden zuletzt beim Hurrikan Katrina in den USA 2005 und während der Libyen-Krise 2011<sup>74</sup> freigegeben.

Das Lagezentrum des Bundesverkehrsministeriums (BMVI) ist zuständig für um die regionalen „Benzin-Notstände“. Das BMVI ist im Austausch mit der Mineralölwirtschaft und den Verbänden.<sup>75</sup>

<sup>71</sup> Vgl. Buthe/Jakubowski/Winkler, 2014, S.16.

<sup>72</sup> Vgl. General-Anzeiger Bonn vom 05.12.18: <http://www.general-anzeiger-bonn.de/region/koeln-und-rheinland/Regierungsbezirk-K%C3%B6ln-darf-auf-%C3%96lreserven-zugreifen-article3968059.html>.

<sup>73</sup> Vgl. Süddeutsche Zeitung vom 11.11.2018: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/heizuel-preise-1.4204597>.

<sup>74</sup> Vgl. Reuters v. 26.10.2018 <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/niedrige-pegelstaende-bund-gibt-oelreserven-frei-15858010.html>.

<sup>75</sup> Vgl. Tankstellen in NRW geht der Sprit aus – Bund arbeitet mit „Hochdruck“ [https://www.wz.de/nrw/tankstellen-in-nrw-geht-das-benzin-bund-arbeitet-mit-hochdruck\\_aid-34556283](https://www.wz.de/nrw/tankstellen-in-nrw-geht-das-benzin-bund-arbeitet-mit-hochdruck_aid-34556283).

## Sektor Transport und Verkehr

### Grundannahmen

Extremwetterereignisse wie eine lang anhaltende Dürre haben zeitlich befristete Einschränkungen sowie Unterbrechungen der Nutzbarkeit von an sich funktionsfähigen Anlagen der Verkehrsinfrastruktur zur Folge. Je nach Intensität der Störung treten Schäden an der Infrastruktur selbst und/oder entsprechende Betriebsausfälle auf.

Grundsätzlich ist es erforderlich, die verkehrlichen Auswirkungen einer extremen Dürre funktional aber auch räumlich differenziert zu analysieren. Dabei müssen neben den punktförmigen Verkehrsinfrastrukturen wie Flug- oder See- und Binnenhäfen gerade auch linienförmige Verkehrsinfrastrukturen und deren Vernetzung überprüft werden. Zudem ist davon auszugehen, dass sich durch eine Dürre in Deutschland auch die Transportströme ändern werden, da beispielsweise von Knappheit betroffene heimische Landwirtschaftsprodukte durch Importe substituiert werden müssen (vgl. Branche „Ernährungswirtschaft“). Des Weiteren ist vorstellbar, dass durch Strom- oder Wassermangel (vgl. Branchen „Elektrizität“ und „öffentliche Trinkwasserversorgung“) die Produktion in einigen Branchen gedrosselt werden muss. Dies würde zu einer Reduktion der Transportströme führen.

#### Branche Luftfahrt

Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass es im angenommenen Szenario zu keinen bundesrelevanten Auswirkungen auf den Flugverkehr kommen wird. Allerdings soll an dieser Stelle auf mögliche, denkbare Auswirkungen, die im Fall eines extremen außergewöhnlichen Dürreereignis auch bis hin zur Einstellung des Flugverkehrs führen könnten, hingewiesen werden:

- Auf Flughäfen gelten strenge Brandschutzbestimmungen, um die Sicherheit von Menschen und Maschinen zu garantieren. Dabei muss eine Löschwasserversorgung auf dem gesamten Flughafengelände auch unter schwierigsten Bedingungen immer sichergestellt sein. Je nachdem, wie ein Flughafen seine Löschwasserversorgung sicherstellt, kann es zu sicherheitsbedingten Einschränkungen beim Flugbetrieb kommen.
- Es ist davon auszugehen, dass insbesondere im Zeitraum von Hitzewellen bzw. hohen Temperaturen, wie beispielsweise im letzten Szenariojahr angenommen, mit Beschädigungen der Oberflächen der Start- und Landebahnen gerechnet werden müssen. Diese können von Einschränkungen bis hin zu einer zeitweisen Einstellung des Flugverkehrs führen.<sup>76</sup>
- Vegetationsbrände wie sie auch im Szenario angenommen werden, können Einfluss auf die Sichtverhältnisse in der Luft haben. Sie können folglich den Flugbetrieb beeinträchtigen, sofern sie in der Nähe eines Flughafens auftreten.

<sup>76</sup> Vgl. Tagesschau vom 25.07.2018: <https://www.tagesschau.de/inland/hitze-sommer-101.html>.

**Branche Seeschifffahrt**

- Für große Seeschiffe bestehen wasserstandsbedingte Einschränkungen beim Einlaufen in einen Seehafen und besonders beim Auslaufen aus einem Tidehafen.<sup>77</sup>

**Hinweis:**

Die Seeschifffahrt ist im Szenario Dürre dann betroffen, wenn extrem geringer Zulauf von „oben“ (Oberwasser) in die Gezeitenzone der Flüsse gegeben und in den Wasserstandsganglinien sichtbar ist. Besonders betroffen sind (astronomischen) Niedrigwasserzeiten. In diesem Fall wäre nicht nur die Seeschifffahrt betroffen, sondern auch Energieunternehmen (z. B. Kernkraftwerke, vgl. Branche Energie).

- Diese Problematik könnte sich durch eine Dürre verschärfen. Zudem könnte sich der Weitertransport der Güter durch die Binnenschifffahrt als problematisch erweisen. Sollte es zu einem kompletten Ausfall der Binnenschifffahrt kommen, würden keine ausreichenden Kapazitäten zum Abtransport der Güter zur Verfügung stehen. Weder die Straße noch die Schiene sind in der Lage, die wegfallenden Transportkapazitäten der Binnenschifffahrt von der Menge her zu kompensieren.
- Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Funktionssicherheit des Seeverkehrs ist die Stromversorgung. Seehäfen sind stark automatisiert und auf eine funktionierende Stromversorgung angewiesen. Ohne Elektrizität müssen Seehäfen geschlossen werden und somit würde der komplette Güterumschlag eingestellt werden.

<sup>77</sup> Vgl. PIANC (2012) S.93 ff.

**Branche Binnenschifffahrt<sup>78</sup>**

- Durch die Hitze und das sinkende Grundwasser sinken sowohl in den Flüssen als auch in den Kanälen die Pegelstände. Die Aufrechterhaltung des Betriebs bei sinkenden Wasserständen wird immer schwieriger. Wird ein bestimmter Pegel an einer bestimmten Stelle bzw. Wasserstraßenabschnitt unterschritten, wird bei moderaten Niedrigwasserständen zunächst die geladene Gütermenge in den Güterschiffen reduziert bzw. auf zusätzliche Güterschiffe verteilt, um den Tiefgang der Schiffe zu reduzieren und ein Aufahren auf den Grund zu vermeiden. Das Verteilen der Fracht auf zusätzliche Güterschiffe stößt jedoch aufgrund mangelnder Binnenschiffkapazitäten schnell an Grenzen. Bei weiter fallenden Pegelständen kommt es an den entsprechenden Wasserstraßenabschnitten vorübergehend zur Einstellung der Binnenschifffahrt.
- Zu Beginn der Dürreentwicklung kann aufgrund von noch freien Kapazitäten ein kleiner Teil der transportierten Güter auf Schiene und auf Lkw umgeladen werden. Da sich das Szenario sehr langsam (über Wochen und Monate) entwickelt und entsprechende Erfahrungswerte aus historischen Niedrigwasserereignissen im Sektor Transport und Verkehr vorliegen, ist damit zu rechnen, dass die Organisation der Gütertransportumverteilung effektiv und ökonomisch abläuft (mit einer Chaosphase, wie in plötzlich eintretenden Katastrophen/Szenarien, ist nicht zu rechnen).
- Mengen im zweistelligen Millionenbereich (Tonnen) können jedoch nicht ohne weiteres von anderen Verkehrsträgern aufgenommen werden. Insbesondere im Massengutbereich würde es auf Dauer zu massiven Problemen kommen.
- Über die Binnenschifffahrt werden überwiegend Massen- und Schüttgut aus den folgenden Gütergruppen transportiert (in mengenmäßig absteigender Reihenfolge): „Erze, Steine u. Erden u. Ä.“, „Kokerei- und Mineralölerzeugnisse“, „Kohle, rohes Erdöl und Erdgas“, „Chemische Erzeugnisse“, „Landwirtschaftliche u. verw. Erzeugnisse“. Hierbei handelt es sich überwiegend um Produkte, die nicht unmittelbar für die überlebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung vorgesehen sind.
- Aufgrund der Einschränkungen, bis hin zur streckenweisen vorübergehenden Einstellung der Binnenschifffahrt im Verlauf des Szenarios, ist mit folgenden Auswirkungen zu rechnen:
  - Geringe Ausfälle mit Verspätungen in der Frachtgutzustellung bis hin zu Totalausfällen beim Transport von Gütern auf den Binnenschifffahrtsstraßen treten ein. So müsste beispielsweise die Schwerindustrie ihre Produktion drosseln oder sogar einstellen, da weder die Versorgung mit Rohstoffen, noch der Versand der fertigen Produkte möglich wäre.
  - Damit sind große wirtschaftliche Schäden in verschiedenen Branchen in ganz Deutschland verbunden.
  - Es kommt zu Produktverteuerungen (teilweise sehr schnell wie bspw. bei Mineralölerzeugnissen wie Heizöl).
  - Mit fallenden Pegelständen wird der Fährverkehr nach und nach eingestellt (zur Vermeidung eines Auflaufens der Fähren auf den Grund und durch eine unzureichende Länge der Fähranlegestege/-rampen). Hierdurch müssen vorhandene Umwege über Flussbrücken genutzt werden, was zu erheblichen Verspätungen – und Staus auf Brücken – im Personenverkehr führt.
- **Fallbeispiel Rhein**
  - Im Jahr 2014 wurden, basierend auf TraViMo, auf dem Rhein flussaufwärts auf Höhe der Loreley rund 3.586.169 Tonnen chemische Erzeugnisse, 3.401.365 Tonnen land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse, 2.343.393 Tonnen Mineralölerzeugnisse sowie 2.239.111 Tonnen Sekundärrohstoffe transportiert. Flussabwärts wurden an gleicher Stelle 9.687.530 Tonnen Mineralölerzeugnisse,

<sup>78</sup> Weitere Informationen finden sich in den Ergebnissen und Publikationen aus den BMVI-Forschungsprogrammen:

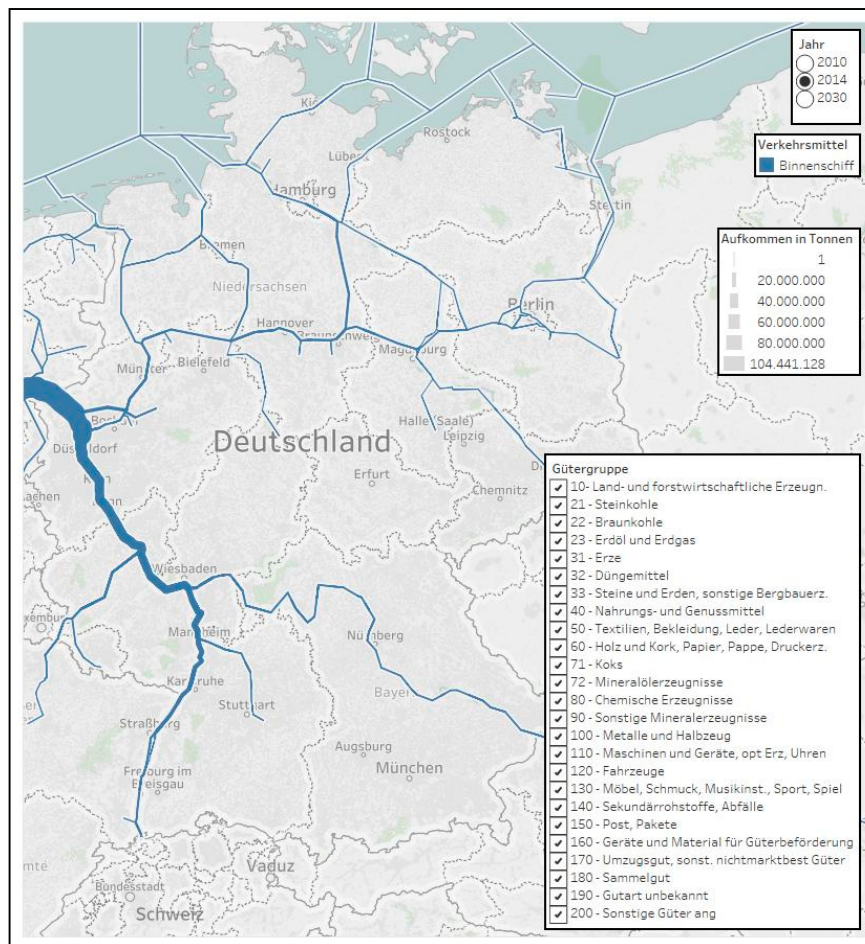
- BMVI-KLIWAS [http://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/homepage\\_node.html](http://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/homepage_node.html) [letzter Abruf: 26.11.2018].
- BMVI-Expertennetzwerk [https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Home/home\\_node.html](https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Home/home_node.html) [letzter Abruf: 26.11.2018].

5.642.887 Tonnen Steinkohle, 5.303.614 Tonnen chemische Erzeugnisse sowie 2.137.414 Tonnen land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse transportiert.

- Eine längerfristige Störung der Rheinschifffahrt würde zur Folge haben, dass insbesondere Verkehre von und zu den ARA-Häfen (Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen) nur noch eingeschränkt, ggf. auch nicht mehr per Binnenschiff stattfinden könnten. Eine dauerhafte Unterbrechung der Verbindungen ohne Substitution durch die Bahn würde zu massiven Versorgungsengpässen in den südlichen Regionen Deutschlands sowie in der Schweiz im Bereich des Massengutes führen. Die Abbildung 6 zeigt, welche Mengen im Jahr 2014 über die „Rheinschiene“ transportiert wurden.
- Aufgrund des in diesem Szenario langandauernden Niedrigwassers wird davon ausgegangen, dass nur noch rd. 50 %<sup>79</sup> der üblichen Transportvolumen auf dem Rhein transportiert werden. (s. a. Auswirkungen z. B. auf die Branche Energie).

Abbildung 7

### Transportaufkommen Binnenschiff 2014 – Alle Güter



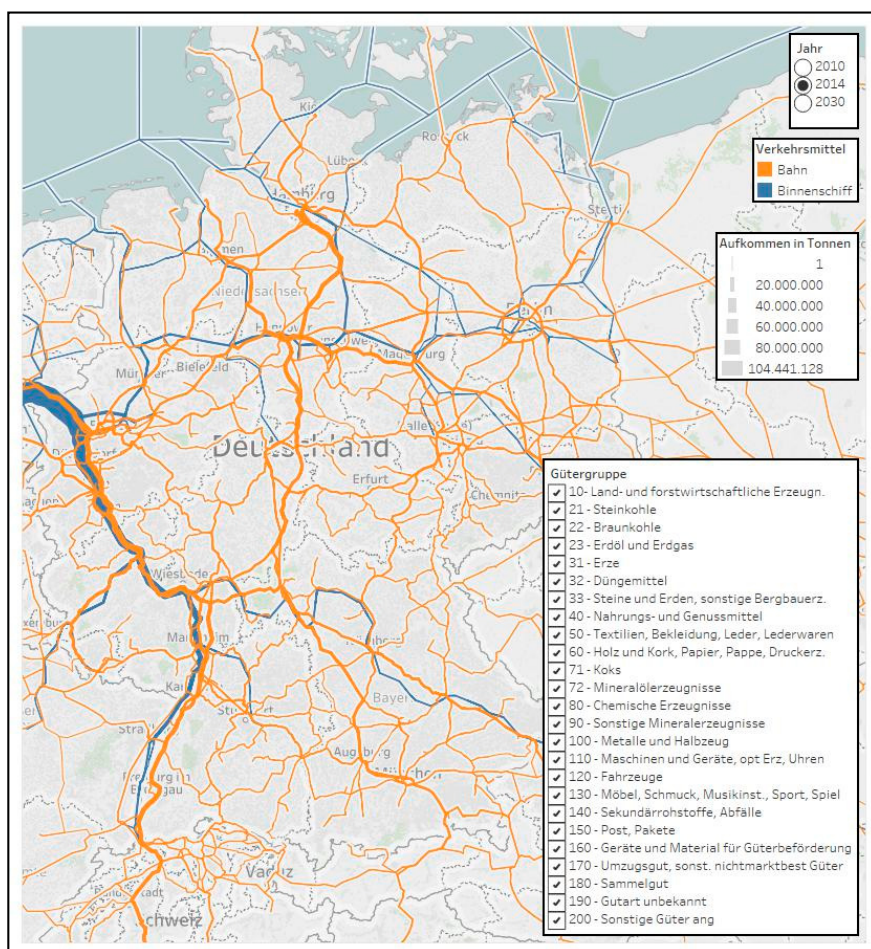
Quelle: BBSR, TraViMo 2018

<sup>79</sup> Insgesamt müssten für eine Abschätzung der Reduktion von Transorten/Transportströmen vertiefte Überlegungen zum Zusammenspiel der Faktoren Schiffskörper, Flottenstruktur, durch GLW/RNW definierte Flussabschnitte, beförderte Fracht in Abhängigkeit der Destination/Zielhafen und Ausprägung der Wasserstände (Andauer der Unterschreitung bestimmter Wasserstände) in den einzelnen Flussabschnitten gemacht werden. Dies ist im Rahmen der Risikoanalyse Bund nicht möglich.

**Branche Schienenverkehr<sup>80</sup>**

- Während die Binnenschifffahrt direkt von der Dürre betroffen ist, kommt es bei der Bahn im Verlauf des Szenarios in erster Linie zu hitzebedingten Ausfällen. Defekte Klimaanlage und insbesondere Gleisverformungen können die Funktionsfähigkeit der Bahn in einem erheblichen Maße stören. Wald- und Böschungsbrände in Nähe der Gleise können zu Beeinträchtigungen und zeitweisen Streckensperrungen führen.<sup>81</sup> Im Extremfall kann ein Stromausfall den Bahnverkehr zum Erliegen bringen.
- Ein weiterer wichtiger Aspekt im Falle einer Dürre sind die bahnseitigen Kapazitäten. Sollte es bis hin zu einem Verkehrsträgerausfall in der Binnenschifffahrt kommen, so müssten wichtige Transporte von der Bahn übernommen werden. Die Abbildung 8 zeigt die Verkehrsströme für das Jahr 2014 für die Verkehrsträger Schiene und Binnenschiff. Die Breite der Linien zeigt, welche Mengen und Routen eventuell vom Binnenschiff auf die Schiene verlagert werden müssten. Da auf bestimmten Bahnstrecken bereits heute Kapazitätsgrenzen erreicht sind, ist es unrealistisch anzunehmen, dass die Bahn die dürrebedingten Ausfälle der Binnenschifffahrt in Gänze kompensieren kann.

Abbildung 8

**Transportaufkommen Bahn und Binnenschiff 2014 – Alle Güter**

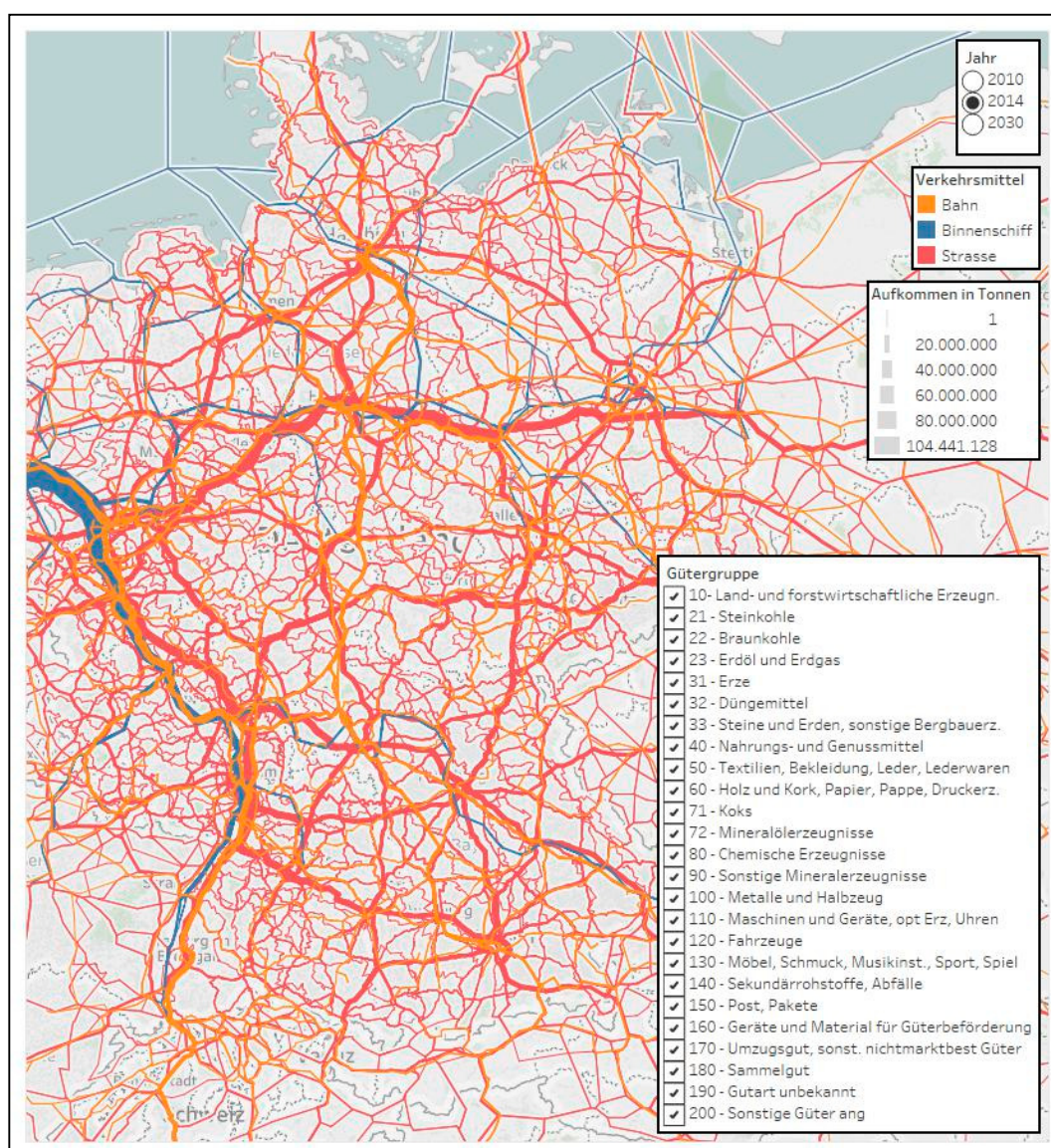
Quelle: BBSR, TraViMo 2018

<sup>80</sup> Vgl. BMVI (2018)<sup>81</sup> Vgl. WDR vom 07.08.2018: <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/brand-siegburg-brueckberg-100.html>.

**Branche Straßenverkehr<sup>82</sup>**

- Der Straßenverkehr ist im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern am wenigsten von der Dürre betroffen. In Kombination mit der Hitze wird es regional zu Schäden im Straßenbelag kommen, was Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie Geschwindigkeitsbegrenzungen zur Folge haben kann.<sup>83</sup>
- Wald- und Böschungsbrände in Straßennähe können ebenfalls den Straßenverkehr beeinträchtigen und zu zeitweisen Streckensperrungen führen. In Kombination mit der Hitze wird es regional zu Schäden im Straßenbelag kommen.

Abbildung 9

**Transportaufkommen der Bahn, Binnenschiff und Straße 2014 – Alle Güter**

Quelle: BBSR, TraViMo 2018

<sup>82</sup> Vgl. auch: BMVI (2018)<sup>83</sup> Vgl. SWR 2018: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/Heisse-Hundstage-in-Baden-Wuerttemberg-Tempo-80-auf-Autobahnen-wegen-Hitze,hitze-hundstage-baden-wuerttemberg-100.html>.

**Branche Logistik**

- Durch den Wegfall von Transportkapazitäten bei der Binnenschifffahrt werden dürrebedingt die Transportkosten generell steigen.
- Da wo es möglich ist, werden Verlagerungen auf die Straße und Schiene stattfinden.
- Durch die hohe Komplexität der Logistik entsteht für die Branche ein extrem hoher Koordinationsaufwand die Verlagerungen von der Binnenschifffahrt auf Straße und Schiene durchzuführen. Aufgrund mangelnder Transportkapazitäten zur Kompensation der Ausfälle kommt es zu Verzögerungen, Lieferengpässen bzw. teilweise auch zu Lieferausfällen in vielen Branchen (vgl. z. B. Ausführungen zu den Branchen Energie und Ernährung).

**Sektor Gesundheit****Branche Medizinische Versorgung**

- Im Sommer des 6. Szenariojahres kommt es zu einer Hitzewelle. Aufgrund der Erfahrungen (insbesondere) aus den Mega-Hitzewellen 2003 und 2010 ist von einer Übersterblichkeit auszugehen (Lungen- und Herzversagen).<sup>84</sup>
- Hinzu kommt ein erhöhtes Aufkommen in den Krankenhäusern (Kreislaufkollaps etc.), Versorgungszentren und Arztpraxen. Die Bettenverfügbarkeit der Krankenhäuser wird durch vorzeitige Entlassungen, Verschiebungen/Absagen geplanter Eingriffe etc. erhöht.
- Die medizinische Versorgung bleibt während der Dürre- und insbesondere während der Hitzeperiode gewährleistet, stellt jedoch Arztpraxen, Versorgungszentren (MVZ) und Krankenhäuser aufgrund des stark erhöhten Patientenaufkommens sowie der Eigenbetroffenheit (körperliche Belastung des Personals durch die Hitze bei selten vorhandenen Klimaanlage) vor große Herausforderungen.

**Branche Arzneimittel und Impfstoffe**

- Zur Herstellung von Arzneimitteln und Impfstoffen wird Wasser benötigt. Sollte es aufgrund eines länger anhaltenden Dürreereignisses zu einer Verknappung von Wasser insbesondere für die Industrie kommen, könnte es als Folge dessen ggf. zu Engpässen einzelner Arzneimittel kommen.
- Ein nicht unbedeutender Teil bestimmter Wirkstoffe, insbesondere zur Herstellung von Generika, werden im außereuropäischen Raum produziert. Führt die Dürre zu Lieferengpässen (z. B. wegen Beschränkungen des Umschlages in Häfen aufgrund von Niedrigwasser), kann dies zunächst ggf. durch den Luftweg kompensiert werden. Erst wenn dieser nicht zur Verfügung stehen sollte, kann es ggf. aufgrund mangelnder Alternativen zu Versorgungsengpässen führen.

**Branche Labore**

- Soweit Labore nicht über eine eigene unabhängige Wasserversorgung durch nicht von der Dürre beeinflusste Brunnen verfügen, werden auch hier ggf. Folgen für den Betriebsablauf durch Wasserengpässe entstehen. Dies gilt auch (und im Besonderen) für Diagnostiklabore.

---

<sup>84</sup> Vgl. o.V., 2018

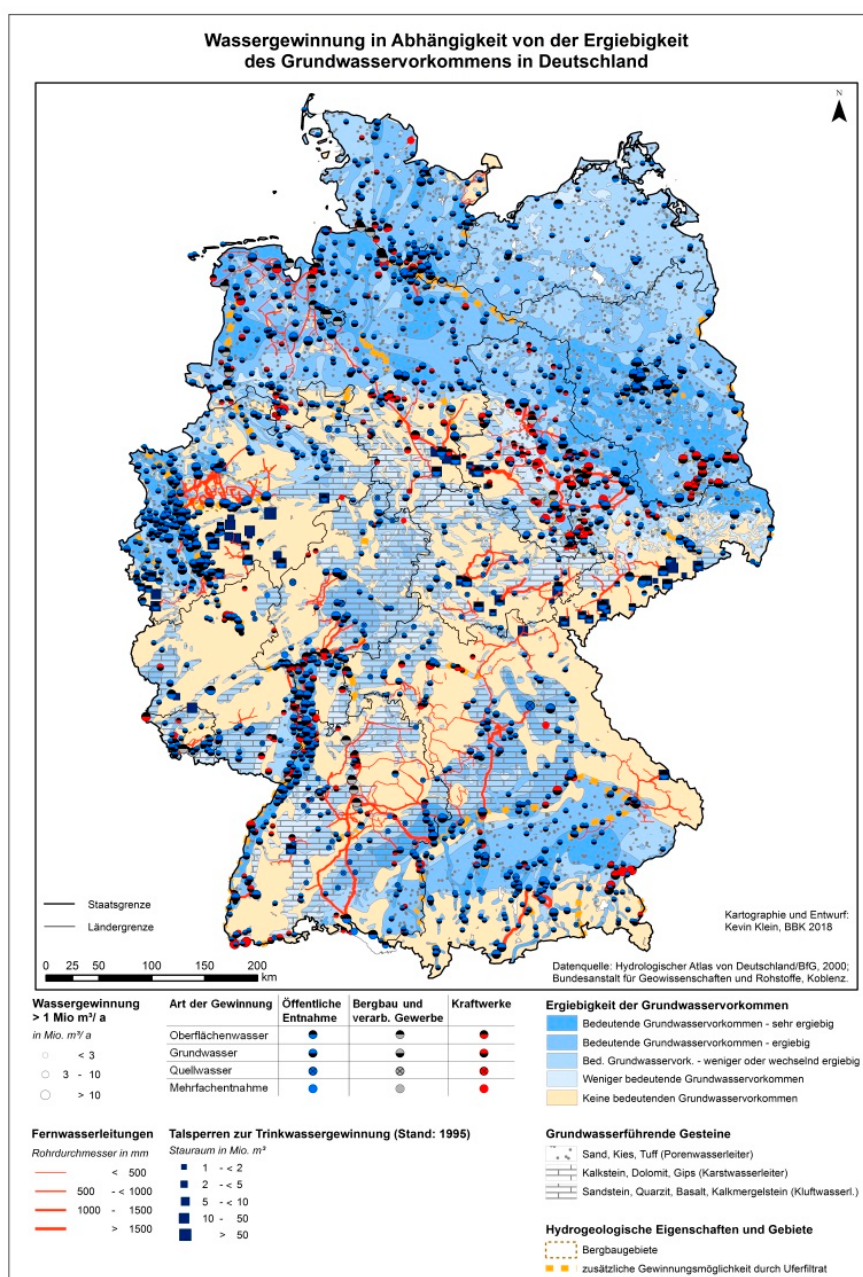
## Sektor Wasser

### Hintergrund

Etwa 70 % des Trinkwassers wird in Deutschland aus Grund- und Quellwasser gewonnen. Für die restlichen 30 % werden Talsperren, Flusswasser, Uferfiltrate oder angereichertes Grundwasser genutzt. Die Trinkwassergewinnung ist jedoch regional sehr unterschiedlich (siehe Abbildung 8). Beispielsweise wird etwa drei Viertel des Trinkwassers in Bayern aus Grundwasser gewonnen, in Nordrhein-Westfalen nur etwa die Hälfte (UBA 2016). In Abbildung 8 ist die Wassergewinnung in Deutschland in Verbindung mit der Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen dargestellt.

Abbildung 10

### Wassergewinnung in Deutschland



Quelle: BBK 2018

Entlang von Flüssen wirken sich Hoch- und Niedrigwasserereignisse auf den Grundwasserspiegel und damit auf die Wassernutzung aus. So kann Niedrigwasser im Zuge langer Dürreperioden auch zu einem Absinken des Grundwasserspiegels und damit zu Problemen bei der Gewinnung von Trinkwasser, die in vielen Regionen aus dem Grundwasserspeicher erfolgt, führen (Scherzer et al. 2010).

Der Wasserverbrauch ist in Deutschland seit mehreren Jahrzehnten rückläufig und liegt seit einigen Jahren auf einem Niveau von 120 bis 123 Liter pro Kopf und Tag. Zu beachten ist hierbei, dass die Variabilität des täglichen Wasserbedarfs u. a. von der regionalen Hydrogeologie und dem Wohnumfeld (Stadt/Land) abhängig ist. Diverse veröffentlichte Forschungsergebnisse und Untersuchungen zeigen, dass sich die Variabilität des Wasserbedarfs zukünftig deutlich weiter erhöhen wird. Insbesondere werden stärkere saisonale Schwankungen – z. B. durch heiße, trockene Sommer – prognostiziert. Der Großteil der Untersuchungen geht davon aus, dass in den meisten deutschen Regionen mit einem Anstieg des Wasserbedarfs während langer Hitzeperioden zu rechnen ist. Die Wasserversorgungsunternehmen bilden den Spitzenbedarf in den Jahresgewinnungs- und Bezugsmengen mit einem Aufschlag ab. Problematisch ist in der Trinkwasserversorgung nicht die Jahresmenge, sondern der Spitzenbedarf bzw. 14-tägige Spitzenbedarf. Technische Einschränkungen, wie z. B. fehlende Leitungsverbünde, können dazu führen, dass die Versorgungssicherheit eingeschränkt sein kann. Der Einsatz wassersparender Technologien kann dazu führen, dass sich der Grundbedarf reduziert. Der Spitzenwasserbedarf wird sich durch die langanhaltende Trockenheit jedoch weiter erhöhen. Hieraus ergibt sich eine Spreizung zwischen Grund- und Spitzenbedarf auf den die Anlagenteile der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) angepasst werden müssen. In Gebieten mit einem Bevölkerungsrückgang besteht oftmals auch die Notwendigkeit die Anlagenteile entsprechend anzupassen, um längere Stillstandszeiten des Trinkwassers im Netz zu vermeiden (siehe hierzu Groth und Rose 2017).

Die öffentliche Wasserversorgung hat vor anderen Wassernutzungen grundsätzlich eine Vorrangstellung. Dennoch bedarf es im Hinblick auf das hier skizzierte Szenario einer regionalen Differenzierung. Eine erhöhte Betroffenheit ist in solchen Gebieten zu erwarten, in denen die Trinkwasserversorgung bereits heute angespannt ist oder in Konkurrenz zu anderen Nutzungen (z. B. der Landwirtschaft) steht. Hierzu zählen unter anderem die östliche Lüneburger Heide und zentrale Bereiche Ostdeutschlands. Auch Regionen, in denen sich die Wasserversorgung primär auf Quellen mit wenig ergiebigen Kluftgrundwasserleitern<sup>85</sup> stützt, wie z. B. im süddeutschen Moränenland, im Südschwarzwald, im Rheinischen Schiefergebirge und im ostbayerischen Grundgebirge, und keine redundante Wassergewinnung vorhanden ist, ist eine erhöhte Betroffenheit möglich (LAWA 2017).

---

<sup>85</sup> Ein Kluftgrundwasserleiter ist ein Grundwasserleiter aus Festgestein, z. B. klüftiger Sandstein.

**Branche Öffentliche Wasserversorgung**

Die öffentliche Wasserversorgung ist eine Aufgabe der Daseinsvorsorge (§ 50 Absatz 1 WHG), hat einen hohen gesellschaftlichen Stellenwert und genießt hinsichtlich der Bewirtschaftung der Gewässer Vorrang vor anderen Wassernutzungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 WHG). Sofern diese Grundsätze beibehalten werden, ist nicht davon auszugehen, dass die Trinkwasserversorgung in Deutschland **großräumig** und **dauerhaft** durch den Klimawandel beeinträchtigt wird (s. a. LAWA 2017).

Lange Dürreperioden können ggf. auch zu Problemen bei der Gewinnung von Trinkwasser führen. Die Betroffenheit und die Auswirkungen sind je nach Rohwasserressource (s. a. BMU 2000, DESTATIS 2015) zu differenzieren:

- **Grundwasser aus Brunnen** (60,9 % der Wassermenge der öffentlichen Wasserversorgung wird über Brunnen dem Grundwasser entnommen): Die Empfindlichkeit gegenüber Dürreperioden ist von der jeweiligen hydrogeologischen Situation und somit der Ergiebigkeit der grundwasserleitenden Gesteine abhängig. Mächtige Lockergesteinsgrundwasserleiter sind weniger empfindlich als geringmächtige Festgesteinsaquifere. Diese sind aufgrund ihrer spezifischen Klüftungen oder Verkarstungen sehr unterschiedlich zu bewerten.
- **Grundwasser aus Quellen** (8,4 %): Quellwasservorkommen mit kleinen Einzugsgebieten in Festgesteinsgrundwasserleitern sind gegenüber Dürreperioden empfindlicher als großflächige Lockergesteinsgrundwasserleiter.
- **Uferfiltrat** aus in Gewässernähe über Brunnen gewonnenes oberflächenwasserbeeinflusstes Grundwasser (8,6 %): Langanhaltende Niedrigwasserphasen in Oberflächengewässern führen zu einer Reduzierung der Grundwasserergiebigkeit und können in den Förderbrunnen zu Entnahmebeschränkungen führen.
- **Angereichertes Grundwasser** (mit Oberflächenwasser künstlich angereichertes Grundwasser) (8,8 %): Langanhaltende Niedrigwasserphasen können zu einer Verringerung der Grundwasseranreicherung im Vorfeld der Gewinnungsanlagen und damit zu Entnahmebeschränkungen führen.
- **Fließgewässer** (1,2 %): Probleme durch höhere Stoffkonzentrationen bei Niedrigwasser, Entnahmebeschränkungen aus der fließenden Welle. In Abhängigkeit vom Uferfiltratanteil am gewonnenen Trinkwasser können auch diese Anlagen ggf. betroffen sein. Hier sind entsprechende Fließzeiten des Uferfiltrats und dessen Mischung mit natürlichem Grundwasser zu berücksichtigen.
- **Seen und Talsperren** (12,2 %): Verringerung des zur Wasserentnahme geeigneten Volumens, Pufferkapazität für belastete Zuflüsse sinkt, Veränderung chemischer oder biologischer Prozesse. In den Sommermonaten können sich bei häufiger oder langanhaltender Trockenheit die Zuflüsse zu einer Talsperre reduzieren. Ferner können eine erhöhte Strahlungsenergie und eine Verlängerung der Sommerstagnation dazu beitragen, dass die Prozesse der Eutrophierung in dem Staubecken der Talsperre verstärkt werden. Der Aufwand für die Aufbereitung von Rohwasser<sup>86</sup> zu Trinkwasser kann dadurch zunehmen.
- Die Art der Wassergewinnung alleine lässt jedoch keinen unmittelbaren Rückschluss auf die Versorgungssicherheit zu, da hierfür auch die technischen Anlagenstrukturen und der jeweilige Wasserbedarf (Grund- und Spitzenbedarf) entscheidend sind. Generell sind vernetzte, sich auf mehrere Gewinnungsanlagen stützende Versorgungssysteme, die ggf. auch unterschiedliche Ressourcen nutzen, resilienter und weniger anfällig gegenüber den Auswirkungen langanhaltender Dürren. Ausschlaggebend für den Spitzenbedarf ist auch die Periodenlänge von Hitze- und Sommertage bzw. deren Abfolge innerhalb eines Jahres.
- Dürreperioden (verbunden mit dem Anstieg von Hitzetagen), können die Wassernachfrage verstärken. Daher sind die Versorgungsbetriebe bestrebt die Versorgung auch bei Spitzenbedarf (Tagesspitzenbedarf, 14-Tagesspitzenbedarf) sicherzustellen. Übersteigt der Spitzenwasserbedarf die technischen Gewinnungs-, Aufbereitungs-, Speicher- oder Transportkapazitäten oder sind die Gewinnungskapazitäten durch

<sup>86</sup> Vgl. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (2013): Aktualisierung der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel, Magdeburg.

eine Dürreperiode eingeschränkt, kann der Wasserversorger die Wasserverwendung für bestimmte Zwecke beschränken (z. B. Gartenbewässerung, Autowäsche), wenn dies zur Aufrechterhaltung der allgemeinen Wasserversorgung erforderlich ist (§ 22 Absatz 2 AVBWasserV). Die Betroffenheit privater Einzelversorgungen (0,7 % der Einwohner der Bundesrepublik sind nicht an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen) wird hier nicht näher betrachtet.

- Fallbeispiele für Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung durch Hitze/Trockenheit

➤ **Erfahrungen aus dem Hitzesommer 2003:**

Regional begrenzte Folgen des Hitzesommers 2003: Für die Wasserwirtschaft waren die gravierendsten Folgen der langen Dürreperiode das Absinken der Abflüsse und Wasserstände in den Fließgewässern sowie der Wasserstände in Seen und im Grundwasser. Dies traf mit einem erhöhten Wasserbedarf vor allem der privaten Haushalte zusammen. Vereinzelt kam es zu Versorgungsbeeinträchtigungen, z. B. durch die Anreicherung von Mikroorganismen in Oberflächengewässern und somit auch vereinzelt zu einer auffälligen Verschlechterung der Trinkwasserqualität. (Braubach 2011). Insgesamt war die Trinkwasserversorgung jedoch gesichert. Engpässe gab es bei einigen kleinen Gemeinden und Versorgungsunternehmen, die primär Quellwasser nutzen. Hier waren zeitweise auch Ersatzwasserversorgungsmaßnahmen (u. a. Tankwagen) erforderlich (Köhler et al. 2007) (siehe hierzu DVGW-Information Wasser Nr. 96, 2018)

➤ **Niedrigwassersituation 2015 in Bayern:**

Die Niedrigwassersituation führte zu einzelnen lokal beschränkten Engpässen in der Trinkwasserversorgung. Betroffen waren vor allem kleinere Wasserversorger in Nord- und Ostbayern, die für die Trinkwasserbereitstellungen überwiegend Quellen nutzen.

➤ **Trockenperiode 2018:**

Die langanhaltende Trockenperiode (Februar bis einschließlich November 2018 (Niederschrift im November 2018) des Jahres 2018 führte zu vergleichbaren Auswirkungen bei Oberflächengewässern und Grundwasser sowie der öffentlichen Wasserversorgung wie in den Jahren 2003 und 2015.

*Maßnahmen:*

Folgende Maßnahmen könnten von Behörden und Betreibern im Verlauf eines Dürreereignisses ergriffen werden:<sup>87</sup>

- Intensivierung der Gewässerschutzmaßnahmen im Einzugsgebiet zum Erhalt der Wasserqualität (z. B. Verringerung von Schadstoffeinträge) und der Wasserquantität (z. B. Versiegelungsmaßnahmen reduzieren)
- Intensivierung des Monitorings im Einzugsgebiet um frühzeitig auf Belastungen reagieren zu können
- Ausnutzen von betrieblichen Sicherheitsreserven bei der Wasseraufbereitung (z. B. Optimierung der Filterspülbetriebs durch Minimierung der Spülwässer und höhere Durchlaufmengen)
- Aufruf zum Wassersparen durch die WVU sowie Information der Bevölkerung über die lokalen Behörden und Medien.
- Beschränkungen der Wasserverwendung durch die WVU zur Sicherstellung der allgemeinen Wasserversorgung aufgrund der sich im Verlauf des Ereignisses lokal abzeichnenden angespannten Versorgungssituation (u. a. für das Wassersprengen von Gärten, Rasenflächen, Spiel- und Sportplätzen, die Autowäsche oder die Befüllung von privaten Swimmingpools).<sup>88</sup>

<sup>87</sup> Die hier beschriebenen Maßnahmen stellen eine Auswahl dar und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. In welchem Umfang zu welchem Zeitpunkt und über welche Dauer diese Maßnahmen ergriffen werden hängt im Wesentlichen von der jeweiligen Ausprägung der Dürre vor Ort und den jeweiligen lokalen Gegebenheiten wie u. a. Wasserdargebot, Wassernachfrage, Art der Wasserversorgung, vor Ort vorhandene technische Anlagenstrukturen für die Trinkwasserversorgung, ab.

<sup>88</sup> Die Beschränkung der Wasserverwendung für bestimmte Zwecke geschieht auf Grundlage von § 22 Absatz 2 der Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV).

- Mögliche Reduzierung der Trinkwasserabgabe an Großverbraucher sowie der Entnahmen für Nicht-Trinkwasserzwecke soweit diese die Trinkwassergewinnung einschränken würden
- Umsetzung von Maßnahmenplänen und Notfallvorsorgekonzepten, insbesondere zur Planung der Organisation der Ersatzwasserversorgung (leitungsgebunden, leitungsungebunden) durch das WVU und die zuständigen Behörden (Katastrophenschutz, Gesundheit, Umwelt).
- Beschaffung von Roh- oder Trinkwasser über zu aktivierende Notverbünde bei ersichtlichen örtlichen Versorgungsengpässen
- Dort, wo die Trinkwasserversorgung zeitweise auszufallen droht, wird soweit möglich, ggfs. mit Unterstützung des Katastrophenschutzes über mobile Notleitungen und Befüllung von Hochbehältern die Trinkwasserversorgung sichergestellt.
- Die Betreiber der Trinkwassertalsperren, deren zeitweiser Ausfall ebenfalls droht, ergreifen zur Sicherstellung der Wassermenge u. a. folgende Maßnahmen:
  - Beileitung von Wasser aus nicht genutzten Fremdgebieten in das Einzugsgebiet der Trinkwassertalsperre (Vergrößerung des Wasserdargebots)
  - Verbundbewirtschaftung mit anderen Talsperren- und Grundwasserwerken (Ausnutzung von Redundanzen)
  - Reduzierung der Unterwasserabgabe (nach Abstimmung mit der zuständigen Wasserrechtsbehörde)Zur Sicherstellung der Wassergüte werden folgende Maßnahmen ergriffen:
  - Tiefenwasserbelüftung
  - Optimierung der Entnahmehöhen (Rohwasser, Unterwasserabgabe)
- Dort wo die leitungsgebundene Trinkwasserversorgung nicht mehr aufrecht erhalten werden kann, wird von der Kommune in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden und den Wasserversorgern eine Ersatzwasserversorgung der Bevölkerung, u. a. über Wassertransporte (Tankwagen) oder geeignete leitungsunabhängige Brunnen (insb. Trinkwassernotbrunnen nach WasSiG) eingerichtet.<sup>89</sup> Zur Wasserabgabe an die Bevölkerung werden u. a. Gruppenzapfstellen aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Vorgaben der TrinkwV und die allgemein anerkannten Regeln der Technik sind hierbei zu beachten. Eine besondere Herausforderung stellt in diesem Kontext die Ersatzwasserversorgung sensibler Einrichtungen (wie Krankenhäuser oder Pflegeheime) dar. Über die Lage der leitungsunabhängigen Brunnen und die Wasserausgabe vor Ort wird die Bevölkerung von den zuständigen Behörden (z. B. untere Katastrophenschutzbehörde) informiert.

<sup>89</sup> Für die Unterscheidung zwischen Ersatzversorgung und Notversorgung mit Trinkwasser vgl. Hinweiskasten „Trinkwassernotversorgung des Bundes“, S. 25.

**Branche Öffentliche Abwasserbeseitigung**

- Eine lang anhaltende Dürre und die damit verbundene niedrige Niederschlagsmenge wirkt sich auf die Abflussverhältnisse in Mischwassersystemen aus, die zu einer erhöhten Schmutzwasserkonzentration in Folge geringer Verdünnung der Schmutzwasserfracht führen kann.
- Für den Betrieb und die Aufrechterhaltung der Abwasserentsorgung ist die Zulaufmenge von Abwasser relevant. Die Kläranlagen sind robust und es ist davon auszugehen, dass eine stark reduzierte Trinkwasserversorgung eher hinsichtlich der Aspekte der Hygiene und Aufrechterhaltung der Trinkwasserqualität zum Problem wird als dass eine Gefährdung der Abwasserbehandlung zu erwarten wäre. Mögliche Folgen sind aber grundsätzlich denkbar: Z. B. Ablagerungen/ Verstopfungen, Geruchsentwicklungen und die Förderung von Korrosion im Kanalnetz.
- Maßnahmen: Erhöhte Reinigungsleistungen der Kläranlagen durch eine erhöhte Schmutzwasserkonzentration. Spülen der Abwasserkanäle (mit Betriebs- und / oder Trinkwasser) um längere Standzeiten (Hygiene) des Abwassers zu vermeiden (mit Betriebs- und / oder Trinkwasser).

## Sektor Ernährung

### Hintergrund

Wasser in ausreichender Qualität und Menge ist in der gesamten Produktionskette von Lebensmitteln erforderlich. Die Tierhaltung und der Anbau von Pflanzen sind an die ausreichende Verfügbarkeit von Wasser gebunden. Die Zufuhr von Wasser bestimmt die Höhe und die Stabilität der Erträge. Wasser wird im Rahmen der landwirtschaftlichen Erzeugung und der weiteren Verarbeitung von Lebens- und Futtermitteln zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt. Neben der Bewässerung von Kulturen, derzeit sind in Deutschland ca. 4 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit Bewässerungseinrichtungen vorgerüstet, (bewässert werden knapp 3 % der Nutzfläche<sup>90</sup>), und dem Tränken von Vieh wird es auch zur Frostschutzberegnung (z. B. bei Obstkulturen, Kartoffeln), zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln sowie zum Waschen von Erntegütern und zur Reinigung von Maschinen und Anlagen eingesetzt. Im Rahmen der weiteren Verarbeitung der Lebensmittel wird Wasser zur Reinigung, Kühlung und Dampfgewinnung benötigt. Außerdem wird es als Zusatz z. B. bei der Vermahlung von Getreide oder bei der Herstellung von Wurstwaren verwendet. Bei der Gewinnung und Herstellung von Getränken ist Wasser der Hauptrohstoff. Eine verstärkte Entnahme von Grundwasser zu Beregnungszwecken kann zur Verstärkung der Abnahme der Flurabstände in Grundwasserleitern führen, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden.

Die Versorgung mit Nahrungsmitteln ist u. a. auch auf den Transport- und Energiesektor angewiesen, die ebenfalls durch Dürreperioden beeinträchtigt werden können (siehe Verkehr, Energie).

Die häufig große räumliche Ausdehnung einer Dürre hat zur Folge, dass auch die Nachbarländer unter Wassermangel leiden und damit der Zufluss von Wasser nach Deutschland sowie die Lieferung landwirtschaftlicher Erzeugnisse nicht oder nur reduziert erfolgen kann beziehungsweise diese Länder selber auf Importe angewiesen sind.

Eine Übersicht über die Wasserversorgung und den Verbrauch im Ernährungssektor (Stand 2012) ist der Studie zur Versorgungssicherheit mit Lebensmitteln, S. 195 – 105, zu entnehmen (BBK, 2012).

Im Jahr 2013 hatte der Agrar- und Ernährungssektor einen Anteil an der Eigengewinnung von Wasser nichtöffentlicher Betriebe von knapp 3 % und einen Anteil am Fremdbezug von rund 10 %.

Tabelle 5

#### **Eigengewinnung und Fremdbezug von Wasser durch nichtöffentliche Betriebe 2013 in Deutschland sowie anteilig im Agrarbereich und produzierende Ernährungswirtschaft in 1000 qm**

|                                                                        | <b>Eigengewinnung</b> | <b>Fremdbezug</b> |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Deutschland                                                            | 20 273 440            | 1 740 519         |
| Land- u. Forstwirtschaft, Fischerei einschließlich Beregnungsverbänden | 288 049               | 32 595            |
| Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln                            | 220 329               | 103 504           |
| Getränkeherstellung                                                    | 62 538                | 34 441            |

Quelle: Statistisches Bundesamt (2016): Umwelt. Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserversorgung. Fachserie 19 Reihe 2.2. Wiesbaden, S. 30ff.

<sup>90</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2017).

**Branche Ernährungswirtschaft****Auswirkungen auf die Landwirtschaft***Pflanzenbau, Ackerkulturen*

In Bezug auf die Landwirtschaft kann Dürre nicht mit einheitlichen Maßstäben beschrieben werden, da Dürre auch von regionalen Faktoren wie Klima- und Bodentypen sowie insbesondere auch den jeweils kultivierten Pflanzenarten abhängt.

Zur landwirtschaftlichen Dürre tragen mehrere Faktoren bei:

- ausbleibende oder verminderte Niederschläge
- zeitliche Verteilung der Niederschläge
- verminderte oder fehlende Pflanzenverfügbarkeit von Oberflächen- oder Grundwasser
- erhöhte Temperaturen und damit steigende Verdunstung
- geringe Luftfeuchte und damit steigende Verdunstung
- Wind und damit steigende Verdunstung
- Geringes Wasserspeichervermögen des Bodens im Bereich der Wurzelzone

Für die Abschätzungen wurden Forschungsergebnisse zur Wirkung von Bewässerung auf Getreide sowie Studien zu den Auswirkungen früherer Dürrejahre auf die Erträge landwirtschaftlicher Erzeugnisse ausgewertet (vgl. Anhang A).

Ertragsdaten der Real-Jahre 1971 bis 1976 als mehrjährige Trockenphase sowie des Jahres 2003 mit extremen Wetterphasen dienen als Referenz zur Abschätzung der Ernteerträge beim Szenario Dürre. Dabei soll die erwartete Situation 1976 (als Basis für das 6. Szenariojahr) im Vordergrund stehen.

In Tabelle 6 sind Szenario- und Real-Niederschläge, die Realergebnisse für Winterweizenenerträge sowie die jeweiligen Abweichungen von langjährigen Mittelwerten zusammengestellt.

In der langjährigen Entwicklung sind die Ernteerträge bei Winterweizen, Zuckerrüben und Kartoffeln deutlich gestiegen. Diese resultieren maßgeblich aus pflanzenbaulichen Fortschritten. Bei steigender Tendenz ist aber auch eine Variabilität der Erträge in den einzelnen Jahren zu erkennen.

Von extremwitterungsbedingten negativen Ertragsabweichungen ist nur dann auszugehen, wenn die Ertragsabweichungen höher sind als die normale Ertragsvariabilität. Diese liegt bei den meisten Ackerkulturen im Bereich von 6 % – 10 %, bei Raps und Roggen sogar bei 13,6 % bzw. 11,5 %.<sup>91</sup>

Ein einfacher Zusammenhang zwischen gemittelten meteorologischen Daten und gemittelten Erträgen und damit Erntemengen, lässt sich nicht feststellen.

Der Einfluss des Niederschlags wird am Vergleich der Abweichung vom Mittelwert der Erträge in Prozent deutlich. In den Real-Jahren 1971 bis 1973 sowie 1975 und 1976 wichen die Jahresniederschlagsmengen um 14 % bis 28 % vom langjährigen Mittel ab und im Jahr 2003 um 26 % ab.

Bei Winterweizen liegen die Mindererträge im Bereich der normalen Ertragsvariabilität mit Ausnahme der Jahre 1976 (-9,8 %) und 2003 (-11,0), bei Gerste nur für 2003 (-17,1 %).

Die Rapsenerträge lagen 2003 mit -17,1 % jenseits der normalen Variabilität. In den Jahren 1975, 1976 und 2003 lagen die Kartoffelerträge mit -8,2 %, -16,6 % und -13,8 % außerhalb des Bereichs normaler Variabilität. Bei den Erträgen für Silomais gilt dies für 1976 mit -16,1 % und 2003 mit -12,9 %.

1976 und 2003 sind die Jahre mit den geringsten Niederschlägen und den größten Ertragsdepressionen bei den meisten Ackerkulturen. Die hohen Ertragsrückgänge im Jahr 1973 sind vermutlich auf die niedrigen Temperaturen im Februar zurückzuführen. Bei gleicher Jahresniederschlagsmenge 1971 und 2003 waren

<sup>91</sup> Vgl. Thünen-Institut (2015), S.66.

1971 nur geringe Ertragsrückgänge und zum Teil überdurchschnittliche Erträge zu verzeichnen, vermutlich bedingt durch die hohen Niederschläge in der Hauptwachstumsphase (vgl. Szenario-Daten DWD).

Tabelle 6

### Niederschlags- und Erntedaten wichtiger Ackerkulturen

|                                            | Jahr                   | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1976  | 2003  | Ø 1981 - 2010 |
|--------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Niederschläge in mm<br>Veränderungen in %  | real                   | 593   | 652   | 693   | 873   | 623   | 582   | 597   | 804           |
|                                            | Szenario               | 445   | 489   | 520   | 655   | 488   | 437   |       |               |
|                                            | Real in % von Ø        | 74%   | 81%   | 86%   | 109%  | 77%   | 72%   | 74%   |               |
|                                            | Szenario in % von Ø    | 55%   | 61%   | 65%   | 81%   | 61%   | 54%   |       |               |
|                                            | Real in % von 2003     | 99%   | 109%  | 116%  | 146%  | 104%  | 97%   | 100%  |               |
|                                            | Szenario in % von 2003 | 75%   | 82%   | 87%   | 110%  | 82%   | 73%   |       |               |
| Ø 1967 - 1980                              |                        |       |       |       |       |       |       |       |               |
| Erträge in dt/ha                           | Winterweizen           | 46,8  | 40,8  | 44,8  | 48,3  | 45,5  | 41,9  | 65,5  | 44,9          |
|                                            | Gerste                 | 42,0  | 42,2  | 45,5  | 49,5  | 47,5  | 44,0  | 52,7  | 45,0          |
|                                            | Raps                   | 24,8  | 23,9  | 20,8  | 27,8  | 22,4  | 24,0  | 29,2  | 25,1          |
|                                            | Kartoffeln             | 273,9 | 298,9 | 284,6 | 311,2 | 261,3 | 236,2 | 345,2 | 282,7         |
|                                            | Zuckerrüben            | 457,6 | 442,3 | 450,5 | 447,1 | 427,7 | 408,9 | 532,2 | 453,0         |
|                                            | Silomais               | 398,2 | 434,7 | 448,4 | 437,9 | 445,5 | 369,0 | 379,9 | 430,0         |
| 9jahres-Mittelwerte in dt/ha               | Winterweizen           | 43,3  | 43,3  | 43,7  | 44,8  | 46,2  | 46,5  | 73,7  |               |
|                                            | Gerste                 | 43,6  | 43,8  | 44,2  | 45,3  | 45,9  | 46,9  | 63,6  |               |
|                                            | Raps                   | 24,3  | 23,9  | 23,9  | 24,6  | 24,9  | 25,3  | 35,2  |               |
|                                            | Kartoffeln             | 285,1 | 277,9 | 277,1 | 279,8 | 284,7 | 283,1 | 400,4 |               |
|                                            | Zuckerrüben            | 448,8 | 442,5 | 443,4 | 446,5 | 449,4 | 452,3 | 585,3 |               |
|                                            | Silomais               | 425,9 | 421,7 | 428,9 | 432,8 | 437,8 | 440,1 | 435,9 |               |
| Abweichung vom 9jahresmittel wert in dt/ha | Winterweizen           | 3,4   | -2,5  | 1,2   | 3,5   | -0,6  | -4,6  | -8,1  |               |
|                                            | Gerste                 | -1,6  | -1,6  | 1,3   | 4,2   | 1,5   | -2,8  | -10,9 |               |
|                                            | Raps                   | 0,6   | -0,1  | -3,2  | 3,2   | -2,5  | -1,3  | -6,0  |               |
|                                            | Kartoffeln             | -11,2 | 21,0  | 7,5   | 31,4  | -23,4 | -46,9 | -55,2 |               |
|                                            | Zuckerrüben            | 8,8   | -0,2  | 7,1   | 0,6   | -21,8 | -43,4 | -53,1 |               |
|                                            | Silomais               | -27,8 | 13,0  | 19,6  | 5,1   | 7,7   | -71,0 | -56,0 |               |
| Abweichung vom 9jahresmittel wert in %     | Winterweizen           | 8,0   | -5,8  | 2,7   | 7,7   | -1,3  | -9,8  | -11,0 |               |
|                                            | Gerste                 | -3,7  | -3,6  | 3,0   | 9,3   | 3,3   | -6,0  | -17,1 |               |
|                                            | Raps                   | 2,4   | -0,3  | -13,2 | 13,1  | -10,2 | -5,2  | -17,1 |               |
|                                            | Kartoffeln             | -3,9  | 7,6   | 2,7   | 11,2  | -8,2  | -16,6 | -13,8 |               |
|                                            | Zuckerrüben            | 2,0   | -0,1  | 1,6   | 0,1   | -4,8  | -9,6  | -9,1  |               |
|                                            | Silomais               | -6,5  | 3,1   | 4,6   | 1,2   | 1,8   | -16,1 | -12,9 |               |
| Niederschlag                               | in % vom Durchschnitt  | 74%   | 81%   | 86%   | 109%  | 77%   | 72%   | 74%   |               |

Quelle: Szenario-Daten des DWD, Erträge: Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen

### Einschätzung der Auswirkungen auf den Anbau und Ernte von Ackerkulturen

Im Zeitraum der Szenariojahre 1-5 sind die Niederschläge des Szenarios in 4 Jahren deutlich niedriger als im Real-Jahr 2003. Obwohl die Monatsdurchschnittstemperaturen in den Vegetationsmonaten niedriger liegen als in 2003, ist für die Szenariojahre 1 bis 3 und 5 anzunehmen, dass die Ertragsrückgänge bei Feldfrüchten aufgrund von Wassermangel höher ausfallen als die des Real-Jahres 2003. Zudem ist zu berücksichtigen, dass es sich im Gegensatz zum Einzeljahr 2003 um eine Folge von Trockenjahren handelt. Informationen zu den Feldkapazitäten der Böden liegen für das Szenario nicht vor. Es ist aber davon auszugehen, dass die pflanzenverfügbare Wassermenge geringer ist als in den Real-Jahren. Die im Szenario Ende des 4. Szenariojahres überdurchschnittlichen Niederschläge wirken sich positiv auf die Erträge der Feldfrüchte des Folgejahres aus.

Das 6. Szenario-Jahr ist in fast allen Aspekten extremer als das Real-Jahr 2003. Neben dem gegenüber 2003 deutlich geringeren Jahresniederschlag (-160 mm) wirken folgende Faktoren zusätzlich ertragsmindernd:

- Ausgeprägter Winterfrost und Tage mit strengem Frost ( $T_{\min} < -10^{\circ} \text{C}$ ) im Februar und März führt zu Auswinterungsschäden (Winterweizen, Wintergerste, Raps) Es ist damit zu rechnen, dass ca. 25 % der Wintersaatenflächen umgebrochen werden müssen. Die niedrigen Temperaturen führen zu einer verspäteten Aussaat von Sommersaaten (Getreide, Raps)<sup>92</sup>,
- Großer Anteil trockener Tage ( $< 1 \text{ mm/d}$ ) in den Monaten Februar bis Mai (beeinträchtigt Massenzuwachs und Blüte von Getreide, Raps sowie Wachstum von Kartoffeln und Zuckerrüben),
- Hohe Zahl an Tropentagen ( $T_{\max} > 30^{\circ} \text{C}$ ) von Mai bis Juli in Verbindung mit Trockenheit führt zu Hitze- und Trockenstress (Beeinträchtigung des Wachstums aller Ackerkulturen, geringere Kornzahlen Getreide und Raps).

In Summe sind unter den Szenariobedingungen für das letzte Szenariojahr, Ertragsdepressionen bis zu 60 % einer Durchschnittsernte zu erwarten<sup>93</sup>. Soweit auf Grund von Wasserengpässen Beregnungs-/Bewässerungsverbote für die Landwirtschaft ausgesprochen werden, ist bei Kartoffeln mit noch größeren Ertragseinbußen zu rechnen, da in Niedersachsen, dem maßgeblichen Kartoffelerzeugungsgebiet, Bewässerungsanbau verbreitet ist. Des Weiteren dürften durch die Auswinterung bis zu 25 % der Wintersaaten nicht zur Ernte kommen.

Nach den Erfahrungen aus dem Trockenjahr 2018 ist damit zu rechnen, dass für das Szenario-Folgejahr die Saatgutversorgung kritisch wird. Für das Wirtschaftsjahr 2018/2019 mussten Anforderungen für Roggen-saatgut herabgesetzt werden, da nicht ausreichend Saatgut erzeugt werden konnte das den üblichen Standards entspricht.

#### *Nutztierhaltung*

Hitze verursacht sowohl in der Freilandhaltung als auch in der Stallhaltung Stressreaktionen (z. B. geringere Futteraufnahme mit der Folge von Leistungsminderungen, erhöhter Wasserbedarf, eingeschränkte Reproduktionsleistung). Rinderställe werden häufig passiv gelüftet (Offenställe), z. T. werden in der Rinderhaltung auch zusätzliche Klimatisierungstechniken eingesetzt (z. B. Luftströme, Luftbefeuchter, Kuhduschen), bei der Schweine- und Geflügelställen wird Klimatisierungstechnik regelmäßig eingesetzt. Soweit die Belüftungs- und Klimatisierungstechniken in Verbindung mit der Dämmwirkung der Stallbauten ausreichen, kann Hitzestress vermieden werden. Bei Rindern und insbesondere Milchkühen wird es problematisch, die Tiere bei Außentemperaturen von über 30 Grad C über längere Phasen im Temperaturoptimum (16 Grad C) zu halten. Bei der Schweinehaltung ist dies weniger kritisch, Hitzestress tritt bei Schweinen erst bei Temperaturen von über 28 Grad C auf. Ein weiterer Faktor ist die ausreichende Wasserversorgung, um den hitzebedingten Wassermehrbedarf der Tiere (z. B. Milchkühe haben je ein Grad Temperaturanstieg einen Wassermehrbedarf von 1,2 kg) zu decken. Es ist davon auszugehen, dass durch die Dürre die Rauhfuttergewinnung sehr eingeschränkt ist. Fehlende Rauhfuttergaben in der Rinderhaltung müssen durch erhöhten Einsatz von Kraftfutter ausgeglichen werden. Dies ist für viele rinderhaltende, insbesondere Milchviehbetriebe, nicht wirtschaftlich, so dass mit einem Abbau der Tierbestände zu rechnen ist (s. Marktreaktionen auf die anhaltende Dürre im Jahr 2018).

#### **Maßnahmen zur Begrenzung der Schäden im Pflanzenbau**

##### *Bewässerungsanbau und Wasserversorgungsmanagement*

Durch den Einsatz von Bewässerungssystemen können Niederschlagsdefizite ausgeglichen und trockenheitsbedingte Ertragsschwankungen verhindert bzw. zumindest gemindert werden. Bewässerungsanbau ist in Deutschland insbesondere bei Sonderkulturen wie Spargel und Erdbeeren sowie im Gemüseanbau üblich; bei landwirtschaftlichen Ackerkulturen wie Kartoffeln und Getreide spielt die Bewässerung dagegen bisher nur in wenigen Regionen eine Rolle.

<sup>92</sup> Vgl. Thünen-Institut (2015), S. 85.

<sup>93</sup> Vgl. Schittenhelm und Kottmann (2017), S. 14 [https://www.journal-kulturpflanzen.de/artikel.dll/jfk-2017-02-schittenhelm-et-al\\_NTMxMzgWOA.PDF](https://www.journal-kulturpflanzen.de/artikel.dll/jfk-2017-02-schittenhelm-et-al_NTMxMzgWOA.PDF).

Dennoch hat die landwirtschaftliche Wasserentnahme in den vergangenen Jahren weiter an Bedeutung gewonnen. Im Jahr 2015 hatten in Deutschland insgesamt 17.330 Betriebe die Möglichkeit, eine Fläche von 676.400 ha zu bewässern. Die Fläche, die tatsächlich bewässert wurde, lag bei 451.000 ha. Insgesamt werden in Deutschland 2,7 % der landwirtschaftlichen Fläche bewässert. Niedersachsen ist dabei das bewässerungsintensivste Bundesland mit rund 242.000 ha bewässerter Fläche im Jahr 2015.<sup>94</sup>

Nach de Witte<sup>95</sup> sind Feldbewässerungen in Deutschland auch an ungünstigen Standorten mit trockenen und sandigen Böden im Wesentlichen nur in Verbindung mit dem Anbau von Kartoffeln rentabel, nicht aber bei reinen Raps- und Getreidefruchtfolgen.

Schlussfolgerungen für das Szenario: Auf Grund des vergleichsweise geringen Flächenanteils kann Bewässerungsanbau nur in geringem Umfang trockenheitsbedingte Ertragsseinbußen ausgleichen. Mit einer nennenswerten Ausweitung landwirtschaftlicher Bewässerungsflächen ist nicht zu rechnen, zumal unter Szenariobedingungen mit einer eingeschränkten Bereitstellung von Bewässerungswasser für den Ackerbau zu rechnen ist.

#### *Branche Ernährungswirtschaft*

Im Ernährungsgewerbe wird der Großteil des eingesetzten Frischwassers nur einfach genutzt, Mehrfach- und Kreislaufwirtschaft haben untergeordnete Bedeutung. Etwa die Hälfte der Wassermenge wird für Kühlzwecke verwendet. Auf Grund der hohen Hygieneanforderungen in der Lebensmittelproduktion ist auch der Verbrauchsanteil für Reinigungsmaßnahmen hoch.<sup>96</sup> Bei Ausfall der Wasserversorgung muss allein aus Hygienegründen die Produktion eingestellt werden, da die Lebensmittelsicherheit nicht mehr gewährleistet ist. Weitere potentielle Gründe für Produktions- und Lieferstörungen sind hitzebedingter Personalausfall (siehe Sektor Gesundheit), eingeschränkter Transport von Agrarrohstoffen wie Getreide auf Grund von eingefrorenen Wasserwegen oder Niedrigwasser (s. Sektor Transport und Verkehr), Ausfall der Stromversorgung durch erforderliche Drosselung der Stromproduktion (siehe Sektor Energie) und Engpässe in der Agrarrohstoffversorgung wegen des fehlenden Angebots (z. B. nicht ausreichende Mengen und/oder Qualitäten an mühlenfähigem Weizen). Eine mögliche Ausgleichsmaßnahme ist die Freigabe von Weizen aus der Bundesreserve Getreide, um die Zeit bis zu einer Anschlussversorgung aus dem (nichteuropäischen) Ausland zu überbrücken. Mit Preissteigerungen bei Agrarrohstoffen, Lebens- und Futtermitteln ist zu rechnen.

Im produzierenden Ernährungsgewerbe (Herstellung von Nahrungsmitteln, Getränken und Futter) entfallen gut 20 % der Eigengewinnung und rund 25 % des Fremdbezugs von Wasser auf die Getränkeherstellung (vgl. Tabelle oben).

In den Jahren 2003 und 2018 sind Störungen in der Getränkeauslieferung auf Grund des hohen Absatzes und des mangelnden Rücklaufs von Pfandflaschen aufgetreten.

#### **Behördliche Maßnahmen**

Die Landwirtschaftsminister von Bund und Ländern beschließen Hilfsmaßnahmen für die betroffenen landwirtschaftlichen Betriebe (s. a. Maßnahmen der Jahre 2018, 2003); Ebenfalls wird die Nutzung von weiteren Flächen wie z. B. ökologische Ausgleichsflächen zur Futternutzung für das Vieh (etc.) in Form einer Ausnahmeregelung zugelassen.

<sup>94</sup> Statistisches Bundesamt (2016).

<sup>95</sup> Vgl. de Witte (2017).

<sup>96</sup> Vgl. BBK (2012), S. 102.

**Branche Lebensmittelhandel**

- Hitzebedingter Personalausfall und potentielle Unterbrechungen der Stromversorgung beeinträchtigen die logistischen Abläufe Einschränkungen im Sortiment und unzureichende Angebotsmengen von Waren insbesondere Getränken (s. o.) sind als realistisch anzunehmen.

## Sektor Staat und Verwaltung

**Branche Notfall-/Rettungswesen einschließlich Katastrophenschutz**

- Während der Hitzewelle wird es zu einem erhöhten Aufkommen an Rettungsdiensteinsätzen kommen.
- Hinzu kommen vermehrt Krankentransporte wie z. B. durch die Verlagerung von Patienten aus Altenheimen, Pflegeeinrichtungen, der Hauspflege etc.
- Der erhöhte Bedarf kann ggf. durch zusätzliche Transportkapazitäten (z. B. Taxi) abgedeckt werden.
- Erhöhte Einsatzzahlen steigern die körperlichen Belastungen der Einsatzkräfte, dadurch kann es zu Personalausfällen kommen.

**4. Referenzereignisse**

Die Analyse des Dürreindex des vom DWD betriebenen Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (Global Precipitation Climatology Centre Drought Index (GPCC-DI)) mit einer dreimonatigen Aggregationszeit (gleitende Dreimonatssummen) erlaubt eine Übersicht und Einordnung der meteorologischen Dürreperioden für den Zeitraum 1951 bis 2014. Der in der Tabelle 1 aufgeführte Index stellt einen Indikator für die Andauer der Dürre in einem Kalenderjahr dar.

Tabelle 7

**Dürreindex des vom DWD betriebenen Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (GPCC-DI)  
mit dreimonatiger Aggregationszeit (gleitende Dreimonatssummen)**

| <b>Beginn<br/>(MM/JJJJ)</b>      | <b>Dauer<br/>(Monate)</b> | <b>Ggf. Region/Kommentar</b>                                                                                                                                                 |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1952, Juni - September           | 4                         | Süden, Frankreich, extrem feuchter Oktober bis Dezember folgend                                                                                                              |
| 1953, März - Mai                 | 3                         | Deutschland, wechselnde Regionen, Frankreich                                                                                                                                 |
| 1953, September - Juni (1954)    | 10                        | Ganz Deutschland, Peak im November und Dezember, Schwerpunkt anschließend in Frankreich, ab Februar 1954 nur noch geringe GPCC-DI-Werte (um -1)                              |
| 1958, Dezember - August (1960)   | 21                        | Im Nordosten beginnend nach Westen und Süden ausbreitend, Peak im Juli und September bis November 1959, anschließend nur noch geringe GPCC-DI-Werte (um -1)                  |
| 1962, Juni - Juli (1963)         | 14                        | Von Süden nach Norden ausbreitend, ab April 1963 nur noch geringe GPCC-DI-Werte (um -1)                                                                                      |
| 1963, Dezember - Dezember (1964) | 13                        | Extremes Maximum im Februar 1961 (Streifen von Irland über Frankreich bis Slowakei sowie Schweden und Norwegen), zweite intensive Phase von Juli bis September 1964 im Süden |
| 1968, Dezember - Februar (1964)  | 3                         | Maximum im Januar 1964 außer Nordosten                                                                                                                                       |
| 1969, September - Februar (1970) | 6                         | Am Ende nur noch im Nordosten, Südwesten schon wieder ungewöhnlich feucht                                                                                                    |

| <b>Beginn<br/>(MM/JJJJ)</b>     | <b>Dauer<br/>(Monate)</b> | <b>Ggf. Region/Kommentar</b>                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1971, Januar - Mai              | 5                         | Keine großflächigen extremen GPCC-DI-Werte                                                                                                                                                                             |
| 1971, September - April (1972)  | 8                         | Vormonate unterdurchschnittliche Niederschlagsmenge, aber noch über Dürregrenzwert, Peak im Februar und März 1972 im Süden                                                                                             |
| 1972, August - März (1973)      | 8                         | Folgemonate auch unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen, aber über Grenzwert für Dürre                                                                                                                             |
| 1973, Juli - Oktober            | 4                         | Vor allem im Nordwesten                                                                                                                                                                                                |
| 1974, April - Juni              | 3                         | Vor allem im Norden, Vormonate teils unterdurchschnittlich, aber über Grenzwert für Dürre                                                                                                                              |
| 1975, Juni - Februar (1977)     | 21                        | Beginnend im Norden, Süden zunächst überdurchschnittliche Niederschlagsmengen, Januar bis März 1976 Entspannung im Nordosten, Peak im Juni 1976 (vor allem Frankreich und Belgien) und August 1976 im Norden und Osten |
| 1982, März - Dezember           | 10                        | Vor allem Norden und Osten betroffen                                                                                                                                                                                   |
| 1983, Juli - Dezember           | 6                         | Vor allem Norden betroffen, mehrere überdurchschnittlich feuchte Vormonate                                                                                                                                             |
| 1984, Dezember - März (1985)    | 4                         | Keine extremen GPCC-DI Werte ( $> -2$ )                                                                                                                                                                                |
| 1988, Mai - Dezember            | 8                         | Norden und Osten betroffen                                                                                                                                                                                             |
| 1989, Mai - Januar (1990)       | 9                         | Norden und Osten betroffen, keine extremen GPCC-DI-Werte, zwischenzeitliche Entspannung                                                                                                                                |
| 1991, Februar - November        | 10                        | Hauptsächlich Mitte betroffen                                                                                                                                                                                          |
| 1993, Februar - Juni            | 5                         | Von Südwesten her ausbreitend, überdurchschnittlich feuchte Vormonate                                                                                                                                                  |
| 1995, Dezember - Oktober (1996) | 11                        | Von Nordwesten ausbreitend und dort endend, in anderen Regionen gleichzeitig überdurchschnittliche Niederschlagsmengen                                                                                                 |
| 1997, September - November      | 3                         | Großflächig, aber keine extremen GPCC-DI-Werte                                                                                                                                                                         |
| 2003, Februar - Dezember        | 11                        | Vor allem länger im Osten und Süden, ab Oktober „auslaufend“                                                                                                                                                           |
| 2011, März - Juni               | 4                         | Maximum im Mai im Westen                                                                                                                                                                                               |
| 2014, Februar - April           | 3                         | Osten und Mitte, keine extremen GPCC-DI-Werte ( $> -2$ )                                                                                                                                                               |

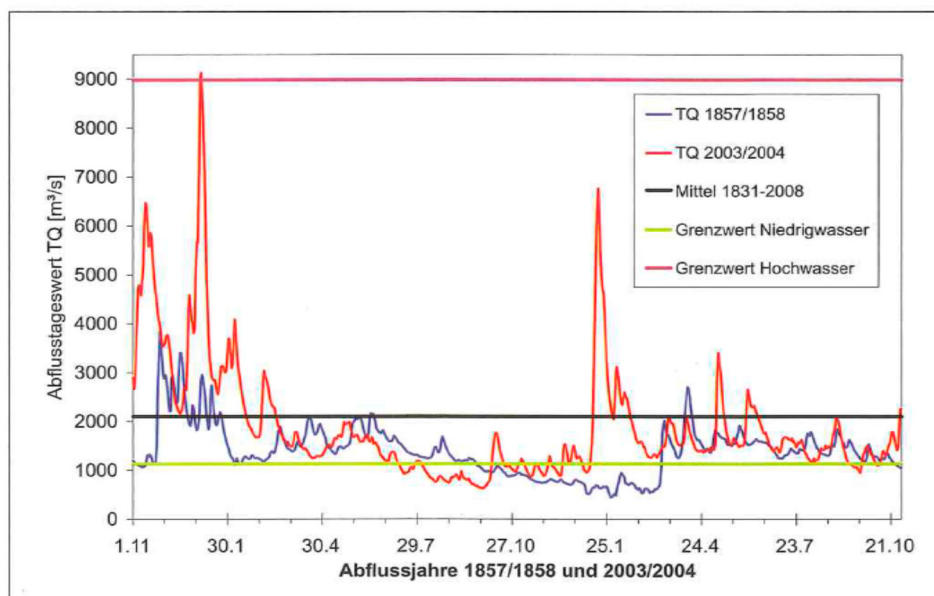
Quelle: DWD 2018

Auf europäischer Ebene werden weitere meteorologische Dürreindizes definiert und ausgewertet<sup>97</sup>. Danach weist im Zeitraum 1950 bis 2012 das Jahr 2003 mit 11 Monaten die längste meteorologische Dürre und die Dürre mit der höchsten Intensität auf. Die flächenmäßig größte Dürre trat in Europa im Dezember 1953 auf. Nach einem anderen Dürreindikator ergibt sich der Zeitraum 1971 bis 1974 mit 37 Monaten als längste Dauer einer Dürre, die höchste Intensität ergab sich in den Jahren 1959 bis 1960 und die größte Flächenausbreitung im August 1976.

Meteorologische und hydrologische Referenzereignisse für Dürren finden sich zahlreich sowohl in der jüngeren und in der historischen durch Instrumentenmessungen belegten Vergangenheit sowie in präinstrumentellen Zeiten (historische Quellen und dendrochronologische Analysen). Aus den weiter zurückliegenden Dürreereignissen kann hier die europaweite Mega-Dürre (11 Monate) aus dem Jahr 1540 angeführt werden die auch von den hohen Temperaturen her mit dem Ereignis von 2003 vergleichbar zu sein scheint. Neben extrem niedrigen Flusswasserständen wird auch von europaweiten Wild- und Waldfeuern sowie von Feuern in Siedlungsgebieten berichtet.<sup>98,99,100</sup>

Abbildung 11

**Beispiel für den Verlauf von täglichen Abflussganglinien in extremen Niedrigwasserjahren am Pegel Köln als Vergleich für ein sommerliches (2003/04) und ein winterliches Niedrigwasserereignis (1857/58)**



Quelle: Krahe und Larina, 2010

Im 19., 20. und 21. Jahrhundert sind auf Grund ihrer flächenmäßigen Ausbreitung und Intensität die Dürreperioden bzw. die resultierenden Niedrigwasserereignisse um die Jahre 1857/58, 1921, 1947, 1976 und 2003 anzuführen.<sup>101</sup> In Abbildung 11 sind die Abflussganglinien für das historische winterliche Niedrigwasserereignis von 1856/1857 sowie das sommerliche Ereignis aus dem Jahr 2003 am Niederrheinpegel Köln wiedergegeben. Das Beispiel illustriert, dass Trockenheit und Niedrigwasser nicht nur auf sommerliche Ereignisse beschränkt sind, sondern insbesondere in Strengwintern auch extreme Niedrigwasserstände eintreten können. Eine detail-

<sup>97</sup> Vgl. Spinoni et al. (2016).

<sup>98</sup> Vgl. Wetter et al. (2014).

<sup>99</sup> Vgl. Büntgen et al. (2015).

<sup>100</sup> Vgl. Pfister et al. (2015).

<sup>101</sup> Vgl. Engel et al. (2006), Belz et al. (2003), BLfW (1979), Krahe und Larina (2010).

lierte Auflistung historischer Niedrigwasserereignisse je Stromgebiet kann dem Web-Informationssystem UN-DINE<sup>102</sup> der BfG entnommen werden. In Tabelle 8 sind ausgewählte Niedrigwasserereignisse anhand der Niedrigwasserkennwerte NM7Q (kleinstes Tagesmittel des Abflusses einer siebentägigen Periode) aufgeführt. Bezogen auf diesen Kennwert ist im 20. und 21. Jahrhundert das Niedrigwasser von 1947 als das Extremste in allen Stromgebieten (Ausnahme Oder) einzuordnen.

Gemäß einer Beschreibung des Niedrigwassers von 1947 (bzw. NW-Jahre 1947 bis 1949) findet sich z. B. für die bayrischen Flussgebiete (Donau- und Maingebiet, DGJ 1951) der Hinweis, dass die niedrigsten Grundwasserstände mit großen landwirtschaftlichen Trockenschäden, erst in 1949 auftraten.

Die langanhaltende Dürreperiode von 1971 bis 1976 kumulierte im Niedrigwasser von 1976. Das Niedrigwasser und die Folgen der Dürreperiode auf viele Bereiche wurden für das Rheingebiet von Gerhard et al.<sup>103</sup> sehr detailliert beschrieben (See- und Talsperrenfüllstände, Grundwasserspiegel, landwirtschaftliche Bewässerung, Zunahme des Wasserbedarfs, Schifffahrt, Energie- und Trinkwasserversorgung).

Tabelle 8

**Vergleich bundesweit relevanter Niedrigwasserereignisse im 20. und 21. Jahrhundert (Engel et al. 2006, BfG 2018) in den Stromgebieten Deutschlands an Hand der kleinsten 7-tägigen Mittelwerte des Abflusses (NM7Q) und dem Mittel der niedrigsten Tagesabflüsse der Periode 1944-2003 für ausgewählte Pegel**

| Fluss<br>Pegel<br>WHJ | Donau<br>Hofkirchen | Rhein<br>Koeln | Elbe<br>Neu Darchau | Oder<br>Hohensaaten-F. | Weser<br>Intschede | Ems<br>Versen |
|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------|------------------------|--------------------|---------------|
| NM7Q [m³/s]           |                     |                |                     |                        |                    |               |
| 1947                  | <b>202</b>          | <b>546</b>     | <b>149</b>          | 216                    | 72.9               | <b>6.13</b>   |
| 1976                  | 285                 | 796            | 186                 | 224                    | 75.7               | 15.1          |
| 2003                  | 259                 | 708            | 174                 | 163                    | 99.1               | 19.7          |
| 2011                  | 304                 | 751            | 334                 | 283                    | 94.4               | 21.2          |
| 2015                  | 272                 | 792            | 182                 | <b>135</b>             | 99.1               | 26.8          |
| 2016                  | 300                 | 839            | 218                 | 190                    | 88.9               | 28.6          |
| 2017                  | 307                 | 1137           | 267                 | 272                    | 113                | 22.8          |
| 2018*                 | 242                 | 655            | 167                 | 184                    | <b>61</b>          | 10            |
| Periode               | MNQ [ m³/s]         |                |                     |                        |                    |               |
| 1944-2003             | 316                 | 960            | 286                 | 262                    | 125                | 16.2          |

2018\* Auswertung mit vorläufigen Daten, Stand 29.10.2018

rot markierte Zahlen kennzeichnen den niedrigsten Wert in der Zeitspanne 1944-2018\*

\* Pegel Hohensaaten-Finow

Im 21. Jahrhundert traten neben der ausgeprägten Niedrigwasserphase in 2003, weitere in 2006 und 2011 sowie von 2015 bis Mitte 2017 auf<sup>104,105,106,107,108</sup>. Die Dürre im Jahr 2003 ist gegenüber den anderen Ereignissen (vgl. Dürre 1540) durch langanhaltende Hitzewellen mit extrem hohen Temperaturen verbunden. Einen guten Überblick zum Niedrigwasser 2003 und die Auswirkungen auf das Grundwasser enthalten die Dokumentationen der Bundesländer Baden-Württemberg (BW), Rheinland-Pfalz (R-P), Bayern (BY) und Brandenburg (BB) (LfU BW 2004, BStM-UGV 2004, LfW RP 2004, LUA BB 2004). Alleine die durch Dürre in der Landwirtschaft

<sup>102</sup> <http://undine.bafg.de/>.

<sup>103</sup> Vgl. Gehard et al. (1983).

<sup>104</sup> Vgl. Belz et al. (2003).

<sup>105</sup> Vgl. Belz et al. (2007).

<sup>106</sup> Vgl. Engel et al. (2006).

<sup>107</sup> Vgl. Koehler et al. (2006).

<sup>108</sup> Vgl. Kohn et al. (2014).

und Waldbrände verursachten Schäden werden durch die Versicherungsunternehmen auf ca. 13 Mrd. US-Dollar geschätzt (Münchener Rück 2004).<sup>109</sup>

Die für die Trinkwasserversorgung wichtige Grundwasserneubildungsrate bereitete 2003 bei überwiegender Quellwassernutzung Probleme. Demgegenüber war die Entnahme aus dem Grundwasser-Reservoir besser vor trockenheitsbedingten Ausfällen geschützt, insbesondere, da die Grundwasser-Vorräte durch die feuchten Jahre 2001 und 2003 gefüllt waren (LfW Bayern 2004). Demgemäß war auch die Trinkwassergewinnung aus den Talsperren nicht gefährdet.<sup>110</sup> Zu Versorgungsengpässen kam es daher nur regional in Mittelgebirgslagen. Insgesamt war die Trinkwasserversorgung im Jahr 2003 somit gesichert. Für einige Gemeinden Thüringens konnte die Trinkwasserversorgung jedoch nur noch mittels Tankwagen sichergestellt werden.<sup>111</sup>

Eine aktuelle Einordnung der Folgen der Dürreperiode 2015 bis derzeit November 2018 (d. h. bis zum Zeitpunkt der Berichtserstellung) liegt derzeit noch nicht vor. Das Bayerische Landesamt für Umwelt (BLfU) hat für Bayern einen detaillierten Bericht für das Niedrigwasser-Jahr 2015 vorgelegt, der sehr ausführlich auf die Auswirkungen der Dürre 2015 auf eine Vielzahl von Sektoren bzw. Handlungsfeldern eingeht. Ein weiterer interner Bericht zu den NW-Jahren 2016-2017 aus Hessen thematisiert speziell die Rolle der bundeseigenen Eder-Talsperre.

---

<sup>109</sup> Weitere Aussagen zu ökonomischen Folgen finden sich auch in Belz et al. (2006).

<sup>110</sup> Beispielsweise regelt die Thüringer Technische Anleitung Stauanlagen (2005), dass die Bereitstellungssicherheit der planmäßigen Trinkwasserabgabe  $\geq 99\%$  beträgt.

<sup>111</sup> Vgl. Beck et al. (2004)

## **II. Eintrittswahrscheinlichkeit**

Dürren gehören ebenso zum normalen Witterungsablauf wie Zeiten mit deutlich mehr Niederschlag als im vieljährigen Mittel. Zumeist sind Dürren kurz und verursachen daher kaum Probleme. Allerdings gibt es gelegentlich Dürren über mehrere Jahreszeiten oder auch Jahre, Beispiele dazu sind im Abschnitt 4 „Referenzereignisse“ gegeben.

Das dieser Risikoanalyse zugrundeliegende Szenario wurde konstruiert unter der Maßgabe eines in den instrumentellen Messreihen bisher noch nicht beobachteten dennoch denkbaren Extremereignisses.

Da noch keine Wiederkehrzeiten für derartige Trockenereignisse berechnet wurden muss die Wiederkehrzeit anhand der dokumentierten Ereignisse geschätzt werden. Es wird erwartet, dass ein solches Ereignis einmal im Zeitraum von 100 bis 1000 Jahren auftritt. Gemäß aktueller Klassifikation für die Risikoanalyse Bevölkerungsschutz Bund fällt das betrachtete Dürreereignis damit in die Eintrittswahrscheinlichkeitsklasse C (bedingt wahrscheinlich).

### III. Schadensausmaß

Das Schadensausmaß der vorliegenden Risikoanalyse wird generalisiert als Summe der über die gesamte Dauer des Szenariozeitraumes (sechs Jahre) entstandenen dürrebedingten Schäden verstanden. Die im Szenario beschriebene Kältewelle und die begleitend auftretenden Vegetationsbrände werden hierbei nur untergeordnet betrachtet. Die Folgejahre nach dem Szenario sind nicht mehr Gegenstand der folgenden Abschätzung.

#### Schutzgut Mensch

##### Schadensparameter: Tote ( $M_1$ )

##### Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:

- ☐ A:  $\leq 10$  Tote
- ☐ B:  $> 10 - 100$  Tote
- ☐ C:  $> 100 - 1.000$  Tote
- ☒ D:  $> 1.000 - 10.000$  Tote
- ☐ E:  $> 10.000$  Tote

##### Herleitung:

Szenario beinhaltet in einem Jahr eine Hitzewelle und eine Kälteperiode die zu erhöhter Mortalität führen.

Tote auf Grund der Trockenheit: 0

Tote auf Grund der Hitzewelle und Kälteperiode: 8000

Tote auf Grund von Vegetationsbränden: 25

##### Zugrunde gelegte Annahmen:

- Betrachtet werden hier Personen, deren Tod – unabhängig vom Zeitpunkt seines Eintritts – kausal auf das schädigende Ereignis zurückzuführen ist.
- Hitzetote der Hitzewelle 2003 in Deutschland:  
Deutschland-weit kam es im August 2003 zu 7295 Hitzetoten. Dies entspricht einer Zunahme der allgemeinen Sterberate um 11 %. Zeitweise kam es zu einer Zunahme der Sterberate von über 20 %.<sup>112</sup>
- Bei der Zunahme der Mortalität aufgrund eines Hitzeereignisses ist der so genannte „Harvesting Effekt“ zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich um eine Vorverlegung des Sterbezeitpunkts um wenige Tage. Für einige Erkrankungen wie z. B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebserkrankungen konnte ein solcher Effekt bestätigt werden. Für andere Erkrankungen wie z. B.
- Atemwegserkrankungen und Infektionskrankheiten nicht. Daher sollten die Daten differenziert betrachtet werden. Neue Studien zeigen, dass zwar an Tagen mit mehr als 30 °C ca. 10 % mehr Todesfälle (300 Tote) für Gesamtdeutschland zu erwarten sind, es sich bei einem Großteil allerdings wie bereits oben beschrieben um „vorgezogene“ Todesfälle handelt. Auf das Gesamtjahr betrachtet führt demnach ein Hitzetag somit „nur“ zu zwei zusätzlichen Todesfällen.

<sup>112</sup> Vgl Robine et al. (2007).

- Ursachen Hitze-bedingter Todesfälle:

Häufige Ursachen sind Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Hauptursache in höherem Alter), Erkrankungen der Nieren, Erkrankungen der Atemwege und Stoffwechselstörungen aufgrund der Hitze.<sup>113,114,115</sup>

- Todesopfer aufgrund indirekter Folgen von Dürreereignissen und der damit verbundenen Brandkatastrophen (wie z. B. Vegetationsbrände) sind nur schwer abzuschätzen.

---

<sup>113</sup> Vgl. Eis, D. et al. (2010).

<sup>114</sup> Vgl. Hoffmann, B. et al (2008).

<sup>115</sup> Vgl. Karlsson & Ziebarth (2008).

**Schadensparameter: Verletzte/Erkrankte (M<sub>2</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: ≤ 10 Verletzte/Erkrankte
- ☐ B: > 10 - 100 Verletzte/Erkrankte
- ☐ C: > 100 - 1.000 Verletzte/Erkrankte (langfristig über mehrere Jahrzehnte)
- ☐ D: > 1.000 - 10.000 Verletzte/Erkrankte
- ☐ E: > 10.000 Verletzte/Erkrankte

**Es kann keine Festlegung der Schadensausmaßklasse erfolgen (s. u., Stellungnahme RKI)****Herleitung:**

Klasse:

Verletzte/Erkrankte auf Grund der Dürre: 0

Verletzte/Erkrankte auf Grund der Hitzewelle: Forschung noch nicht abgeschlossen – Festlegung nicht möglich.

Verletzte/Erkrankte auf Grund von Vegetationsbränden: 100 (Annahme)

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Betrachtet werden hier Personen, die durch das Ereignis im Bezugsgebiet verletzt werden oder im Verlauf des Ereignisses bzw. in dessen Folge so erkranken, dass sie ärztlich oder im Gesundheitswesen betreut werden müssen (hier sind auch Spätfolgen/Langzeitschäden mit zu berücksichtigen).

**Stellungnahme des RKI:**

Im RKI Sachstandsbericht „Klimawandel und Gesundheit“ wird keine explizite Zahl zu hitzebedingter Morbidität pro Hitzetag angegeben.

„Neben dem Extremfall eines tödlichen Ausgangs nach großer Hitze gibt es eine Vielzahl nicht tödlicher Gesundheitseffekte, deren Auftreten mit extremer thermischer Belastung assoziiert ist<sup>116</sup>. Deren Ausmaß ist jedoch wegen der fehlenden Statistiken nicht direkt zu quantifizieren, da zum Beispiel dafür geeignete Zeitreihen mit hoher zeitlicher Auflösung in der Regel fehlen. Aus diesem Grunde ist die Zahl der Studien, die sich mit der Auswirkung von extremen Temperaturereignissen auf die Morbidität der Bevölkerung befassen, deutlich geringer als die Zahl der Studien zur Mortalität. Einen Anhaltspunkt können Rettungseinsätze und/oder Krankenhauseinweisungen bieten, von denen erwartet werden kann, dass sie während Hitzeperioden ansteigen. Jedoch ist auch diesbezüglich der Umfang des Datenmaterials sehr begrenzt und die Verlässlichkeit der Schätzungen des Zusammenhangs zwischen Temperaturerhöhung und Krankenhauseinweisungen ist umstritten.“

Bei einer pauschalen Angabe muss zudem beachtet werden, dass die Wirkung von Hitzewellen auf die menschliche Gesundheit abhängig ist von ihrer Intensität, Dauer und dem Zeitpunkt des Auftretens im Jahr. Hitzewellen, die früh im Jahr auftreten, entfalten eine stärkere Wirkung als spätere Ereignisse.<sup>117</sup> So das auch eine gewisse Adaptation an die Hitze im Laufe eines Jahres zu berücksichtigen ist.

Eine Einschätzung der genannten Krankenhauseinweisungen kann daher, ohne einen Bezug, auf die Schnelle nicht gegeben werden, auch auf Grund nicht vorliegender Daten.

<sup>116</sup> Vgl. RKI, Klimawandel und Gesundheit (2010), Abschnitt 4.1.1.

<sup>117</sup> Vgl. : Eis, D. et al. (2010).

Weitere Aufschlüsse können zum Teil jedoch weitere Studienergebnisse liefern:

Ein BMG gefördertes Forschungsvorhaben: „Untersuchung des Einflusses von Hitze auf Morbidität“ (2018) am Lehrstuhl für Medizinmanagement der Universität Duisburg-Essen, Ann-Kathrin Richter, M.Sc., Dr. Sonja Schillo, Prof. Dr. Jürgen Wasem (zur Zeit noch nicht publiziert).

Sowie ein Artikel im Gesundheitswesen: Morbidität durch Hitze – eine Analyse der Krankenhauseinweisungen per Rettungseinsatz während einer Hitzewelle 2015 in Frankfurt/Main; Katrin Simone Steul, Leo Latasch, Hans-Georg Jung, Ursel Heudorf; Institut Gesundheitsamt Frankfurt am Main; DOI <https://doi.org/10.1055/a-0586-8255>; Gesundheitswesen 2018.

**Fazit:**

Aufgrund der Stellungnahme des Robert-Koch-Institutes und des noch nicht abgeschlossenen Forschungsvorhabens „Untersuchung des Einflusses von Hitze auf Morbidität“ (2018) am Lehrstuhl für Medizinmanagement der Universität Duisburg-Essen (gefördert durch das BMG), wird bei dieser Risikoanalyse auf die Festlegung eines Schadensausmaßes Verletzte/Erkrankte verzichtet, da zum Zeitpunkt des Abschlusses dieser Risikoanalyse (November 2018) eine fundierte Festlegung nicht möglich ist.

**Schadensparameter: Hilfebedürftige (M<sub>3</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: 10.000 Hilfebedürftige für  $\leq 1$  Woche
- ☒ B:  **$\leq 100.000$  Hilfebedürftige für  $\leq 1$  Woche**  
oder  $\leq 10.000$  Hilfebedürftige für 1 - 4 Wochen
- ☐ C:  $\leq 1.000.000$  Hilfebedürftige für  $\leq 1$  Woche  
oder  $\leq 100.000$  Hilfebedürftige für 1 - 4 Wochen  
oder  $\leq 10.000$  Hilfebedürftige für  $> 1$  Monat
- ☐ D:  $> 1.000.000$  Hilfebedürftige für  $\leq 1$  Woche  
oder  $\leq 1.000.000$  Hilfebedürftige für 1 - 4 Wochen  
oder  $\leq 100.000$  Hilfebedürftige für  $> 1$  Monat
- ☐ E:  $> 1.000.000$  Hilfebedürftige für  $> 1$  Woche  
oder  $> 100.000$  Hilfebedürftige für  $> 1$  Monat

**Herleitung:**

Hilfebedürftige auf Grund der Dürre: 50.000

Hilfebedürftige auf Grund der Hitzewelle: 0

Hilfebedürftige auf Grund von Vegetationsbränden: 50.000

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Betrachtet werden hier Personen, die durch das Ereignis ohne Obdach sind oder in einer anderen Form der staatlichen Hilfe für das physische Überleben bedürfen.
- Durch die Trockenheit kommt es in einzelnen Orten zum Teilausfall der Trinkwasserversorgung, so dass die betroffene Bevölkerung auf eine Trinkwasserversorgung durch Tankwagen angewiesen ist. Ebenso sind Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen in betroffenen Regionen mit Trinkwasser zu versorgen.
- In Folge der Dürre ist die Vegetation großflächig trocken, so dass es an mehreren räumlich getrennten Stellen gleichzeitig zu Wald- oder Flurbränden kommt. Durch die Nähe der Brände zu Siedlungen müssen gleichzeitig mehrere Siedlungen evakuiert werden. Auch im Dürrejahr 2018 kam es zu Evakuierungen von drei Dörfern auf Grund eines Waldbrandes (500 betroffene Personen). Da in diesem Szenario eine längere und stärkere Dürre angenommen wird, ist tendenziell auch mit mehr Vegetationsbränden (verteilt auf die Szenariojahre) zu rechnen. Sodass angenommen wird, dass über den gesamten Szenario-zeitraum verteilt 50.000 Personen in ganz Deutschland betroffen sind. Vereinzelt kommt es auch zum Totalverlust von Eigenheimen. Diese Personen werden aber nach kurzer Zeit durch Verwandte und Freunde aufgenommen und benötigen somit keine staatliche Hilfe mehr.
- Weitere Evakuierungen sind aufgrund von Kampfmittelfunden zu erwarten.

**Schadensparameter: Vermisste (M<sub>4</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☒ A: ≤ 10 Vermisste
- ☐ B: > 10 - 100 Vermisste
- ☐ C: > 100 - 1.000 Vermisste
- ☐ D: > 1.000 - 10.000 Vermisste
- ☐ E: > 10.000 Vermisste

**Herleitung:**

Vermisste auf Grund der Dürre: 0

Vermisste auf Grund der Hitzewelle: 0

Vermisste auf Grund von Vegetationsbränden: 20 (Annahme, überwiegend vorübergehend vermisste Personen)

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Betrachtet werden hier Personen, die in Folge des Ereignisses als dauerhaft vermisst gelten.
- Es wird davon ausgegangen, dass weniger als 10 Personen in Folge des Ereignisses als dauerhaft vermisst gelten. Es ist jedoch Auf Grund der Wald- und Vegetationsbrände und damit verbundenen Evakuierungen mit vereinzelt vorübergehend vermissten Personen zu rechnen.

## Schutzgut Umwelt

**Schadensparameter: Schädigung geschützter Gebiete ( $U_1$ )<sup>118</sup>****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A:  $\leq 0,005$  % der Gesamtfläche der geschützten Gebiete geschädigt
- ☐ B:  $> 0,005 - 0,05$  % der Gesamtfläche der geschützten Gebiete geschädigt
- ☐ C:  $> 0,05 - 0,5$  % der Gesamtfläche der geschützten Gebiete geschädigt
- ☒ **D:  $> 0,5 - 5$  % der Gesamtfläche der geschützten Gebiete geschädigt**
- ☐ E:  $> 5$  % der Gesamtfläche der geschützten Gebiete geschädigt

**Herleitung:**

Dürre: Innerhalb von Schutzgebieten ist ein hoher Anteil an Feuchtgebieten wie naturnahe Auenlandschaften und Moore zu verzeichnen, die besonders anfällig für Dürre sind. Moore und Feuchtgebiete können so weit austrocknen, dass die standorttypische Vegetation vollständig durch Vertrocknen zerstört wird. Aufgrund spezifischer Habitatsprüche an diese Lebensräume wird für viele der feuchtigkeitsabhängigen Arten eine hohe Gefährdung bis hin zum Rückgang und Aussterben prognostiziert. Durch das großflächige Niederschlagsdefizit besteht in allen Regionen ein hohes Risiko von Wald-, Gras-, Moor- und Feldbränden.

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Betrachtet werden hier durch das Ereignis geschädigte Schutzgebiete (Naturschutzgebiete, Nationalparks, Biosphärenreservate, Landschaftsschutzgebiete, Naturparks) sowie Fauna (Wildtiere)
- Im Rahmen des Szenarios wird Wasser in Schutzgebieten, insbesondere in natürlichen Feuchtgebieten, fehlen und es werden zunehmend Nutzungskonflikte (Konkurrenzen) um Wasser mit nicht geschützten Landschaften entstehen.
- Die anhaltenden Trockenphasen werden grundsätzlich deutliche Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben. So wurden vom Bundesamt für Naturschutz bereits in seiner am 17. September 2012 veröffentlichten Studie (BfN, Daten zur Natur 2012) 63 von 500 in Deutschland streng zu schützende Tierarten als sogenannte „Hochrisiko-Arten“ eingestuft. Sie sind schon jetzt sehr selten – und reagieren darüber hinaus auch noch besonders sensibel auf klimatische Veränderungen.
- Es ist mit stressbedingten Änderungen in der Physiologie und Ökologie bestimmter Arten sowie einer Änderung der Artenzusammensetzung zu rechnen. Die dürrebedingte Änderung oder auch Verlust von Habitaten wird mit einem Verlust von, insbesondere terrestrischer, Biodiversität einhergehen. Es ist von einem reduzierten Pflanzenwachstum, dadurch einem Mangel an Nahrung aber auch Wasser für Wildtiere, sowie erhöhtem Schädlings-/Krankheitsbefall bezogen auf Flora und Fauna auszugehen. Im Rahmen des Szenarios werden beschriebene Entwicklungen, die bereits durch im bereits sich wandelnden Klima zu beobachten sind, verstärkt. Jedoch rein auf den Zeitraum des Szenarios bezogen, ist nicht eindeutig von einem drastischen Verlust an Biodiversität auszugehen.
- Das Aussterben einzelner Populationen führt nicht zwangsläufig zum Aussterben der Art. Jedoch kann die Aneinanderreihung von, auch natürlicherweise auftretenden extremen Bedingungen, den Bestand einer Art gefährden. Hier muss die Entwicklung der Anpassungsfähigkeit über Populationszyklen hinweg betrachtet werden.

In der Frage der Anpassungsfähigkeit besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

<sup>118</sup> Die Gesamtfläche der geschützten Gebiete in Deutschland beträgt ca. 200.000 km<sup>2</sup>.

**Hinweis:**

Eine Datenbank, mit Informationen aus Analysen europaweiter Dürreberichte (Akademische/Staatliche Publikationen, Presse, usw.) u. a. zu Auswirkungen auf Änderung und Verlust der Artenvielfalt und die auch fortgeschrieben wird, ist verfügbar – Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports (<http://www.geo.uio.no/edc/droughtdb/edr/impactdatabase.php>).<sup>119</sup>

<sup>119</sup> Hier einige Auszüge zu Auswirkungen auf Änderung und Verlust der Artenvielfalt:

Schwalben konnten wegen fehlender nasser Schlammflächen keine Nester bauen. Deshalb gab es keinen Nachwuchs. (Belgien, 2007). Kranichnester wurden für Füchse erreichbar, da Sumpfgebiet trocken gefallen ist. (Niederlande, 2011). Heide- und Moorlandschaften brannten ab und zerstörten Habitate der Provencegrasmücke *Sylvia undata* und einiger Reptilienarten. (Vereinigtes Königreich, 1976). Graslandvögel brüteten später im Jahr (oder gar nicht), da das Gras nicht hoch genug war. (Niederlande, 2003). Watvögel brauchen feuchte Sumpfgebietsböden zur Nahrungssuche nach Würmern o.Ä., durch die ausgetrockneten Böden wurden einige kleinere Feuchtgebiete aufgegeben. (Vereinigtes Königreich, 2012). Populationsreduktionen bei vielen Insektenarten (z. B. Schmetterling *Aphantopus hyperantus*, nur 33% der Populationen konnten sich binnen 3 Jahre nach der Dürre komplett erholen. (Europa, 1995). Änderung der Spezies-Komposition: Mehr Zecken und Wespen, weniger Mücken und Nacktschnecken. (Dänemark, 2013).

**Schadensparameter: Schädigung von Oberflächengewässern<sup>120</sup>/Grundwasser (U<sub>2</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: ≤ 0,01 % der Gesamtfläche der Oberflächengewässer/des Grundwassers geschädigt
- ☐ B: > 0,01 - 0,1 % der Gesamtfläche der Oberflächengewässer/des Grundwassers geschädigt
- ☐ C: > 0,1 – 1 % der Gesamtfläche der Oberflächengewässer/des Grundwassers geschädigt
- ☒ **D: > 1 – 10 % der Gesamtfläche der Oberflächengewässer/des Grundwassers geschädigt**
- ☐ E: > 10 % der Gesamtfläche der Oberflächengewässer/des Grundwassers geschädigt

**Herleitung**

- Betrachtet werden hier durch das Ereignis geschädigte bzw. belastete Oberflächengewässer (wie Flüsse, Kanäle, Bäche, Seen, Küstengewässer) sowie Grundwasser. Schädigung wird hier verstanden als mögliche Beeinträchtigung aquatischer Ökosysteme.

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

Generell kann in Bezug auf das Szenario in Mengen- und / oder Qualitätsproblemen unterschieden werden. Im Einzelnen:

- Niedrigwasser, insbesondere bei längerer Andauer, kann negative Folgen für die Wasserqualität von Oberflächengewässern haben: zum einen durch eine Aufkonzentration von Nähr- und Schadstoffen, zum anderen können erhöhte Wassertemperaturen einhergehend mit verringertem Sauerstoffgehalt direkte Auswirkungen auf Gewässerfauna und –flora haben. Eine Verschiebung von Artengemeinschaften ist zu erwarten. An kühle Wassertemperaturen und hohe Sauerstoffgehalte angepasste Arten (Lachs, Forelle, Äsche (Lake 2003; Melcher et al. 2013) werden besonders stark von Mortalität betroffen sein. Dies betrifft aber vor allem bereits gefährdete Arten, die schon unter den derzeitigen hydrologischen Bedingungen in ihrem Fortbestand bedroht sind.
- Eine reduzierte Wassermenge im Gewässer führt zur Einengung des Lebensraums, ggf. sind durch Trockenfallen Gewässerabschnitte nicht mehr mit einander verbunden, so dass z. B. Laichplätze nicht mehr erreicht werden können.
- Beides, sowohl die reduzierte Wassermenge als auch die veränderten qualitativen Aspekte können die aquatischen Lebensgemeinschaften schädigen. Diese Auswirkungen, wie Lebensraumverkleinerung durch Verlandung sowie Nährstoffanreicherung begünstigt durch geringe Wassermengen und hohe Temperatur, werden in Stillgewässern schneller und deutlicher auftreten.
- Durch Trockenheit und eine reduzierte Grundwasserneubildung sowie eine erhöhte Verdunstung kann es zu einem Absinken der Grundwasserstände insbesondere bei oberflächennahen Grundwasserkörpern mit geringer Ergiebigkeit und geringer Mächtigkeit kommen. Bei sinkenden Grundwasserständen und einem hohen Nutzungsdruck können durch veränderte Druckpotenziale und ungünstige hydrogeologische Untergrundverhältnisse regional salzhaltige Tiefengrundwasser aufsteigen, im Küstenbereich die Versalzungszone weiter in das Binnenland hinein versetzt werden.

<sup>120</sup> Die Gesamtfläche der Oberflächengewässer in Deutschland beträgt ca. 5.700 km.

**Schadensparameter: Schädigung von Waldflächen<sup>121</sup>(U<sub>3</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: ≤ 0,01 % der gesamten Waldfläche geschädigt
- ☐ B: > 0,01 - 0,1 % der gesamten Waldfläche geschädigt
- ☐ C: > 0,1 – 1 % der gesamten Waldfläche geschädigt
- ☒ D: > 1 – 10 % der gesamten Waldfläche geschädigt
- ☐ E: > 10 % der gesamten Waldfläche geschädigt

**Herleitung:**

- Betrachtet werden hier durch das Ereignis geschädigte bzw. belastete Wälder. Schädigung meint hier eine direkte oder mittelfristige Beeinträchtigung des Baumbestandes in Form von direktem Absterben oder Steigerung der Empfindlichkeit für Schädlinge und in dessen Folge ein Absterben der Bäume.
- Vom Szenario betroffen ist das UNESCO-Weltnaturerbe Alte Buchenwälder Deutschlands mit einer Fläche von ca. 4.391 ha Altwälder. Bei Schädigungen von UNESCO-Welterbe handelt es sich um besondere Betroffenheit.

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Das großflächige Niederschlagsdefizit führt zu einem hohen Waldbrandrisiko. Die Waldbrandgefahr wird im Rahmen des Szenarios für ganz Deutschland deutlich steigen und über lange Zeiten die Gefährdungsstufen 3-5 erreichen. Zum Vergleich dazu wurden bereits gegen Ende Juli 2018 nach langanhaltender Trockenperiode für ca. 85 % der Waldflächen Deutschlands diese Gefährdungsstufen ausgesprochen.<sup>122</sup>
- Die Krautschicht vertrocknet und es kommt zu einem Absterben junger und geschwächter Bäume. Durch den Trockenstress wird der Wald anfällig u. a. für Parasiten und Schädlinge. Während der Dürre 2003 kam es in den Wäldern in Deutschland zu erhöhtem Blattverlust, Absterben und erhöhtem Schädlingsbefall; insbesondere bei der Rot-Buche<sup>123</sup> (<http://www.geo.uio.no/edc/droughtdb/edr/impactdatabase.php>). Die Wahrscheinlichkeit von Baumsterben nach extremer Dürre steigt um 38 Prozent. Dabei sind große Bäume besonders anfällig. (Forschungsprojekt der James Cook-Universität im Regenwald, Australien, Daintree-Nationalpark, nahe Cairns, dpa 2015)
- Vor allem Feuchtwälder wie Moor- und Auenwälder, aber auch Nadelwälder und hier die Fichtenwälder sind besonders gefährdet. Nadelbäume sind gegenüber Laubbäumen deutlich anfälliger für Waldbrände.
- Der Nutzungsdruck auf Waldlebensräume wird wegen seiner Ökosystemleistungen im Verlauf des Szenarios zunehmen.

<sup>121</sup> Die Gesamtfläche der Waldgebiete in Deutschland beträgt ca. 110.000 km².

<sup>122</sup> Vgl. DWD, o.D.

<sup>123</sup> Vgl. European Drought Centre, o.D.

**Schadensparameter: Schädigung landwirtschaftlicher Nutzfläche <sup>124</sup>(U<sub>4</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A:  $\leq 0,01$  % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geschädigt
- ☐ B:  $> 0,01 - 0,1$  % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geschädigt
- ☐ C:  $> 0,1 - 1$  % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geschädigt
- ☒ **D:  $> 1 - 10$  % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geschädigt**
- ☐ E:  $> 10\%$  der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geschädigt

**Herleitung:**

qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Durch die Dürre sind die Böden trocken. Nach einer Bodenbearbeitung setzen und verfestigen sich die Böden durch den fehlenden Niederschlag nicht. Infolge dieser lockeren Böden kommt es verstärkt zu Winderosion, insbesondere in der Nähe von Schauern und Gewittern durch die damit einhergehenden Böen.
- Weiterhin kann der trockene Boden nicht die Niederschlagsmengen bei einem Starkregenereignis aufnehmen, so dass auch hier eine verstärkte Erosion zu erwarten ist, gefördert durch die Lockerheit infolge des fehlenden Setzens nach der Bearbeitung. Dies trifft insbesondere geneigte Anbauflächen.

**Schadensparameter: Schädigung von Nutztieren (U<sub>5</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☒ **A:  $\leq 1.500$  Großvieheinheiten geschädigt**
- ☐ B:  $> 1.500 - 15.000$  Großvieheinheiten geschädigt
- ☐ C:  $> 15.000 - 150.000$  Großvieheinheiten geschädigt
- ☐ D:  $> 150.000 - 1,5$  Millionen Großvieheinheiten geschädigt
- ☐ E:  $> 1,5$  Millionen Großvieheinheiten geschädigt

**Herleitung**

qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

Keine größeren Auswirkungen, bzw. nicht quantifizierbare Auswirkungen. Vereinzelt verenden Tiere aufgrund des Hitzestresses und ausgefallenen Klimaanlagen.

<sup>124</sup> Die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland beträgt 16,7 Mio. ha.

## Schutzgut Volkswirtschaft

### Vorbemerkungen

Eine extreme Dürre kann über einen längeren Zeitraum die wasserseitigen Verkehrsinfrastrukturen und somit wichtige Versorgungsadern einer Volkswirtschaft empfindlich stören. Innerhalb einer Volkswirtschaft finden zwischen den verschiedenen Marktteilnehmern Transaktionen statt, die mit dem Austausch von Gütern und Leistungen verbunden sind. Um die Güterströme der deutschen Volkswirtschaft quantitativ analysieren zu können, bedarf es einer belastbaren Datengrundlage. Die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (VGR) des Statistischen Bundesamts bietet für Deutschland eine wertvolle Datenbasis.<sup>125</sup> Sämtliche Transaktionen der beteiligten Akteure (öffentliche Hand, private Wirtschaft, private Haushalte) werden nach Möglichkeit erfasst und systematisch hinsichtlich ihrer Wertschöpfung ausgewertet. Dabei werden die ökonomischen Aktivitäten bzw. Verflechtungen einer Volkswirtschaft für eine vergangene Periode (meist für ein bestimmtes Jahr) dargestellt.<sup>126</sup> Insbesondere die Input-Output-Rechnung<sup>127</sup> mit ihren Tabellen und Analysen hat sich hierbei als ein hilfreiches Instrument erwiesen, da sie einen systematischen Überblick über die Verflechtungen der deutschen Volkswirtschaft ermöglicht.

Mithilfe von Input-Output-Tabellen können die Güter- und Leistungsströme der Volkswirtschaft dargestellt werden. Hieraus ergibt sich ein interessanter Anknüpfungspunkt zu den Verkehrsstatistiken, da bis zu einem gewissen Grad davon auszugehen ist, dass die Güterströme der Volkswirtschaft eines Kalenderjahres in enger Verbindung mit den Transportströmen der Verkehrsstatistik stehen müssen.

Die Verknüpfung der in der VGR betrachteten Produktionsbereiche mit den in der Verkehrsstatistik erfassten Wirtschaftszweigen ermöglicht räumlich differenzierte Analysen.<sup>128</sup> Durch diese Erweiterung der VGR um eine stark räumlich differenzierte Dimension kann die Bedeutung von wichtigen Verkehrsachsen für die Volkswirtschaft abgeschätzt werden.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung eines Staates kann an seiner Bruttowertschöpfung (BWS) abgelesen werden. Je größer dieser Wert ist, desto höher ist die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Volkswirtschaft einzustufen. Rechnerisch ergibt sich die BWS aus dem Gesamtwert aller produzierten Güter und Dienstleistungen abzüglich der benötigten Vorleistungen. Folglich gibt die BWS den Mehrwert an, der durch die Volkswirtschaft erwirtschaftet wurde. Umgelegt auf die verschiedenen Produktionsbereiche kann analog deren Bedeutung für die Erwirtschaftung des Mehrwertes bestimmt werden. Durch die Verknüpfung der Produktionsbereiche mit der Verkehrsempirie ist es möglich, diese Bedeutung wiederum auf die Transportströme zu übertragen. Die Abbildung 10 zeigt eine Abschätzung der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Verkehrsinfrastrukturen im Hinblick auf die zuordenbare BWS. Um einen möglichen Schaden für die Bundesrepublik Deutschland so gering wie möglich zu halten, ist es sinnvoll im Fall einer Dürre die Verkehrsinfrastrukturen funktionsfähig zu halten bzw. zu reparieren, die einen hohen Anteil an der BWS besitzen.

<sup>125</sup> Zum hier verwendeten Input-Output-Modell nach Leontief vgl. Buthe, B. (2017), S. 40ff.

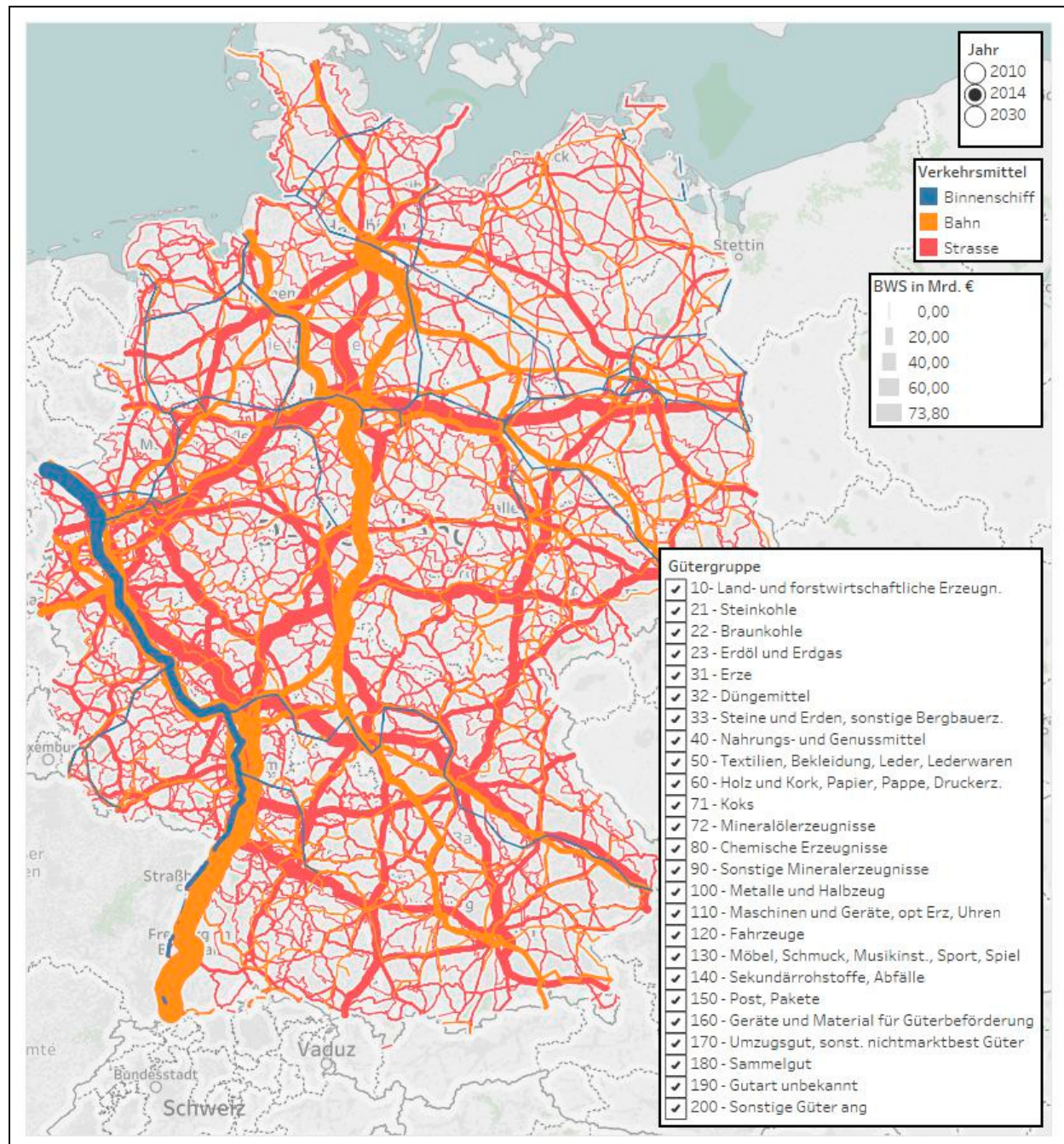
<sup>126</sup> Vgl. Frenkel & John (2011), S. 3.

<sup>127</sup> In dem Ansatz wird unter ‚Input‘ Vorleistungen, also Güter, die im Produktionsprozess verbraucht oder verarbeitet werden, sowie der Einsatz der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital verstanden. Der ‚Output‘ bezeichnet den Wert der produzierten Güter (sog. ‚Produktionswert‘).

<sup>128</sup> Vgl. Buthe, B. (2017), S. 123 ff.

Abbildung 12

### Abschätzung der Volkswirtschaftlichen Bedeutung von Verkehrsinfrastrukturen auf Basis der Bruttowertschöpfung (BWS)



Quelle: BBSR, TraViMo 2018

Neben der deskriptiven Nutzung der VGR bestehen auch analytisch räumliche Auswertungsmöglichkeiten. Die Input-Output-Analyse basiert auf einem Input-Output-Modell mit Annahmen zum Systemverhalten. Das heißt, es werden beispielsweise Annahmen darüber getroffen, wie sich die einzelnen Akteure in der betrachteten Volkswirtschaft bei Veränderungen verhalten. Auf diese Weise lassen sich im Rahmen der Input-Output-Analyse Ereignisse in einer Volkswirtschaft (wie zum Beispiel die Dürre) mit dem Ziel durchspielen, Aussagen über mögliche Effekte treffen zu können. Bei einer längerfristigen Dürre können dies beispielsweise negative aber auch in bestimmten Bereichen positive Wachstums- oder Beschäftigungseffekte sein.

Für die Analyse stehen insgesamt 72 Produktionsbereiche bzw. Gütergruppen zur Verfügung (vgl. Tab. 9). Findet in einem der 72 Produktionsbereiche durch die Dürre eine Reduktion der Produktion statt, so können mit Hilfe der Input-Output-Analyse die Auswirkungen auf alle anderen Produktionsbereiche ermittelt werden. Werden beispielsweise nur noch die Hälfte aller Agrarprodukte produziert, wird dies auch negative Wachstums- und Beschäftigungseffekte auf die Lebensmittelindustrie haben. Insbesondere Produktionsbereiche, welche einen hohen Wassereinsatz haben, wie der Bergbau und die Gewinnung von Steinen und Erden (Kohle, Erze, Steine, Erden und sonstiger Bergbau) sowie im verarbeitendem Gewerbe die Herstellung von Nahrungsmitteln, Getränken, Tabakwaren, Papier, Pappe und Metallen, müssen gegebenenfalls ihre Produktion drosseln.<sup>129</sup>

Anhand einer simulierten Sperrung des Rheins in Höhe der Loreley konnte durch TraViMo-Analysen ermittelt werden, dass die chemische Industrie abhängig von Wasser als Transportmedium und Produktionsstoff ist. Laut TraViMo wurden 2014 flussaufwärts 5.3 Mio. Tonnen chemischer Erzeugnisse befördert und flussabwärts 3.5 Mio. Tonnen, speziell geschah dies auf der Haupttransportstrecke Rotterdam-Ludwigshafen und umgekehrt. Eine Verringerung der Schiffbarkeit bis hin zur vorübergehenden streckenweisen Einstellung der Binnenschifffahrt hätte zur Folge, dass die Produktionsstätten nur noch eingeschränkt oder ggf. gar nicht mehr auf dem Wasserweg erreicht werden könnten und notwendige Rohstoffe und hergestellte Güter nur noch eingeschränkt oder ggf. nicht wegtransportiert werden könnten; hinsichtlich des Exports wären finanzielle Einbußen wahrscheinlich. Zudem kann Wasser für die Produktion nur noch in geringem Maße aus den Binnenwasserstraßen entnommen werden wegen der verminderten Wasserverfügbarkeit und der erhöhten Wassertemperatur.<sup>130</sup> Es müsste geprüft werden, inwiefern eine Verbesserung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen des Verkehrsträgers „Wasserstraße“ vorangetrieben werden kann und im Hinblick auf das Szenario eines Totalausfalls der Wasserstraße (Extremfall) andere Verkehrsträger den Entfall der Binnenwasserstraßen substituieren können.

Aber auch der Staat kann volkswirtschaftliche Impulse bspw. durch Subventionen hervorrufen. Will der Staat die Agrarwirtschaft unterstützen, kann er hier in Form einer Subvention positive Effekte auslösen. Nicht nur der Staat und die Unternehmen üben einen Einfluss auf die Volkswirtschaft aus, sondern auch die privaten Haushalte können positive als auch negative Effekte bewirken, indem sie ihr Konsumverhalten (z. B. vermehrter Einkauf von Getränken) verändern.

<sup>129</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt, 2017, S.33.

<sup>130</sup> Vgl. FAZ vom 03.08.2018: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/hitze-zwingt-basf-zur-drosselung-der-produktion-15721762.html>.

Tabelle 9

**Gütergruppen der Input-Output-Rechnung**

| Nr. | CPA        | Gütergruppen (Zeilen 1 bis 72)                                                  |
|-----|------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 01         | Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Dienstleistungen.....                  |
| 2   | 02         | Forstwirtschaftliche Erzeugnisse und Dienstleistungen.....                      |
| 3   | 03         | Fische, Fischerei- und Aquakulturerzeugnisse.....                               |
| 4   | 05         | Kohle.....                                                                      |
| 5   | 06         | Erdöl und Erdgas.....                                                           |
| 6   | 07-09      | Erze, Steine u. Erden, sonst. Bergbauerzeugn. u. Dienstleistg.....              |
| 7   | 10-12      | Nahrungs- und Futtermittel, Getränke, Tabakerzeugnisse.....                     |
| 8   | 13-15      | Textilien, Bekleidung, Leder- und Lederwaren.....                               |
| 9   | 16         | Holz, Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel).....                     |
| 10  | 17         | Papier, Pappe und Waren daraus.....                                             |
| 11  | 18         | Druckereileistungen, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger.....                 |
| 12  | 19         | Kokerei- und Mineralöl erzeugnisse.....                                         |
| 13  | 20         | Chemische Erzeugnisse .....                                                     |
| 14  | 21         | Pharmazeutische Erzeugnisse .....                                               |
| 15  | 22         | Gummi- und Kunststoffwaren.....                                                 |
| 16  | 23.1       | Glas und Glaswaren.....                                                         |
| 17  | 23.2-23.9  | Keramik, bearbeitete Steine und Erden.....                                      |
| 18  | 24.1-24.3  | Roheisen, Stahl, Erzeugn. der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl.....       |
| 19  | 24.4       | NE-Metalle und Halbzeug daraus .....                                            |
| 20  | 24.5       | Gießereierzeugnisse.....                                                        |
| 21  | 25         | Metallerzeugnisse .....                                                         |
| 22  | 26         | DV-geräte, elektron. u. optische Erzeugnisse.....                               |
| 23  | 27         | Elektrische Ausrüstungen.....                                                   |
| 24  | 28         | Maschinen.....                                                                  |
| 25  | 29         | Kraftwagen und Kraftwagenteile .....                                            |
| 26  | 30         | Sonstige Fahrzeuge.....                                                         |
| 27  | 31-32      | Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren.....                                 |
| 28  | 33         | Reparatur, Instandh. u. Installation v. Maschinen u. Ausrüstungen.....          |
| 29  | 35.1, 35.3 | Elektr. Strom, Dienstleistg. der Elektriz., Wärme- und Kälteversorg.....        |
| 30  | 35.2       | Industriell erzeugte Gase, Dienstleistungen der Gasversorgung.....              |
| 31  | 36         | Wasser, Dienstleistungen der Wasserversorgung.....                              |
| 32  | 37-39      | Dienstleistg. d. Abwasser-, Abfallentsorg. u. Rückgewinnung.....                |
| 33  | 41         | Hochbauarbeiten.....                                                            |
| 34  | 42         | Tiefbauarbeiten.....                                                            |
| 35  | 43         | Vorb. Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten .....          |
| 36  | 45         | Handelsleistungen mit Kfz, Instandhaltung und Reparatur an Kfz.....             |
| 37  | 46         | Großhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz) .....                    |
| 38  | 47         | Einzelhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz) .....                  |
| 39  | 49         | Landverkehrs- und Transportleistungen in Rohrfernleitungen.....                 |
| 40  | 50         | Schifffahrtsleistungen .....                                                    |
| 41  | 51         | Luftfahrtleistungen .....                                                       |
| 42  | 52         | Lagereleistungen, sonstige Dienstleistungen für den Verkehr .....               |
| 43  | 53         | Post-, Kurier- und Expressdienstleistungen.....                                 |
| 44  | 55-56      | Beherbergungs- und Gastronomiedienstleistungen .....                            |
| 45  | 58         | Dienstleistungen des Verlagswesens.....                                         |
| 46  | 59-60      | Dienstleistg. v. audiovisuell. Medien, Musikverlag. u. RF-veranstalten.....     |
| 47  | 61         | Telekommunikationsdienstleistungen .....                                        |
| 48  | 62-63      | IT- und Informationsdienstleistungen.....                                       |
| 49  | 64         | Finanzdienstleistungen.....                                                     |
| 50  | 65         | Dienstleistungen von Versicherungen und Pensionskassen.....                     |
| 51  | 66         | Mit Finanz- und Versicherungsdienstleistg. verbundene Dienstleistg.....         |
| 52  | 68         | Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens .....                      |
| 53  | 69-70      | Dienstleistungen der Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung.....             |
| 54  | 71         | Dienstleistg. v. Architektur- u. Ing.büros u.d. techn., physik. U.suchung ..... |
| 55  | 72         | Forschungs- und Entwicklungsleistungen .....                                    |
| 56  | 73         | Werbe- und Marktforschungsleistungen .....                                      |
| 57  | 74-75      | Sonst. freiberuf., wiss., techn. u. veterinärmedizinische Dienstleistg. ....    |
| 58  | 77         | Dienstleistungen der Vermietung von beweglichen Sachen .....                    |
| 59  | 78         | Dienstleistungen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften .....       |
| 60  | 79         | Dienstleistg. v. Reisebüros, -veranstalten u. sonst. Reservierungen.....        |
| 61  | 80-82      | Wach-, Sicherheitsdienstlg., wirtschaftl. Dienstleistg. a.n.g.....              |
| 62  | 84.1-84.2  | Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung und der Verteidigung.....          |
| 63  | 84.3       | Dienstleistungen der Sozialversicherung.....                                    |
| 64  | 85         | Erziehungs- und Unterrichtsdienstleistungen.....                                |
| 65  | 86         | Dienstleistungen des Gesundheitswesens .....                                    |
| 66  | 87-88      | Dienstleistungen von Heimen und des Sozialwesens .....                          |
| 67  | 90-92      | Dienstleistungen der Kunst, der Kultur und des Glücksspiels.....                |
| 68  | 93         | Dienstleistungen des Sports, der Unterhaltung und der Erholung.....             |
| 69  | 94         | Dienstleistg. d. Interessenvertr., kirchl. u. sonst. Vereinigungen.....         |
| 70  | 95         | Reparaturarbeiten an DV-Geräten und Gebrauchsgütern.....                        |
| 71  | 96         | Sonstige überwiegend persönliche Dienstleistungen.....                          |
| 72  | 97-98      | Waren und Dienstleistungen privater Haushalte o.a.S.....                        |

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten des Statistischen Bundesamts 2018

**Schadensparameter: Auswirkungen auf die öffentliche Hand (V<sub>1</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die öffentliche Hand können vollständig durch das betroffene Land/die betroffenen Länder getragen werden, keine unmittelbaren Auswirkungen für den Bund. Vereinzelt werden geplante Maßnahmen des Bundes zur Unterstützung der betroffenen Region beschleunigt bearbeitet.
- ☒ B: **Durch das Ereignis verursachte Kosten für die öffentliche Hand können zum größten Teil durch das betroffene Land/die betroffenen Länder getragen werden. Umschichtungen im Haushalt können den Mittelbedarf abdecken. Einige Maßnahmen des Bundes werden beschleunigt bzw. vorgezogen.**
- ☐ C: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die öffentliche Hand haben einen überregionalen Umfang. Sie können zum größten Teil nicht mehr durch das betroffene Land/die betroffenen Länder aus eigenen Mitteln getragen werden. Umschichtungen im Haushalt können den Mittelbedarf nicht abdecken, ein Nachtragshaushalt muss auf Landesebene verabschiedet werden. Aufgrund der gesamtstaatlichen Verantwortung sind Bundeshilfen notwendig.
- ☐ D: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die öffentliche Hand haben einen so großen, überregionalen bis bundesweiten Umfang, dass der Bund aufgrund seiner gesamtstaatlichen Verantwortung kurz- bis mittelfristig begrenzte Finanzmittel zur Verfügung stellen muss. Umschichtungen im Haushalt können den Mittelbedarf nicht abdecken, ein Nachtragshaushalt auf Bundesebene muss verabschiedet werden. Das EU-Hilfsprogramm kann in Anspruch genommen werden.
- ☐ E: Sehr große Auswirkungen. Durch das Ereignis verursachte Kosten für die öffentliche Hand haben einen solch erheblichen, überregionalen bis bundesweiten Umfang, dass der Bund aufgrund seiner gesamtstaatlichen Verantwortung mittel- bis langfristig umfangreiche Finanzmittel zur Verfügung stellen muss. Ein Nachtragshaushalt muss infolge des Ereignisses verabschiedet und auch die mittelfristige Finanzplanung muss erheblich nachgebessert werden. Dies hat Auswirkungen auf andere Bereiche des Bundeshaushaltes. EU-Hilfen sind erforderlich (EU-Solidaritätsfonds).

**Herleitung: qualitativ****Zugrunde gelegte Annahmen:***Infrastruktur:*

- Es ist in Hitzeperioden vermehrt mit Schäden an Straßen und u. U. Start-/Landebahnen von Flughäfen (sog. Blow Ups<sup>131</sup>) sowie mit Verformungen von Gleisen zu rechnen.<sup>132</sup>

*Monetäre Kosten-Bereich Gesundheit (Deutschland):<sup>133</sup>*

- Die gesundheitsbezogenen wirtschaftlichen Kosten eines Hitzetages (Temperaturen >30°C) belaufen sich auf bis zu 5 Mio. Euro pro 10 Millionen Einwohner (bei 80 Millionen Einwohnern wären dies bis zu 40 Mio. Euro). Dabei einberechnet wurden die Krankenhauskosten, die Kosten durch den früheren Tod und den Verlust an Arbeitskraft. Nicht berücksichtigt sind ambulante Arztkosten, die niedrigere Produktivität und andere materielle Schäden.
- *Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung:* Eine Gütergruppe in der Input-Output-Tabelle umfasst die „Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung und der Verteidigung“. Im Jahr 2014 hat die öffentliche Hand in diesem Bereich Produktionswerte geschaffen in Höhe von 215.558 Mio. Euro.<sup>134</sup> Wird im

<sup>131</sup> Vgl. o.V., 2018 [www.duesseldorf.de](http://www.duesseldorf.de).

<sup>132</sup> Vgl. Hoffmann, E., Rotter, M. und Welp, M. (2011).

<sup>133</sup> Vgl. Karlsson, M. & Ziehbarth, N.R.

<sup>134</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2018a).

Rahmen des Szenarios angenommen, dass durch die Dürre der Staat bestimmte Leistungen nicht mehr erbringen kann, kommt es zu negativen Wachstums- und Beschäftigungseffekten. Eine Reduktion von 5 % der geschaffenen Produktionswerte führt schätzungsweise zu einem negativen Wachstum in Deutschland in Höhe von 15.705 Mio. Euro bzw. zu einem negativen Beschäftigungseffekt von 147.526 Arbeitskräften. Der Staat kann dieser negativen Entwicklung gezielt durch Subventionen entgegensteuern und auf diese Weise positive Wachstums- und Beschäftigungseffekte erzielen.

**Schadensparameter: Auswirkungen auf die private Wirtschaft (V<sub>2</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die Privatwirtschaft können annähernd vollständig durch die betroffenen Unternehmen getragen werden. Es gibt keine überregionalen Auswirkungen.
- ☐ B: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die Privatwirtschaft können zum größten Teil durch die betroffenen Unternehmen getragen werden. Es gibt geringe überregionale Auswirkungen.
- ☒ C: **Durch das Ereignis verursachte Kosten für die Privatwirtschaft haben einen überregionalen Umfang und ein Teil der betroffenen Unternehmen kann diese nicht aus eigener Kraft tragen. Kurz- bis mittelfristige Umsatzausfälle sind für die betroffenen Branchen bzw. Firmen zu erwarten. Einige Firmen gehen in die Insolvenz, weitere Firmen sind von Insolvenz bedroht; in einigen Branchen sind kurzfristige überregionale Auswirkungen (Zulieferfirmen) festzustellen.**
- ☐ D: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die Privatwirtschaft haben einen großen, überregionalen Umfang, und viele der betroffenen Unternehmen können diese nicht aus eigener Kraft tragen. Mittel- bis längerfristige Umsatzausfälle sind für die betroffenen Branchen bzw. Firmen zu erwarten. Zahlreiche Firmen gehen in die Insolvenz, weitere Firmen sind von Insolvenz bedroht; in einigen Branchen sind mittelfristige überregionale Auswirkungen (Zulieferfirmen) festzustellen. Der Bund ist gefordert, Wiederaufbauprogramme zu fördern. Rezession droht.
- ☐ E: Durch das Ereignis verursachte Kosten für die Privatwirtschaft haben einen erheblichen, überregionalen Umfang, und ein Großteil der betroffenen Unternehmen kann diese nicht aus eigener Kraft tragen. Langfristige Umsatzausfälle sind für die betroffenen Branchen bzw. Firmen zu erwarten. Eine Vielzahl an Firmen geht in die Insolvenz, viele weitere Firmen sind von Insolvenz bedroht; in einigen Branchen sind bundesweite Auswirkungen (Zulieferfirmen) festzustellen. Die gesamte Volkswirtschaft gerät aufgrund des Ereignisses in eine Rezession, Konjunkturprogramme sind notwendig.

**Herleitung:** qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Von einer Dürre wird insbesondere die Agrarwirtschaft stark betroffen sein. Im Jahr 2014 wurde in Deutschland im Produktionsbereich „Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Dienstleistungen“ Güter im Wert von 49.498 Mill. EUR erstellt. Würde man davon ausgehen, dass die Ernte durch die Dürre in Deutschland 20 % geringer ausfällt, wären davon schätzungsweise in der gesamten Volkswirtschaft 219.099 Arbeitskräfte betroffen. Der negative Wachstumseffekt würde sich auf 20.633 Mill. EUR belaufen. Die ermittelten Zahlen sind geschätzte Werte auf Basis der Input-Output-Analyse nach Leontief. Mit Hilfe dieses Modells können Wirkungen in allen Wirtschaftsbereichen grob abgeschätzt werden. Neben der Agrarwirtschaft können so auch Wirkungen in den Produktionsbereichen „Kohle“, „Roheisen, Stahl, Erzeugnisse der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl“, „Elektr. Strom, Dienstleistung der Elektriz.-, Wärme- und Kälteversorgung.“ ermittelt werden.
- Darüber hinaus ist mit finanziellen Schäden für Industrie, Forstwirtschaft und Logistik zu rechnen. Diese ergeben sich beispielsweise aus erhöhten Transportkosten durch den teilweisen oder kompletten Ausfall des Verkehrsträgers Binnenschiff oder Preiseffekten durch bestimmte Mangellagen (z. B. Treibstoffversorgung).

**Anmerkung:**

Sollte zusätzlich noch die Stromversorgung überregional und/oder längerfristig eingeschränkt sein oder zusammenbrechen, könnten die finanziellen Auswirkungen auf Unternehmen ungleich größer sein, sodass dann sogar eine höhere Schadensklasse erreicht werden kann.

**Schadensparameter: Auswirkungen auf die privaten Haushalte (V<sub>3</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: ≤ 4.000 Haushalte betroffen
- ☒ B: > 4.000 - 40.000 Haushalte betroffen
- ☐ C: > 40.000 - 200.000 Haushalte betroffen
- ☐ D: > 200.000 - 400.000 Haushalte betroffen
- ☐ E: > 400.000 Haushalte betroffen

**Herleitung:** qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- „Betroffen“ bedeutet hier: Haushalte, die die Wiederherstellung nicht aus eigener Kraft bewältigen können.
- Hier sind vor allem die Landwirte berücksichtigt, die ihren Betrieb im Nebenerwerb (rd. 50 % aller Betriebe in Deutschland → 2016 gab es ca. 275.000 landwirtschaftliche Betriebe<sup>135</sup>) führen, und diese so klein sind, dass die Ernteauffälle hier nicht mehr aus eigener finanzieller Kraft aufgefangen werden können. Darüber hinaus werden vereinzelt kleinere Betriebe aufgrund der Logistik-Probleme ihren Betrieb nicht die ganze Zeit aufrechterhalten können und sind somit gezwungen Personal zu entlassen.

**Anmerkung:**

Neben den bisher negativ dargestellten Auswirkungen können auch positive Effekte bei einer Dürre für die Volkswirtschaft entstehen. Es ist davon auszugehen, dass durch die Dürre und der damit verbundenen Hitze die privaten Haushalte ihren Getränkekonsum steigern werden. Geht man davon aus, dass insgesamt 100 Mill. EUR mehr an Getränke konsumiert wird, entstehen dadurch 1.512 neue Arbeitsplätze und schätzungsweise beläuft sich der gesamtwirtschaftliche positive Impuls auf 217 Mill. EUR.

<sup>135</sup> Statistisches Bundesamt, [https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/LandwirtschaftlicheBetriebe/ASE\\_Aktuell.html](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/LandwirtschaftlicheBetriebe/ASE_Aktuell.html)

**Schutzgut Immateriell****Schadensparameter: Auswirkungen auf die öffentliche Sicherheit und Ordnung (I<sub>1</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist problemlos möglich.
- ☒ B: **Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist auf regionaler Ebene mit leicht erhöhtem Aufwand möglich.**
- ☐ C: Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist auf regionaler bis überregionaler Ebene nur mit erhöhtem Aufwand möglich.
- ☐ D: Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist überregional mit großem Aufwand verbunden bzw. regional gefährdet.
- ☐ E: Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist überregional bis bundesweit gefährdet.

**Herleitung:** qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- THW, Bundespolizei, Bundeswehr leisten Amtshilfe (für Löschen und ggf. Bewässerung) für die betroffenen Kommunen. Ein Teil der Vegetations- und Waldbrände werden von Saboteuren und Trittbrettfahrern mutwillig gelegt.

**Schadensparameter: Politische Auswirkungen (I<sub>2</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☐ A: Politische Auswirkungen auf regionaler Ebene.
- ☐ B: Politische Auswirkungen auf überregionaler bis Landesebene.
- ☐ C: Politische Auswirkungen auf Landes- bis Bundesebene.
- ☒ **D: Große politische Auswirkungen bis auf Bundesebene.**
- ☐ E: Sehr große politische Auswirkungen bis auf Bundesebene.

**Herleitung:** qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Die Bundesministerin für Ernährung und Landwirtschaft gibt eine Stellungnahme zum Krisenmanagement aus gesamtstaatlicher Sicht ab.
- Es finden Absprachen zwischen entsprechenden Bundes- und Landesministern zu Sofortmaßnahmen/Finanzmitteln statt. Anträge an die EU Kommission auf Unterstützung aus dem EU-Solidaritätsfonds werden gestellt. (VERORDNUNG (EG) Nr. 2012/2002 DES RATES vom 11. November 2002 zur Errichtung des Solidaritätsfonds der Europäischen Union)
- Das Ereignis und die durch Dürre, Vegetationsbrände und Hitzewelle verursachten Schäden und Auswirkungen haben sehr große politische Auswirkungen bis auf Bundes- und EU-Ebene. Die von den Behörden vor, während und nach dem Ereignis getroffenen Maßnahmen werden von den Medien und der Öffentlichkeit mit großem Interesse verfolgt. Aus der wahrgenommenen Bewältigungs- und Kommunikationsfähigkeit der verantwortlichen Ebenen ergeben sich politische Konsequenzen.
- Das Ereignis und seine Folgen beherrschen die Berichterstattung in lokalen, überregionalen und bundesweiten Medien. Die Medien werfen einigen politisch Verantwortlichen auf kommunaler und Landesebene ein fehlerhaftes Krisenmanagement vor, vielfach auch in Fällen, in denen diese Vorwürfe objektiv nicht gerechtfertigt sind.

**Schadensparameter: Psychosoziale Auswirkungen (I<sub>3</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☒ A: ≤ 100.000 Personen betroffen
- ☐ B: > 100.000 - 1.000.000 Personen betroffen
- ☐ C: > 1.000.000 - 10.000.000 Personen betroffen
- ☐ D: > 10.000.000 - 40.000.000 Personen betroffen
- ☐ E: > 40.000.000 Personen betroffen

**Herleitung:** qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Abkühlung fehlt über längeren Zeitraum.
- Menschen sind besorgt über die Dauer der klimatischen Veränderungen und die prognostizierten Auswirkungen.
- Mit einem erhöhten Aufkommen an Anfragen von besorgten Bürgern bei Behörden, insbesondere durch Herz-Kreislauferkrankungen belastete Personen und deren Angehörige, ist zu rechnen.
- Die Hinterbliebenen von „Hitze- und Kältetoten“ sind besonders hohen psychosozialen Belastungen ausgesetzt.
- Besonders hoch sind die psychosozialen Belastungsfaktoren für Landwirte die aufgrund des Ereignisses ihre Existenzgrundlage verlieren oder drohen zu verlieren.

**Schadensparameter: Schädigung von Kulturgut (I<sub>4</sub>)****Zuordnung gemäß aktueller Klassifikation:**

- ☒ A: ≤ 0,05 % der als Kulturgut gemäß Haager Konvention gekennzeichneten Bauwerke beschädigt/zerstört
- ☐ B: > 0,05 - 0,1 % der als Kulturgut gemäß Haager Konvention gekennzeichneten Bauwerke beschädigt/zerstört
- ☐ C: > 0,1 - 0,5 % der als Kulturgut gemäß Haager Konvention gekennzeichneten Bauwerke beschädigt/zerstört
- ☐ D: > 0,5 - 1 % der als Kulturgut gemäß Haager Konvention gekennzeichneten Bauwerke beschädigt/zerstört
- ☐ E: > 1 % der als Kulturgut gemäß Haager Konvention gekennzeichneten Bauwerke beschädigt/zerstört

**Herleitung:** qualitativ

**Zugrunde gelegte Annahmen:**

- Es werden keine Kulturgüter nach Haager Konvention zerstört. Durch Vegetationsbrände sind vereinzelte Beschädigungen denkbar (z. B. durch Rußablagerungen an Gebäuden).
- Es ist ebenfalls denkbar, dass einzelne sonstige bedeutsame Kulturgüter wie z. B. Bodendenkmäler, Hügelgräber o. ä. durch Vegetationsbrände beschädigt bzw. teilweise sogar zerstört werden. Da aber der Umfang und die Anzahl der Brände durch die Feuerwehren grundsätzlich zeitnah beherrscht werden, handelt es sich nur um Einzelfälle.

#### IV. Leistungen des Bundes

Für das hier betrachtete Szenario (Dürre mit Hitzewelle und Vegetationsbränden) und in diesem Zusammenhang eintretende Schäden und Belastungen an Mensch, Umwelt und Infrastrukturen hat der Bund Fähigkeiten und Ressourcen, die er den betroffenen Ländern und Kommunen – teilweise in Amtshilfe gem. Art. 35 Grundgesetz – zur Verfügung stellt.

Zum einen stehen hier Fähigkeiten und Ressourcen die der Bund aufgrund eigener Zuständigkeit vorhält, dazu gehören u. a. die Leistungen des Deutschen Wetterdienst (DWD) oder der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) im Bereich Vorhersage und Monitoring und zum anderen Ressourcen die der Bund im Rahmen der ergänzenden Ausstattung des Landes-Katastrophenschutzes gem. § 13 Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz (ZSKG) den Ländern auch zur Nutzung bei Katastrophenfällen überlässt. Darüber hinaus verfügt der Bund zur Bewältigung der Auswirkungen von Dürre und Hitzeereignissen über vielfältige Fähigkeiten und Ressourcen (wie z. B. Anlagen der Trinkwassernotversorgung oder die Fachgruppen Trinkwasserversorgung des Technischen Hilfswerkes (THW)), die er den betroffenen Kommunen und Ländern im Rahmen der Amtshilfe gem. Art. 35 Grundgesetz – auf Anforderung – ebenfalls zur Verfügung stellt.

Die Fähigkeiten und Ressourcen des Bundes für die Bewältigung des hier angenommenen Dürreereignisses (einhergehend mit Hitzewelle und Vegetationsbränden) werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt:

##### a) Ausstattung

###### **Brandschutz (hier Vegetations- bzw. Waldbrand) – Ausstattungskonzept des Bundes:**

Für die Brandbekämpfung sind im abgestimmten Ausstattungskonzept des Bundes im Rahmen der Ergänzung des Katastrophenschutzes der Länder insgesamt 955 Löschgruppenfahrzeuge für den Katastrophenschutz (LF-KatS) und 466 Schlauchwagen für den Katastrophenschutz (SW-KatS) vorgesehen.

Das LF-KatS kann mit neun Einsatzkräften (eine Gruppe) und der Schlauchwagen mit drei Einsatzkräften (ein Trupp) besetzt werden. Die Fahrzeuge sind zur Kontaktaufnahme mit der jeweiligen Leitstelle sowohl mit Digital- als auch mit Analogfunkgeräten ausgestattet. Für die Kommunikation an der Einsatzstelle stehen Handfunksprechgeräte in entsprechender Anzahl zur Verfügung. Zum Eigenschutz der Einsatzkräfte stehen auf dem LF-KatS vier Umluft unabhängige Atemschutzgeräte zur Verfügung. Zusätzlich sind für jede Einsatzkraft auf dem LF-KatS und dem SW-KatS Atemschutzmasken mit Atemfilter vorrätig.

Mit diesen Fahrzeugen kann eine Wasserversorgung über lange Wegstrecken aufgebaut und ein Löschangriff vorgetragen werden. Die Schlauchwagen ermöglichen in Verbindung mit den LF-KatS die Fortleitung von Löschwasser über eine Distanz von bis zu 2000 m. Dabei kann, in Kombination mit der Tragkraftspritze des LF-KatS, ein Volumenstrom von 800 Liter/Minute sichergestellt werden. Bis zum Aufbau der Wasserversorgung kann der Löschangriff bereits mit dem auf dem LF-KatS mitgeführten Löschwasser (1 qm) begonnen werden.

Die Brandbekämpfung kann sowohl aus der Distanz über Monitore (notwendig bei munitionsbelasteten Flächen) als auch flexibel über handgeführte Strahlrohre erfolgen. Zur Erstellung von Schneisen sind auf beiden Fahrzeugen motorbetriebene Kettensägen verfügbar.

Von diesen 955 LF-KatS sind 539 Fahrzeuge in den Ländern verfügbar. Aktuelle Beschaffungsmaßnahmen umfassen 306 weitere Fahrzeuge. Bei den Schlauchwagen sind in den Ländern 405 Fahrzeuge verfügbar. Eine aktuelle Beschaffungsmaßnahme deckt den Fehlbestand der SW-KatS vollständig ab.

##### b) Weitere Unterstützungsleistungen:

- Hubschrauber der Bundespolizei und der Bundeswehr zum Löschen bzw. zur Erkundung.

- Nutzung von Anlagen der Trinkwassernotversorgung (Verbundleitungen, Notbrunnen, Chlortabletten, Wassertransportkapazitäten), die auf Grundlage des WasSiG für den Verteidigungsfall errichtet oder beschafft wurden<sup>136</sup>. Diese Anlagen dürfen gemäß § 8 WasSiG auch in Friedenszeiten verwendet werden. Die Vorgaben der TrinkwV sind hierbei zu beachten.
- Auf das Szenario Dürre und den damit ggf. einhergehenden Mangel an Wasser in Trinkwasserqualität bezogen, hält das THW zur Trinkwasseraufbereitung elf Fachgruppen vor. Diese können an Brennpunkten zum Einsatz kommen, bilden jedoch keine dauerhafte Einsatzoption für eine langanhaltende Dürre, da ihr Einsatz personal- und materialintensiv ist.
- Die Fachgruppen Trinkwasserversorgung des THW sind in der Lage 132.000 Menschen leitungsunabhängig mit 25 Liter pro Person und Tag zu versorgen. Leitungsgebunden sinkt diese Zahl auf rund 22.000 Menschen
- Neben den Fähigkeiten des THW beim Vegetations- bzw. Waldbrand stehen die vom Szenario unabhängigen Fähigkeiten des THW grundsätzlich allen Bedarfsträgern zur Verfügung. Hierbei werden in erster Linie die Bereiche Führungsunterstützung, Transport- und Logistikleistungen sowie die Fähigkeiten im Bereich Verpflegung und Unterbringung von mehreren hundert Einsatzkräften von hoher Bedeutung sein. Gleichwohl kann das THW hierbei nur unterstützend tätig sein, da die Ressourcen/Anforderungen durch den Bund priorisiert werden bzw. meist überregional zusammengezogen werden müssten.
- Im Rahmen freier Kapazitäten kann die Bundeswehr mit Fähigkeiten und Ressourcen, die besonders zur Hilfeleistung geeignet sind, unterstützen. Bei Vegetations- bzw. Waldbränden sind dies z. B. Brandbekämpfung aus der Luft, Einsatz von schwerem Gerät (bspw. geschützter Pioniermaschinen im munitionsbelasteten Gebiet), Wärmebildaufklärung mit Flugzeugen oder Drohnen sowie der Einsatz der Bundeswehrfeuerwehr.
- Gleichwohl unterliegen die Fähigkeiten der Bundeswehr dem Grundsatz der Subsidiarität, entsprechende Beiträge im Rahmen der zivilen Katastrophenhilfe werden nicht vorgehalten.
- Fähigkeiten der Bundeswehr zur Trinkwasseraufbereitung und -transport.

### c) Beratungsleistungen – Vorhersage und Monitoring:

#### Deutscher Wetterdienst (DWD)

##### *Monitoring*

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) betreibt zwei Systeme zum Monitoring der Niederschlagsmengen und damit auch von Dürren.

In der Abteilung Agrarmeteorologie wird aus den an Stationen gewonnenen Beobachtungsdaten der „Standardized Temperature Index“ (STI), der „Standardized Precipitation Index“ (SPI) und der „Standardized Precipitation Evapotranspiration Index“ (SPEI) berechnet und anschließend ausgehend von den Stationen auf das gesamte Bundesgebiet interpoliert. Diese Daten werden für die agrarmeteorologische Beratung verwendet.

In der Abteilung Hydrometeorologie wird ein anderer Ansatz verfolgt, bedingt durch das Ziel ein in nahezu Echtzeit global funktionierendes Dürremonitoring im Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN) zu betreiben. Hierzu werden mit den im WZN erstellten gerasterten Analysen des monatlichen Niederschlags und der gerasterten Monatsmitteltemperatur der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration in den USA) der SPI und SPEI berechnet und zum global anwendbaren GPCC-DI (Global Precipitation Climatology Centre – Drought Index) kombiniert. Außer einigen Gebieten in den Anden, im Hochland von Tibet und der Antarktis deckt dieser Index die globalen Landflächen mit einer räumlichen Auflösung von 1 °C ab, so dass hiermit eine Möglichkeit zur Überwachung der Situation in den Nachbarländern gegeben ist. Der GPCC-DI wird monatlich aktualisiert (liegt ab 1952 vor) und wird auch auf dekadische Klimavorhersagen angewendet.

Mit den über die betroffene Fläche integrierten Werten der Dürreindizes kann die Intensität der Dürre abgeschätzt werden.

<sup>136</sup> Für die Unterscheidung zwischen Ersatzversorgung und Notversorgung mit Trinkwasser vgl. Hinweiskasten „Trinkwassernotversorgung des Bundes“, S. 25.

*Vorhersage*

Neben den allgemein bekannten numerischen Vorhersagesystemen für die Kurz- und Mittelfristvorhersagen (bis 10 Tage Vorhersagehorizont) prozessiert der DWD auch die mehrwöchigen Vorhersagen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW). Die Wochenvorhersagen umfassen Wochenmittelwerte für die nächsten sechs Wochen und werden zweimal wöchentlich bereitgestellt. Saisonale Klimavorhersagen werden vom DWD produziert und auf der Jahreszeitenvorhersage-Webseite des DWD ([www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage](http://www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage)) für Temperatur und Niederschlag veröffentlicht. Diese umfassen die Mittelwerte über die drei Folgemonate und werden einmal pro Monat aktualisiert. Die Entwicklung eines dekadischen Klimavorhersagesystems findet im Rahmen des Forschungsprojektes MiKlip statt, das ab 2020 operationell beim DWD betrieben werden soll. Bei den dekadischen Klimavorhersagen werden Jahres- und Vierjahresmittel für die nächsten zehn Jahre berechnet. Die dekadischen Klimavorhersagen werden einmal pro Jahr aktualisiert. Ab Herbst 2019 wird ein neuer DWD-Internetauftritt für Klimavorhersagen aufgebaut, der schrittweise alle Klimavorhersagezeitskalen erfassen wird. Zu Beginn werden Temperatur- und Niederschlagsvorhersagen veröffentlicht, die im weiteren Verlauf um Dürrevorhersagen ergänzt werden.

Aufbauend auf den Modellergebnissen kann ein Dürreindex zur Vorhersage von Dürren berechnet werden, um Dürren auf Zeitskalen von Wochen bis Dekaden vorhersagen zu können. Mit den Wochen- und saisonalen Klimavorhersagen lässt sich im Prinzip der Beginn und die Stärke einer Trocken- oder Dürreperiode vorhersagen, bedingt durch den kurzen Vorhersagehorizont aber möglicherweise nicht das Ende langer Ereignisse. Die dekadische Klimavorhersage beschreibt die generelle Wahrscheinlichkeit von Dürren mit einer zeitlichen Auflösung von einem beziehungsweise vier Jahren. Sie kann aber auch Informationen zu mehrjährigen saisonalen Mitteln, z. B. 4-jährigen Sommer- oder Winterdürren liefern.

Für die Wochenvorhersagen wird die Dürregefährdung aktuell basierend auf der Bodenfeuchte eines agrarmeteorologischen Klimafolgenmodells analysiert. Das saisonale Vorhersagesystem GCFS2.0 zeigt für Temperatur und Niederschlag für einige Startmonate in Deutschland eine bessere Vorhersagegüte gegenüber der beobachteten Klimatologie und könnte durch statistische Nachbereitung weiter verbessert werden. An der Umsetzung saisonaler Dürrevorhersagen über Deutschland, welche auf Temperatur und Niederschlag basieren, wird aktuell gearbeitet. Für dekadische Klimavorhersagen ist bereits ein Dürreindex berechnet worden. Dekadische Dürrevorhersagen zeigen für einzelne Regionen Deutschlands, z. B. Norddeutschland, eine bessere Vorhersagegüte als die beobachtete Klimatologie. Im MiKlip-Projekt wurde mit der statistischen Nachbearbeitung der dekadischen Klimavorhersagen eine Verbesserung der Vorhersagegüte erreicht.

Im Fokus der aktuellen Forschung stehen eine Verbesserung der Vorhersagbarkeit der Nordatlantischen Oszillation (NAO) und die Anwendung von Methoden der statistischen Nachbereitung, welche beide das Potential haben, die Qualität der Dürrevorhersagen auf Monats-, saisonaler und dekadischer Zeitskala für Deutschland zu steigern.

**Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)**

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung inklusive ihrer Oberbehörde (BfG) betreibt ein bundesweites Monitoring extremer Hoch- und Niedrigwasserereignisse, welches beim Auftreten von Über- bzw. Unterschreiten bestimmter Schwellenwerte an den Bundeswasserstraßen aktiviert wird. Einen überregionalen Blick auch im Hinblick auf die Wasserqualität der großen Ströme Deutschlands präsentiert die BfG-Informationsplattform Undine. Während die BfG verkehrsbezogene Wasserstandsvorhersagen (~ +4d) erstellt, betreiben einige Bundesländer (z. B. Baden-Württemberg (BW)) auch spezielle Niedrigwasser-Vorhersagedienste, der im Falle von BW auch die Wassertemperatur umfasst.

Die Vorhersagedauern der operationellen Niedrigwasser-Vorhersagen sind mit ~ 7 Tagen vergleichsweise kurz. An der BfG wird derzeit an Vorhersagen mit Vorhersagezeiten von bis zu 10 Tagen gearbeitet. Ebenso führt die BfG Forschungsarbeiten zu „saisonalen hydrologische Vorhersagen“ durch. Diese Vorhersagen befinden sich derzeit (Stand 2018) jedoch noch erst im Testbetrieb. Es zeigt sich eine Vorhersagbarkeit von 1 bis 2 Monaten. Mögliche Entwicklungen der kommenden Monate lassen sich jedoch in Form von Szenarien aufzeigen. Betroffene Bereiche (z. B. Binnenschifffahrt) haben somit einen gewissen Vorlauf sich auf die Situation einzustellen.

**Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie**

Die Meeresgezeiten dringen über die Mündungen und Unterläufe der Flüsse weit in das Hinterland. Für alle Küstenorte und Flüsse mit wahrnehmbaren Gezeiten werden Vorausberechnungen und Vorhersagen des Wasserstandes vom BSH geliefert. Wegen der Nähe der großen Häfen zum offenen Meer ist der Einfluss der Dürre auf die Wasserstände im Gezeitenbereich der gut ausgebauten Seeschifffahrtsstraßen gering. Im Einzelfall, insbesondere was die Seeschifffahrt mit großem Tiefgang betrifft, kann es im Rahmen eines realen Dürreereignisses vereinzelt Nachfragen zu (Tide-)Niedrigwasserständen geben. Diese Nachfragen werden durch den 24/7-Wasserstandsvorhersagedienst des BSH beantwortet.

## V. Betroffene Handlungsfelder

Folgende Handlungsfelder sind nach den im Rahmen der Risikoanalyse gewonnen Erkenntnissen von einem mehrjährigen extremen Dürreereignis betroffen, wobei diese Auflistung aufgrund des gegenwärtigen Forschungsstands nicht als abschließend interpretiert werden kann:

- Trinkwasserversorgung
- Talsperren- und Speichermanagement
- Öffentliche Abwasserbeseitigung
- Energieversorgung
- Gesundheitssystem
- Umwelt
- Verkehr und Wirtschaft
- Ernährungssektor
- Gefahrenabwehr
- Krisenkommunikation
- Forschung

Es erscheint notwendig, auch vor dem Hintergrund der zu erwartenden Entwicklungen im Zusammenhang mit dem fortschreitenden Klimawandel (vgl. Kap. 2.1.6), die gewonnenen Erkenntnisse strukturiert aufzuarbeiten. Dies gilt umso mehr, als zwischen den Handlungsfeldern starke Abhängigkeiten bestehen. Auf welcher Ebene diese Aufarbeitung erfolgen sollte, muss anhand der jeweiligen Betroffenheit und des zu erwartenden Schadens (vgl. Tabelle 2) entschieden werden. Grenz- und sektorenüberschreitende Aspekte sind zumindest bei den Handlungsfeldern zu beachten, die von Fragen der Wasserverfügbarkeit und Wassermenge berührt sind, da sich die Funktionsweise von Wasserkörpern nicht an Landesgrenzen orientiert. Neben den Handlungsfeldern der Wasserwirtschaft gilt dies z. B. auch für die Bereiche Verkehr oder Energieversorgung. Nachfolgend werden auf Basis der Risikoanalyse, die von einem mehrjährigen Dürreereignis betroffenen Handlungsfelder sowie der jeweilige ermittelte Handlungsbedarf benannt. In Ergänzung werden mögliche Maßnahmenoptionen zur Schließung der Handlungslücken vorgestellt, die von den an der Risikoanalyse beteiligten Fachbehörden des Bundes (vgl. Kap. 2.1) sowie des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW), der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. (ATT) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) aus fachlicher Sicht empfohlen werden. Sie erheben weder einen Anspruch auf Vollständigkeit und sind unabhängig von eventuell bereits geplanten oder erfolgten Umsetzungen von möglichen Maßnahmen, die im Zuständigkeitsbereich der Länder und Kommunen liegen, zu sehen. Die aufgeführten Maßnahmenoptionen sind das Ergebnis einer bereits sehr differenzierten Betrachtung der Risikoanalyseergebnisse, gleichwohl ist dies nicht mit der zwingend erforderlichen Risikobewertung gleichzusetzen.

### Trinkwasserversorgung

Handlungsbedarf: Erhöhung der Versorgungssicherheit, Redundanz und Resilienz.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Durchführung von Risikoanalysen durch das jeweilige Wasserversorgungsunternehmen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden, um Versorgungsrisiken rechtzeitig zu erkennen und zu bewerten (siehe hierzu BBK-Empfehlung „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Teil I: Risikoanalyse“, 2016 und DIN EN 15975-2 „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil II: Risikomanagement“, 2013),
- Vorausschauende Wasserbedarfsprognosen unter Berücksichtigung der demografischen Entwicklung,
- Erarbeitung von und Anpassung bestehender Notfallvorsorgekonzepte(n) in Zusammenarbeit zwischen Wasserversorgungsunternehmen und zuständigen Behörden (Katastrophenschutz, Gesundheit, Umwelt) unter besonderer Berücksichtigung sensibler Einrichtungen und an extreme Dürreereignisse (siehe BBK-

Empfehlung „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Teil II: Notfallvorsorgeplanung, (in Vorbereitung) und DIN EN 15975-1 „Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil I: Krisenmanagement“),

- Optimierung von Wassergewinnungs- und Wasseraufbereitungsverfahren und Ausrichtung an zukünftige Einflussfaktoren,
- Stabilisierung, Optimierung und Ergänzung der Gewinnungsmöglichkeiten (z. B. durch Ausbau von Infiltrationsanlagen zur Grundwasseranreicherung),
- Wasserverluste auf niedrigem Niveau halten bzw. dort wo erforderlich verringern,
- Ausbau von örtlichen und regionalen Leitungsverbünden,
- Konsequenter Schutz der Trinkwasserressourcen, auch durch die konsequente und zügige Ausweisung von Wasserschutzgebieten und Vorranggebieten für die Trinkwassergewinnung vor allem im Hinblick auf konkurrierende Nutzungen,
- Konsequente Verankerung der öffentlichen Wasserversorgung in der Landes-, Regional- und Flächennutzungsplanung,
- Beseitigung von Investitionshemmnissen durch klare Investitionsbedingungen und Finanzierungsgrundlagen,
- Überwachung der vorhandenen und Prognose der künftigen Dargebote unter Berücksichtigung des Klimawandels<sup>137</sup>,
- Förderung von Querschnittsforschungen zur Thematik Klimaanpassung und Klimaadaptation mit der Bereitstellung aufbereiteter Grundlagendaten.

### Talsperren- und Speichermanagement

Handlungsbedarf: Anpassung an Veränderungen der Nutzungsansprüche und Anforderungen an Talsperren auch im Hinblick auf mögliche Folgen des Klimawandels.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Überprüfung und ggf. Anpassung bzw. Dynamisierung der Stauziele, sodass bei multifunktionaler Nutzung von Talsperren beispielsweise saisonal unterschiedliche Stauziele an Bedeutung gewinnen können,
- Mit der angepassten Mengenbewirtschaftung steht auch eine darauf abgestimmte Anpassung der Gütebewirtschaftung in Zusammenhang. Für die Wassergüte in Talsperren ist von großer Bedeutung, an welchen Stellen möglichst sauberes Wasser für die Trinkwassernutzung auf der einen Seite und das weniger saubere Wasser für die Hochwasserentlastung und Abgabe an den Unterlauf auf der anderen Seite entnommen wird,
- Potentiellen Nutzungskonflikten z. B. zwischen Hochwasserschutz, Trinkwasser- und Brauchwasserversorgung, Niedrigwassersteuerung, Wasserkraftnutzung, Bereitstellung von Bewässerungswasser, Tourismus und Schifffahrt ist frühzeitig zu begegnen,
- Eine Verbundbewirtschaftung mehrerer Talsperren kann für die Sicherung der Wasserversorgung während langer Trockenperioden notwendig werden,

<sup>137</sup> Dies fällt nicht in den Zuständigkeitsbereich der Wasserversorgungsunternehmen (WVU). Die Vorausschau bezieht sich auf die technische Anlagennutzdauer, die der Genehmigung hinterlegten wasserwirtschaftlichen Nutzungsdauer und der damit einhergehenden gesicherten Rechtsstellung des Vorhabens für das WVU.

- Da Talsperren im Stande sind, mögliche negative Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt abzuf puffern, ist zu erwarten, dass auf Talsperren höhere Anforderungen bzw. veränderte Nutzungsansprüche zukommen. Es muss sichergestellt werden, dass die Anlagen auch unter Klimawandelbedingungen sicher und effizient betrieben werden können.<sup>138</sup>

### Öffentliche Abwasserbeseitigung

Handlungsbedarf: Kompensation der negativen Folgen von zunehmenden und langandauernden Trockenperioden durch bauliche Optimierung und ein optimierter Betrieb vorhandener Kanalnetze erforderlich werden.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Durchführung von bedarfsgerechten Spülungen während Trockenzeiten (u. U. Hochdruckspülungen und Einsatz von Chemikalien oder Maschinen),
- Entwicklung von hydraulisch effektiveren Rohrprofilen,
- Realisierung einer dezentralen Druckentwässerung in einzelnen Netzabschnitten.<sup>139</sup>

### Gefahrenabwehr

Handlungsbedarf: Schnelle und effiziente Reaktion der Gefahrenabwehrbehörden auf auftretende Schäden und entstehende Engpässe.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Zur Ersatz- und Notwasserversorgung:<sup>140</sup>
  - Beteiligung an der Erstellung von Notfallvorsorgekonzepten in Zusammenarbeit mit den Wasserversorgungsunternehmen und weiteren zuständigen Behörden sowie deren Umsetzung, insbesondere unter Berücksichtigung der Organisation der Ersatz- und Notversorgung im Ereignisfall (u. a. personelle und technische Planung),
  - Erfassung vorhandener Ressourcen und Kapazitäten der Ersatz- und Notversorgung (insbesondere mobile Ersatzversorgungskapazitäten wie Tankwagen oder Aufbereitungsanlagen, ausreichend groß dimensionierte Notstromaggregate oder vorhandene leitungsunabhängige Brunnen) und – wenn notwendig – Ergänzung der vorhandenen Ressourcen (IST-SOLL-Abgleich),
  - Ist eine Aufrechterhaltung der leitungsgebundenen Wasserversorgung nicht mengenmäßig, sondern aus Beschaffenheitsgründen in Frage gestellt, da die Einhaltung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) mit den verfügbaren Aufbereitungs- und Desinfektionskapazitäten nicht mehr gewährleistet werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen, ob eine leitungsgebundene Versorgung mit Wasser, das nicht den Anforderungen der TrinkwV genügt, sinnvoll ist. Das kann der Fall sein, wenn die rechtzeitige und umfassende Information der Bevölkerung, z. B. über Abkochgebote und die Einschränkung des Verwendungszwecks, und die Versorgung sensibler Einrichtungen, z. B. Krankenhäuser, mit Trinkwasser gemäß TrinkwV sichergestellt ist, und einer funktionsfähigen Abwasserbeseitigung unter dem Aspekt der Gesundheitsvorsorge (Schutz vor der Ausbreitung von Krankheitserregern) Vorrang eingeräumt wird; die Abwasserbeseitigung ist von einer funktionsfähigen, leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung abhängig (Schwemmkanalisation).
- Bei erhöhter Gefahr von Vegetationsbränden in Folge von langanhaltender Trockenheit wird folgendes empfohlen:

<sup>138</sup> Vgl. LAWA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017).

<sup>139</sup> Vgl. LAWA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017).

<sup>140</sup> Für die Unterscheidung zwischen Ersatzversorgung und Notversorgung mit Trinkwasser vgl. Hinweiskasten „Trinkwassernotversorgung des Bundes“, S. 25.

- Sicherstellung einer permanenten Überwachung des Waldes bei akuter Brandgefahr durch Überwachungsflüge und -kameras,
- Verbreitung von Verhaltenshinweisen an die Bevölkerung zur Vermeidung des Ausbruchs von Bränden,
- Ausbau und Pflege möglichst geradliniger Waldwege zur Befahrbarkeit durch Löschfahrzeuge und Aufhaltung von Bodenbränden,
- Einrichtung von Löschwasserentnahmestellen in den besonders gefährdeten Waldabschnitten,
- Einrichtung von speziellen Löschzügen für Waldbrände in den gefährdeten Landkreisen, welche eine für die Waldbrandbekämpfung angemessene Ausstattung beinhalten (z. B. geeignete Schutzkleidung, Rucksackspritzen),
- Beschaffung von Löschflugzeugen<sup>141</sup>,
- an die örtlichen Gegebenheiten angepasste Ausbildung der Feuerwehren in der Waldbrandbekämpfung,
- Einführung von Waldbrand-Fachberatern in den gefährdeten Landkreisen zur Begleitung sämtlicher Maßnahmen vor, während und nach einem Waldbrand.<sup>142</sup>
- Bei erhöhtem Einsatzaufkommen während der Hitzeperiode bzw. Hitzebelastung für die Einsatzkräfte wird folgendes empfohlen:
  - Sicherstellung von genügend Patiententransportkapazitäten,
  - Unterstützung der Aufklärung der Bevölkerung über ein hitzeangepasstes Verhalten, um die Notwendigkeit von Einsätzen zu verringern,
  - Sicherstellung einer hitzeangepassten Arbeitsumgebung für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Einsatzorganisationen, z. B. durch Klimatisierung der Einsatzfahrzeuge und die Bereitstellung von Mineralwasser und Sonnenschutz,
  - Einbindung des Rettungswesens in die Erarbeitung von Hitzeaktionsplänen.<sup>143</sup>

### Krisenkommunikation

Handlungsbedarf: Unterstützung der Verhinderung oder Begrenzung von Schäden für die Bevölkerung. Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- der Bevölkerung zeitnahe und umfassende Information sowie klare, konkrete Handlungsanweisungen (z. B. bei Evakuierungen, Anweisungen zur Gesundheitsvorsorge bei großer Hitze etc.) zur Verfügung zu stellen. Diese sollten über alle verfügbaren Medien (Fernsehen, Radio, soziale Medien) verbreitet werden. Soweit möglich, sollte sichergestellt werden, dass die Mehrheit der Bevölkerung über die verwendeten Medien informiert wird.

### Forschung<sup>144</sup>

Handlungsbedarf: Verbesserte Vorhersagegüte von Dürren mittels dekadischer Klimavorhersagen.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Verbesserung der saisonalen und dekadischen Vorhersage sowie Entwicklung von Methoden der statistischen Nachbereitung mit dem Ziel, die Qualität von Dürrevorhersagen auf Monats-, saisonaler und dekadischer Zeitskala für Deutschland zu verbessern.

<sup>141</sup> Vgl. o.V. (2018). dpa.

<sup>142</sup> Vgl. Hanl, A. (2018).

<sup>143</sup> Vgl. BBK (2016).

<sup>144</sup> Die hier aufgezeigten Handlungsfelder des Forschungsbereichs bauen auf dem Kapitel Leistungen des Bundes auf.

- Entwicklung räumlich (1kmx1km) und zeitlich (6 Stunden) hochaufgelöster Datensätze, die mindestens 30 Jahre umfassen (für die Parameter Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Strahlung, Wind und Bedeckungsgrad) zwecks Kalibrierung zukünftiger agrarmeteorologischer Beratungssysteme,
- Prüfung bestehender Dürremonitoringsysteme (z. B. des Deutschen Wetterdienstes, der Bundesanstalt für Gewässerkunde oder der Deutsche Dürremonitor des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung auf Eignung als Dürre-Früherkennungs- und -Warnsysteme oder der Erfordernis weiterer Entwicklungen.<sup>145</sup>
- Berücksichtigung von Forschungsergebnissen aus aktuellen Forschungsinitiativen des BMBF (z. B. ClimXtreme, SacreX). Hier werden u. a. Dürren und Hitzewellen eingehend mit neuesten Forschungsmethoden im Kontext des Klimawandels untersucht.

## Energieversorgung

Handlungsbedarf: Anpassung an Dürreereignisse.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Verbesserung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen des Verkehrsträgers „Wasserstraße“ voranzutreiben (z. B. zur Erhöhung der Versorgungssicherheit von Kraftwerken) und im Hinblick auf einen möglichen Totalausfall der Wasserstraße (Extremfall) die Bereitstellung eines hinreichend dichten und redundanten Infrastrukturangebots, welches alternative Transportwege ermöglicht, zu verfolgen,
- dass Industriezweige mit Kühlwassernutzung u. U. Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ergreifen. Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit der Anlagen sollte geprüft werden, ob alternative, weitgehend abflussunabhängige Kühlverfahren genutzt werden können<sup>146</sup>. Die Prozessabwärme kann – anstatt in Gewässer abgeleitet zu werden – auch einer weiteren Nutzung (z. B. für die Wärmeversorgung oder Stromerzeugung) zugutekommen oder über die Luft oder andere Wasservorkommen abgeleitet werden (z. B. Trockenkühlverfahren). Rückgeköhltes Kühlwasser kann außerdem im Kreislauf genutzt werden,
- dass – sofern keine Alternative zur Kühlwassernutzung aus dem Gewässer besteht – je nach Abflussverhältnissen variabel einsetzbare Kühltürme zum Einsatz kommen,
- dass im Vorfeld organisiert wird, wie im Falle einer erzwungenen Leistungsreduktion der Kraftwerke vorzugehen ist. Wie die Netzstabilität der Stromversorgung trotzdem gewährleistet werden kann, sollte zudem bedacht werden,
- darüber hinaus eine Effizienzsteigerung von Wasserkraftanlagen anzustreben, damit die durch den Klimawandel wahrscheinlich bedingten zunehmenden schwankenden Abflüsse (mehr Hochwasser- und Niedrigwasserabflüsse) für die Energieerzeugung besser genutzt werden können. Ein verbesserter Wirkungsgrad kann durch die Anpassung von Turbinen erreicht werden. Um größere Abflussbereiche möglichst optimal nutzen zu können, sind Maschinengruppen mit gestaffeltem Ausbaugrad zu empfehlen. Um aquatische Ökosysteme nicht zu schwächen und ihnen die Anpassung an den Klimawandel zu erschweren, ist auch die Einhaltung von ökologischen Anforderungen an eine Wasserkraftanlage (Durchgängigkeit, biologischer Mindestwasserabfluss, Fischschutz, kein Schwallbetrieb) wichtig.<sup>147</sup>

## Gesundheitssystem

Handlungsbedarf: Vorbereitung des Gesundheitssystems auf Hitzewellen

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

<sup>145</sup> Vgl. Blauhut, V., Stahl, K. (2018): Risikomanagement von Dürren in Deutschland: von der Messung von Auswirkungen zur Modellierung. In: Schütze, N. et al. (Hrsg.): Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, H. 39.18. Tagungsband zum Tag der Hydrologie 2018, S. 203-2013.

<sup>146</sup> Vgl. LAWA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser( 2017).

<sup>147</sup> Vgl. LAWA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017).

- Bereits bestehende Maßnahmen wie z. B. Hitzeaktionspläne und Hitzewarnsysteme sind zu evaluieren und ggf. anzupassen,
- Ggf. einen Nationalen Hitzeaktionsplan zu erstellen,
- Hitzeaktionspläne in die Krankenhausalarmpläne zu implementieren,
- Häuser ggf. z. B. durch bauliche Maßnahmen an Hitze anzupassen,
- Forschung und damit einhergehendes Monitoring der Auswirkungen und Folgen von Hitzeereignissen auf die Gesundheit zu fördern und auszubauen.<sup>148</sup>
- Generell wird auf bereits bestehende Handlungsempfehlungen verwiesen. Beispielsweise von
  - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit, 2017
  - Umweltbundesamt (UBA) und Robert Koch-Institut (RKI): Klimawandel und Gesundheit. Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland. 2013
  - Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe: Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)<sup>4</sup>, Herausgeber: BMU
  - Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit
  - Weltgesundheitsorganisation (WHO): Heat-Health Action Plans, 2008; Improving Public Health Responses To Extreme Weather/Heat-Waves, 2009; Public Health Advice on preventing health effects of heat. New and updated information for different audiences, 2011

Die acht Kernelemente der WHO sind:

- I. Zentrale Koordinierung und interdisziplinäre Zusammenarbeit
- II. Nutzung eines Hitzewarnsystems
- III. Information und Kommunikation
- IV. Reduzierung von Hitze in Innenräumen
- V. Besondere Beachtung von Risiko-Gruppen
- VI. Vorbereitung der Gesundheits- und Sozialsysteme
- VII. Langfristige Stadtplanung und Bauwesen
- VIII. Monitoring und Evaluation der Maßnahmen

## Umwelt<sup>149</sup>

Handlungsbedarf: Anpassung an häufigeres Auftreten von Dürreereignissen.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Implementierung eines effektiven und adaptierten Risikomanagements zur Minderung der Vulnerabilität von Schutzgebieten und Sicherstellung ihrer Funktionalität ausgehend von der Gesamtlandschaft. Dabei sollte die Priorität auf flächenmäßig kleineren Gebieten wegen deren besonderer Vulnerabilität liegen. Weiterhin sind der Erhalt und die Ausweitung von Schutzgebieten notwendig. Am sinnvollsten sind Schutzgebiete in einem kohärenten System zu erhalten und zu entwickeln, das Korridore bildet und Biotopverbünde

<sup>148</sup> Vgl. Eis, D. et al. (2010).

<sup>149</sup> Vgl. BMU (Hrsg.) (2017).

möglich macht. Die Schutzziele können nur in Abstimmung mit anderen Nutzungsansprüchen – etwa denen der Landwirtschaft – und in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Nutzergruppen erreicht werden.

- Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Wäldern z. B. durch Umbau von Monokulturen (Kiefern- und Fichtenbestände) in standortgerechte Wälder sowie eine deutliche Zunahme der Waldflächen. Bei forstlichen Anpassungsmaßnahmen muss der Schutz gefährdeter Arten berücksichtigt werden z. B. durch Erhaltung von Alt- und Totholz, Wiedervernässung von Feuchtwäldern. Zusätzlich wird die Förderung nutzungs-freier Wälder für eine natürliche Waldentwicklung empfohlen.
- Erhöhung der Resilienz von Gewässerökosystemen gegenüber Klimaänderungen (insbesondere Niedrigwasserzeiten und Hochwasser) durch folgende Maßnahmen:
  - Herstellung möglichst natürlicher Gewässerstrukturen mit guter longitudinalen Durchgängigkeit, variablen und aufgeweiteten hydromorphologischen Strukturen sowie bewachsenen, entwickelten Uferbereichen. Dadurch entstehen Rückzugsmöglichkeiten für die Fischpopulation in Stresssituationen und es besteht die Möglichkeit der Wiederbesiedelung nach Extremereignissen, wie dem Trockenfallen von einzelnen Flussabschnitten. Insbesondere in dem Bereich der natürlichen Bundeswasserstraßen (stau-geregelt und freifließend) sind hierzu die Wechselwirkungen mit dem Handlungsbedarf „Verbesserung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen des Verkehrsträgers „Wasserstraße“ zu beachten (vgl. Ausführungen zu „Verkehr und Wirtschaft“), sofern z.B. durch Staulegung keine negativen Aus-wirkungen auf das Niedrigwassermanagement (s.u.) bestehen,
  - Schutz und Entwicklung von Gewässerrandstreifen. Pflanzen im ufernahen Gewässerbereich tragen durch Nährstoffaufnahme und Filterwirkung zur natürlichen Reinigung der Gewässer bei. Sie bieten der Fischpopulation eine Rückzugsmöglichkeit, um sich dem Räuberdruck zu entziehen. Der Schatten von Ufergehölzbeständen wirkt zudem einer Aufheizung der Wasserkörper in Hitzeperioden entgegen,
  - Naturschonende Gewässerunterhaltung,
  - Verringerung von diffusen Schad- und Nährstoffeinträgen in die Gewässer zur Verhinderung von Sau-erstoffmangel und Eutrophierung sowie von toxikologischen Wirkungen auf Organismen. Mögliche Maßnahmen sind die Anlage von Pufferzonen und die landwirtschaftliche Extensivierung,
  - Anpassung von Entnahme- und Einleitungsgrenzwerten für Gewässer (Abflussmenge, -qualität, inkl. Wassertemperatur). Wenn bei Niedrigwasserabflüssen Einleitungen mit reduzierter Wasserqualität durch die im Gewässer vorhandene Restwassermenge nur noch unzureichend verdünnt werden, verrin-gert sich die Wasserqualität im Gewässer zunehmend. Bei steigenden Wassertemperaturen werden die einleitbaren Wärmemengen bis zum Erreichen der Temperaturgrenzwerte außerdem geringer. Deshalb sollten bestehende Grenzwerte unter Berücksichtigung möglicher Klimawandeleinflüsse überprüft und ggf. angepasst werden. Mithilfe von Wärmelastplänen können Wärmeimmissionen für stark genutzte Gewässer besser abgeschätzt und bei der Standortwahl für Kraftwerke sowie bei Genehmigungsver-fahren berücksichtigt werden,
  - Einführung von Gewässerqualitätswarndiensten, die bei sehr geringen Abflüssen und kritischen Was-serqualitätswerten zum Einsatz kommen, um gewässerökologische Schädigungen zu vermeiden. Durch entsprechende Meldestufen können Akteure gewarnt und sensibilisiert werden und Maßnahmen koor-diniert eingeleitet und durchgeführt werden,
  - Klimaspezifische Anpassung und Auswertung des Gewässermonitorings. Die Auswirkungen höherer Wassertemperaturen und zunehmender Trockenheit sollen anhand verschiedener Indikatoren in den Gewässersystemen untersucht werden. Auch die regelmäßige Überwachung von Quellschüttungen als Bindeglied zwischen Grund- und Oberflächenwasser sind für die Beobachtung der klimatischen Ver-änderungen wichtig.
- Niedrigwassermanagement wird in vielen Regionen Deutschlands durch den Klimawandel wichtiger, da ein verstärktes Auftreten von Niedrigwasserabflüssen im Sommer und Herbst erwartet wird. Für das recht-zeitige Umsetzen von Maßnahmen im Niedrigwasserfall ist eine frühzeitige Abfluss- und Temperaturvor-hersage wichtig,

- Zum Schutz aquatischer Ökosysteme sollten Maßnahmenpläne für das Niedrigwassermanagement Maßnahmen festschreiben, die ab einer Unterschreitung bestimmter Schwellenwerte greifen. Solche Maßnahmen umfassen u. U. auch (weitergehende) Nutzungsbeschränkungen. Spezifische Anreize zum wassersparenden Verhalten im Niedrigwasserfall können evtl. zur Schonung der Gewässer beitragen. Zur Sicherung der Wasserqualität müssen evtl. drastische Maßnahmen, wie z. B. Belüftung, ergriffen werden. Auch eine Niedrigwasseraufhöhung kann zur Sicherung der Wasserqualität beitragen. In Niedrigwasserphasen ist der grundwasserbürtige Basisabfluss für den Gewässerabfluss von großer Bedeutung. Deshalb sind Maßnahmen zur natürlichen Retention und Versickerung von Wasser, die zur Grundwasserneubildung beitragen, letztendlich auch für eine Erhöhung von Niedrigwasserabflüssen förderlich,
- Umsetzung von Maßnahmen zur Verhinderung der Austrocknung von Quellen und zur Steigerung der Grundwasserneubildung z. B. durch Regenwasserversickerung über Sickerpflaster oder Muldenversickerung,
- Da Erkenntnisse über die Auswirkungen des Klimawandels auf Grundwasservorkommen noch sehr unsicher sind, sollte eine klimaspezifische Auswertung und Anpassung des Grundwassermonitorings erfolgen. Um ggf. schnell reagieren zu können, sollten nicht nur die Grundwasserstände, sondern auch die Veränderung der Grundwasserqualität genau im Blick behalten werden. Wichtig hierfür sind langjährige Zeitreihen der Messdaten,
- Die möglichen klimabedingten Veränderungen des Grundwassers stellen keine grundsätzlich neuen Probleme für Grundwasserschutz und -bewirtschaftung dar, sondern verschärfen bereits bekannte Probleme auf regionaler bzw. lokaler Ebene. Als Lösungsansätze eignen sich daher regionale Anpassungskonzepte mit flexiblen Nachsteuerungsmöglichkeiten. Grundwasserschonende Landwirtschaft, der Schutz von grundwasserabhängigen Landökosystemen (z. B. Moore), Maßnahmen zur Förderung der Grundwasserneubildung und eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung stellen sinnvolle Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers dar.<sup>150</sup>

## Verkehr und Wirtschaft

Handlungsbedarf: Gewährleistung/Erhöhung der Zuverlässigkeit aller Verkehrssysteme und im Hinblick auf einen möglichen Totalausfall der Wasserstraße bei häufigerem Auftreten von Dürreereignissen eine stärkere Unabhängigkeit von einzelnen Verkehrsträgern.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- Verbesserung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen des Verkehrsträgers „Wasserstraße“ und im Hinblick auf einen möglichen Totalausfalls der Wasserstraße (Extremfall) die Bereitstellung eines hinreichend dichten und redundanten, Infrastrukturangebots, welches alternative Transportwege ermöglicht. Das bedeutet, dass die Zuverlässigkeit aller Verkehrssysteme durch gezielte Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur erhöht werden kann. Für den Fall einer dauerhaften Dürre müsste geprüft werden, inwieweit die Wasserstraßen- und Bahninfrastrukturen ausgebaut werden müssen,
- Für eine stabile Kraftstoffversorgung müssen, für die inländische Versorgung mit Mineralölprodukten, ausreichende Transportkapazitäten per Schiff, per Bahn oder Pipeline, zur Verfügung stehen,
- Für den Bereich Binnenschifffahrt sind Maßnahmen zum Umgang mit Niedrigwasser zu entwickeln. Dazu gehören Maßnahmen in den Bereichen „Informationsbereitstellung“, „Transport und Logistik“ sowie „Infrastruktur“.

Auf Grund der Abhängigkeit der Wirtschaft vom Verkehr wird hier empfohlen,

- Auf Nutzer- bzw. Produzentenseite eine individuelle unternehmerische Vorsorge zu etablieren, um die Kosten potenzieller Störungen im Verkehrssystem bei einer Dürre zu begrenzen. Hierzu zählt u. a. eine geeignete Standortwahl, die in Abhängigkeit von der Transportaffinität des Unternehmens sowohl auf eine mög-

<sup>150</sup> LAWA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017)

lichst variable Verkehrsbedienung als auch auf unterschiedliche Lieferanten setzt. Zudem können transportabhängige Unternehmen oder Branchen über das Vorhalten bestimmter Reservekapazitäten im Bereich der Rohstoffe und Vorprodukte ihre individuellen Risiken in Bezug auf die Dürre reduzieren.

- Des Weiteren sollten die für (Rohstoff-)Lieferungen verantwortlichen Verkehrs- oder Logistikunternehmen ihre internen Routenplanungen auf Systemstörungen wie eine Dürre hin prüfen.

Weiterführend wird auf folgende Berichte verwiesen:

- „Positionspapier: Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte – (Deutscher Städtetag 2012),
- Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder (LAWA Klimawandel-Bericht 2017).

### Ernährungssektor

Forschungsbedarf: Die Empfehlungen für den Ernährungssektor sind eng mit dem Forschungsbereich verknüpft, denn die Erkenntnisse aus der Analyse zeigen, dass es gegenwärtig einen Mangel an Forschungsarbeiten und empirischen Daten gibt, anhand derer die Auswirkungen auf Ernteerträge und –qualitäten sowie auf die Tierhaltung bei Dürre/Hitze belastbar abgeleitet werden können.

Mögliche Maßnahmen (Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit; ersetzt nicht die erforderliche Risikobewertung):

- eine stärkere Fokussierung anwendungsbezogener Forschung in Bezug auf die Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft empfohlen. Es sollten konkrete Lösungsvorschläge aus den Forschungsergebnissen abgeleitet werden. Beispielfhaft seien folgende konkret zu betrachtende Fragestellungen genannt:
  - Besteht die Möglichkeit zum Ausbau der Bewässerungsbewirtschaftung und des Wassermanagements für die Landwirtschaft?
  - Können trockenheits-/hitzeresistentere Ackerkultursorten gezüchtet werden?
  - Kann durch Klimatisierungstechniken und bauliche Maßnahmen zum Hitzeschutz ein optimales Stallklima gewährleistet werden?
- Damit sich Pflanzen während Trockenperioden länger über die Nutzung von Bodenwasser am Leben erhalten können, sollte die Wasserspeicherfähigkeit der Böden durch Maßnahmen wie der Humusanreicherung, dem Erosions- und Bodenschutz oder der konservierenden Bodenbearbeitung (z. B. nicht wendende Verfahren) erhalten oder verbessert werden.
- Auch können Anpassungen im Anbau von Pflanzen einen geringeren Wasserbedarf und eine effizientere Wassernutzung der Pflanzen, geringere Verdunstung oder Erosionsschutz bewirken. Vergleichbare Effekte können durch die Sortenwahl bzw. den Anbau trockenresistenter Pflanzen erzielt werden.
- Bei der Bewässerung selbst empfiehlt sich, möglichst effiziente Methoden vorzuziehen bzw. zu entwickeln. Schon stark beanspruchte Grundwasservorkommen sollten nach Möglichkeit nicht für Bewässerungszwecke genutzt werden. An bestimmten Standorten, z. B. im Weinbau, kann die Anlage von Regenwasserspeichern zur Bewässerung sinnvoll sein. In Wasserbewirtschaftungsplänen muss der zunehmende Bewässerungsbedarf mit einberechnet und Nutzungsrechte aufgeteilt werden. Behördlich angeordnete Entnahme-einschränkungen bzw. Entnahmeverbote können die wirtschaftliche Lage der Landwirte beeinträchtigen, sodass hier eine frühzeitige Abstimmung der Maßnahmeneinleitung empfohlen wird.<sup>151</sup> Um eventuelle Konflikte wirkungsvoll zu begegnen bedarf es u. a. vorsorgender Maßnahmen, die auf regionaler- bzw. lokaler Ebene und unter Beteiligung aller Betroffenen abzustimmen sind.

<sup>151</sup> Vgl. LfU BY – Landesamt für Umwelt Bayern (2016).

- Über voraussichtliche klimatische Entwicklungen in der Region sollten Landwirte umfassend und frühzeitig informiert werden. Auch gute und frühzeitige agrar-meteorologische Vorhersagen können zur geeigneten Bewirtschaftung beitragen.
- Je nach Vorliegen lokaler bzw. regionaler Bedingungen kann die Gründung von Wasserverbänden zur organisierten und bedarfsgerechten Verteilung des zur Verfügung stehenden Oberflächenwassers eine wichtige Handlungsoption darstellen.<sup>152</sup>

---

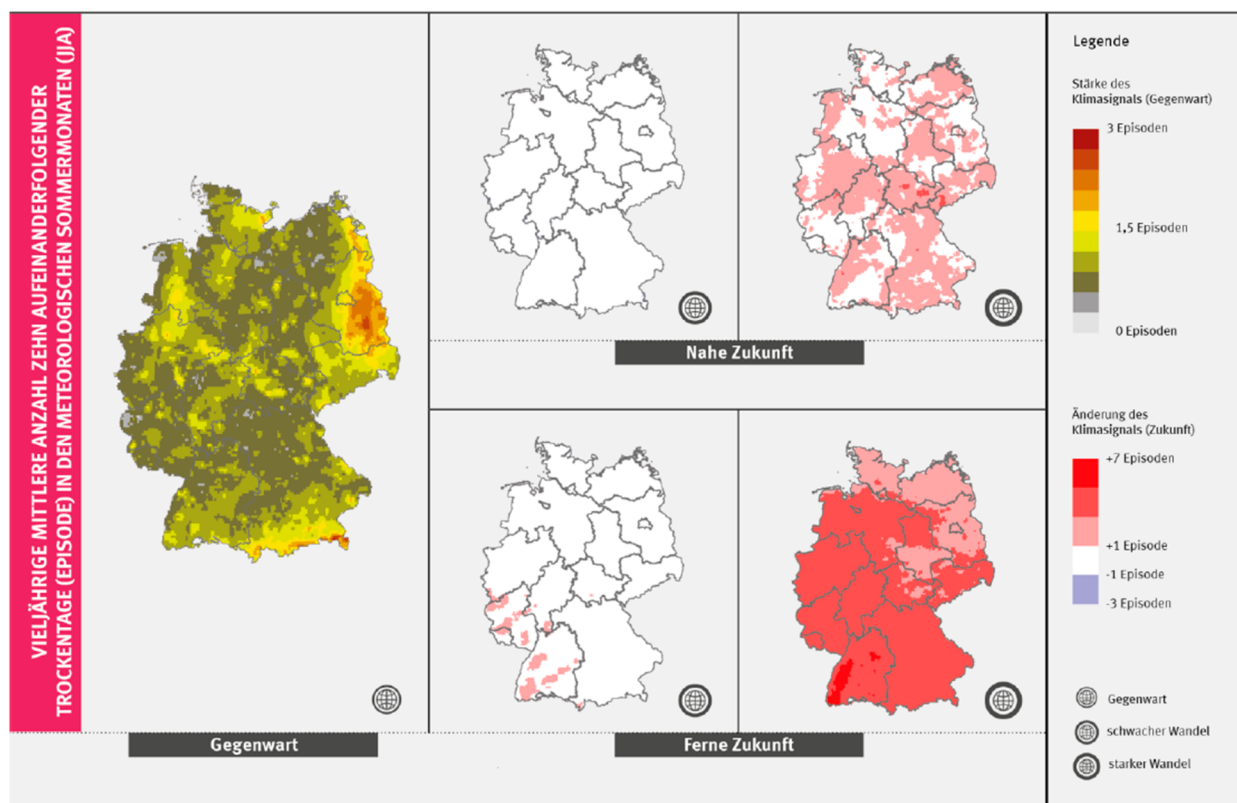
<sup>152</sup> LAWA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017).

## VI. Trends

Bereits heute sind einige Gebiete in Deutschland in den Sommermonaten regelmäßig mit Trockenheit konfrontiert. Gegenwärtig liegen Schwerpunkte der Episoden mit niederschlagsfreien Tagen in den ostdeutschen Bundesländern, darunter im östlichen Teil Brandenburgs, sowie am östlichen Alpenrand (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13

**Mittlere Anzahl von Trockenperioden (mindestens 10 aufeinanderfolgende Trockentage) in den meteorologischen Sommermonaten (Juni, Juli, August) und Änderungssignal für die Projektionszeiträume (nahe Zukunft: 2021 bis 2050; ferne Zukunft: 2071 bis 2100) gegenüber der Gegenwart**



Quelle: UBA 2015, S. 78

Die zukünftige Veränderung der Niederschläge gilt insgesamt als schwieriger einzuschätzen als die Entwicklung der Temperatur und ist mit größeren Unsicherheiten behaftet.<sup>153</sup> Regionale Klimaprojektionen zeigen jedoch unter Annahme verschiedener Emissionsszenarien für Europa und auch für Deutschland im Allgemeinen eine Zunahme von Hitzewellen und Trockenperioden.

Räumlich genauere Aussagen für das Bundesgebiet wurden durch ein breites Netzwerk von Bundesoberbehörden erarbeitet, in der Vulnerabilitätsanalyse 2015 (UBA 2015) verschriftlicht und werden derzeit für die kommende Analyse 2021 aktualisiert. Der Bericht von 2015 kommt unter der Annahme, dass der Klimawandel einen relativ ausgeprägten Verlauf nimmt („starker Wandel“), zu dem Schluss, dass Trockenperioden in Deutschland in den Sommermonaten gegen Ende des Jahrhunderts flächendeckend häufiger auftreten werden. Gleichzeitig wird eine Zunahme von Starkniederschlägen für weite Teile Deutschlands bei gleichbleibender Niederschlagsmenge im Sommer erwartet. Im Winter wird die Niederschlagsmenge leicht zunehmen. Aufgrund

<sup>153</sup> Wenngleich sich in einem wärmeren Klima potenziell mehr Wasserdampf in der Atmosphäre befindet, entscheiden letztlich die großräumige Zirkulation und die niederschlagsbildenden Prozesse darüber, wieviel Wasser tatsächlich als Niederschlag zum Boden gelangt.

der durch die Trockenheit veränderten Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens können diese Niederschläge das Wasserdefizit jedoch wahrscheinlich nicht kompensieren; vielmehr sind ein erhöhter oberirdischer Abfluss und Bodenabtrag die Folge. Im Winter ist hingegen aufgrund der erwarteten Zunahme der winterlichen Niederschlagssummen mit nur geringen Änderungen bis hin zu einer Abnahme in der Anzahl von Trockenperioden zu rechnen. Für langanhaltende Trockenperioden von mindestens 6 Monaten Dauer konnte für den Zeitraum von 1951 bis 2010 für Deutschland allerdings kein signifikanter Trend nachgewiesen werden.<sup>154</sup> Auch werden Sommeranomalien wie im Jahr 2003 mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von etwa 450 Jahren als eher selten eingestuft.<sup>155</sup> Derartige Hitzewellen und Dürreperioden werden jedoch unter einem wärmeren Klima wahrscheinlicher.<sup>156</sup> Auswertungen verschiedener Klimaprojektionen durch den DWD zeigen, dass sich die Gesamtmenge des Niederschlags im Jahr kaum ändert bei einer Zunahme der Winterniederschläge und Verstärkung der Starkniederschläge im Sommer. Die Temperaturzunahme führt zu einer höheren Verdunstung sowie einem erhöhten Wasserbedarf der Vegetation. Die Zunahmen von Dürren in Deutschland, aufgrund einer Zunahme der Temperatur, wird auch durch die Analyse von Spioni et al. 2016 bestätigt.

Ausgehend von den Folgen, die bereits heute während langanhaltender Trockenperioden in Deutschland – so auch 2018 – zu beobachten sind, ist davon auszugehen, dass die in dieser Risikoanalyse beschriebenen Auswirkungen einer Dürre vor dem Hintergrund des Klimawandels künftig häufiger auftreten werden. Zudem werden sie zum Teil durch weitere Folgen des Klimawandels verstärkt. Beispielsweise wird sich die Gefahr von Niedrigwasserständen, etwa am Rhein, durch das zeitgleiche Schwinden der Alpengletscher wahrscheinlich noch leicht erhöhen, da der Schmelzwasseranteil sinkt.<sup>157</sup>

Dabei wird das Maß der Auswirkungen und Schäden einer Dürre von den vorherrschenden sozioökonomischen Faktoren der betroffenen Region wie z. B. der Bevölkerungsdichte, dem Industrialisierungsgrad oder der Landnutzung mitbestimmt. Zur Bestimmung des Schadensausmaßes künftiger Dürren gilt es daher, die Klimaveränderungen in ihrer Überlagerung mit weiteren gesellschaftlich relevanten Entwicklungen wie z. B. dem demographischen Wandel zu berücksichtigen.<sup>158</sup>

---

<sup>154</sup> Vgl. Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., & P. Barbosa (2016). Meteorological Droughts in Europe. Events and Impacts. Past Trends and Future Projections.

<sup>155</sup> Vgl. Schönwiese, C., Staeger, T., Trömel, S. (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. Meteorologische Zeitschrift, Vol.13, No. 4, 323-327.

<sup>156</sup> Vgl. IPCC (2013): Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.

<sup>157</sup> Beispielsweise betrug im Sommer 2003 beim Rheinpegel Kaub der Eis-Schmelzwasseranteil bis zu 20 Prozent. Nach mehreren sehr warmen und teils trockenen Jahren haben die Gletscher in der Schweiz seit 2008 ein Fünftel ihres Volumens eingebüßt; vgl. Jörg Uwe Belz, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Deutschen Presse-Agentur, 28.11.2018.

<sup>158</sup> Vgl. Buth, M. (2015)

## VII. Literatur und weiterführende Informationen

- BAFA (2018): Rohöl – Rohölstatistik in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Abgerufen am 31.05.2018 von [http://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Rohoel/rohoel\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Rohoel/rohoel_node.html)
- bafg. (2018): Undine – Informationsplattform zu hydrologischen Extremereignissen (Hochwasser, Niedrigwasser). Abgerufen am 06.12.2018 von <http://undine.bafg.de/impressum.html>
- BBK. (2012): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Studie zur Versorgungssicherheit mit Lebensmitteln, Wissenschaftsforum Band 9. Abgerufen am 06. 12 2018 von Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Wissenschaftsforum/Bd9\\_SchutzKritisLebensmittel.html](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Wissenschaftsforum/Bd9_SchutzKritisLebensmittel.html)
- BBK. (2016): Klimawandel – Herausforderung für den Bevölkerungsschutz. Praxis im Bevölkerungsschutz. Band 5. Abgerufen am 07. 12 2018 von [http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevölkerungsschutz/Band\\_5\\_Praxis\\_BS\\_Klimawandel\\_Herausforderung\\_f\\_BS.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevölkerungsschutz/Band_5_Praxis_BS_Klimawandel_Herausforderung_f_BS.pdf?__blob=publicationFile)
- BBK (2016): Sicherheit der Trinkwasserversorgung. Teil 1: Risikoanalyse. Praxis im Bevölkerungsschutz Band 16. Bonn.
- BBK (Hrsg.). (2018): BBK-Glossar: Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes. Bundesamt für Bevölkerungsschutz. Abgerufen am 12.12.2018 von [https://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/Glossar\\_2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bbk.bund.de/DE/Servicefunktionen/Glossar/Glossar_2018.pdf?__blob=publicationFile)
- BBK (in Vorbereitung): Sicherheit der Trinkwasserversorgung. Teil 2: Risikoanalyse. In: Praxis im Bevölkerungsschutz.
- Beck, C., Grieser, J., & Trömel, S. (2004): Die Trockenperiode des Jahres 2003 in Deutschland im Kontext langzeitlicher Niederschlagsvariabilität. In D. (Hrsg.), Klimastatusbericht 2003. Offenbach.
- Belz, J. et al. (2007): Die Niedrigwassersituation des Jahres 2006 der deutschen Bundeswasserstraßen. Koblenz: BfG – Bericht 1550.
- Belz, J., Engel, H. & P. Krahe (2003): Das Niedrigwasser 2003 in Deutschlands Stromgebieten. Koblenz: BfG-Bericht 1404.
- Belz, J., Rademacher, S. & W. Rätz (2006): Zur Niedrigwasser-Situation in den Bundeswasserstraßen im Juli 2006. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50. Jg., H. 5.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (1979): Die Trockenperiode 1976 – Eine hydrologische Monographie und eine Niedrigwasseranalyse. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft Heft 12, München.
- Bengel J., Schneider S., Becker K., H. Spada (2009): Psychologische Aspekte des Krisenmanagements. Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn.
- BfG Bundesanstalt für Gewässerkunde. (o.D.): Informationsplattform zu hydrologischen Extremereignissen (Hochwasser, Niedrigwasser). Abgerufen am 12.12.2018 von <http://undine.bafg.de/>.
- Blauhut, V., & K Stahl. (2018): Risikomanagement von Dürren in Deutschland: von der Messung von Auswirkungen zur Modellierung. In N. Schütze, & et. al, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. H 39.18.Tagungsband zum Tag der Hydrologie 2018 (S. 203-213).

- BLfU Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2011): Kurzinformation: Niedrigwasserperioden 2011. Abgerufen am 10.12.2018 von <https://www.nid.bayern.de/ereignisse>.
- BLfU Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2016): Niedrigwasser in Bayern –Grundlagen, Veränderungen und Auswirkungen. Abgerufen am 10.12.2018 von <https://www.nid.bayern.de/ereignisse>.
- BLfU Bayerisches Landesamt für Umwelt (o.D.): Wasserversorgungsbilanzen. Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.lfu.bayern.de/wasser/trinkwasserversorgung\\_oeffentlich/projekte/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/wasser/trinkwasserversorgung_oeffentlich/projekte/index.htm).
- Blank-Gorki, V. & J.Helmerichs (2012): Qualitätsstandards und Leitlinien zur Psychosozialen Notfallversorgung. Teil I und II. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (Hrsg.), Bonn.
- BMI (2009): Nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). Stand: 17. Juni 2009. Berlin.
- BMU (Hrsg.) (2000): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Abgerufen am 10.12.2018 von <http://geoportal.bafg.de/mapapps2/resources/apps/HAD/index.html?lang=de>.
- BMU (Hrsg.) (2017): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Abgerufen am 12.12.2018 von [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/hap\\_handlungsempfehlungen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/hap_handlungsempfehlungen_bf.pdf).
- BMVI (2014): Sicherheitsstrategie für die Güterverkehrs- und Logistikwirtschaft. Schutz kritischer Infrastrukturen und verkehrsträgerübergreifende Gefahrenabwehr (2014). Stand: Oktober 2014. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- BMVI (2017): Handbuch zur Ausgestaltung der Hochwasservorsorge in der Raumordnung. MORO Regionalentwicklung und Hochwasserschutz in Flussgebieten. Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/MOROPraxis/2017/moro-praxis-10-17-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/MOROPraxis/2017/moro-praxis-10-17-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- BMWI. (2018): BMWI Expertennetzwerk. Abgerufen am 05. 12 2018 von [https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Home/home\\_node.html](https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Home/home_node.html).
- Börnstein, L. (2002): New Series VIII, 3A, Natural Gas Exploitation Technologies, Springer, S. 40 ff.
- BP Europa SE. (2013): Erdöl bewegt die Welt – Von der Quelle bis zum Verbraucher. Abgerufen am 05.12.2018 von [www.bp.com](http://www.bp.com): [https://www.bp.com/content/dam/bpcountry/de\\_at/pdfs/erdoel\\_bewegt\\_die\\_welt\\_2013.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bpcountry/de_at/pdfs/erdoel_bewegt_die_welt_2013.pdf).
- Brasseur, G., Jacob, D. & S. Schuck-Zöller (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer.
- Büntgen, U. et al. (2015): Commentary to Wetter et al. (2014): limited tree-ring evidence for a 1540 European 'Megadrought'. Climatic Change. Volume 131. Issue 2, S. 183-190.
- Buth, M., & et al. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24. Abgerufen am 07. 12 2018 von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_24\\_2015\\_vulnerabilitaet\\_deutschlands\\_gegenueber\\_dem\\_klimawandel\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf).
- Buthe, B., Jakubowski, P. & D. Winkler. (2014): Verkehrsbild Deutschland. Regionale Analysen durch Data-Mining. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (BBSR-Analysen kompakt, 2014,6).

- Buthe, B. (2017): Integration raumordnerischer Belange in die Verkehrsplanung – Eine überörtliche Analyse auf Basis der Input-Output-Berechnung. Münster: Springer.
- Buthe, B., Jakubowski, P., & D. Winkler. (11 2013): Robustheit des Verkehrssystems. Räumliche Analyse der Steinkohleverstromung in Deutschland. Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (Hrsg.) *BBSR Analysen kompakt*, S. 9-18.
- Corti, D.; Kohler, S. L. & R.E. Sparks (1997): Effects of hydroperiod and predation on a Mississippi River floodplain invertebrate community. In: *Oecologia* 109, S. 154–165.
- Dapp, T. (03. 08 2018): Auswirkungen des Wetters – Warum die Energie-Branche ins Schwitzen gerät. Abgerufen am 05. 12 2018 von <https://www.zdf.de/nachrichten/heute/was-die-hitze-mit-energieerzeugern-macht-100.html>.
- Deutscher Städtetag. (2012): Positionspapier: Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte. Deutsche Städtetag.
- Deutscher Bundestag. (2010): Drucksache 17/4178.
- Deutscher Bundestag. (2011): Drucksache 17/8250.
- Deutscher Bundestag. (2013): Drucksache 18/208.
- Deutscher Bundestag. (2014): Drucksache 18/3682.
- Deutscher Bundestag (2015): Drucksache 18/7209.
- Deutscher Bundestag (2016): Drucksache 18/10850.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (1994). DIN 4049 Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie.
- DESTATIS (2015): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserbeseitigung – Öffentliche Wasserversorgung – Fachserie 19, Reihe 2.1.1.
- De Witte, T. (2017): Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): *Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg, Thünen Working Paper 85*; S. 113 – 122.).
- DIN EN 15975-1 (2016): Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil 1: Krisenmanagement.
- DIN EN 15975-2 (2013): Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil 2: Risikomanagement.
- DVGW (2018): DVGW Information Wasser Nr. 96: Betriebliche Aspekte im Zusammenhang mit Extremwetterereignissen bei Wassergewinnungsanlagen.
- DWD (2015): Standardized Precipitation Index SPI. Dokumentation. Abteilung Agrarmeteorologie. Stand: November 2015.
- DWD (o.D.): Waldbrand Gefahrenindex WBI. Abgerufen am 07. 12 2018 von <http://www.wettergefahren.de/warnungen/indizes/waldbrand.html>.
- DWD (o.D.): Wetterlexikon. Abgerufen am 10.12.2018 von <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100578&lv3=603288ter>.

DWD (o.D.): Standardisierter Niederschlagsindex (SPI). Abgerufen am 10.12.2018 von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/spi/spi.html>.

Eis, D., Helm, D., Laußmann, D., & Stark, K. (2010): Klimawandel und Gesundheit. Ein Sachstandsbericht. Abgerufen am 06. 12 2018 von Robert Koch-Institut (RKI): [https://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?__blob=publicationFile).

EnWB (2018a): Das Heizkraftwerk Heilbronn und seine dezentralen Standorte Walheim und Marbach, Abgerufen am 30.08.2018 von [https://www.enbw.com/media/konzern/docs/energieerzeugung/enbw-flyer\\_heizkraftwerk\\_heilbronn.pdf](https://www.enbw.com/media/konzern/docs/energieerzeugung/enbw-flyer_heizkraftwerk_heilbronn.pdf).

EnWB (2018b): Fossile Energie. Abgerufen am 30.08.2018 von <https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/energieerzeugung/fossile-energie/standorte.html>.

Engel, H., Belz, J. & P. Krahe (2006): Extreme Niedrigwasser in Deutschlands Flüssen – Ursachen und Entwicklungen. In C.-P. Hutter, & F.-G. Link, Warnsignal Klimawandel: Wird das Wasser knapper? Band 42, (S. 33-48). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.

European Drought Centre. (o.D.). Abgerufen am 07.12.2018 von <http://www.geo.uio.no/edc/droughtdb/edr/impactdatabase.php>.

F. Imbery, K. F. et al. (2018a): 2018 Wärmster Sommer im Norden und Osten Deutschlands. Deutscher Wetterdienst. Abgerufen am 05.12.2018 von [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20180906\\_waermstersommer\\_nordenosten2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20180906_waermstersommer_nordenosten2018.pdf?__blob=publicationFile&v=6).

F. Imbery, K. F. et al. (2018b): Vorläufiger Rückblick auf den Sommer 2018 – eine Bilanz extremer Wetterereignisse. Deutscher Wetterdienst. Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20180803\\_bericht\\_sommer2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20180803_bericht_sommer2018.pdf?__blob=publicationFile&v=9).

FAZ. (2018): Hitze zwingt BASF zur Drosselung der Produktion. Abgerufen am 07.12.2018 von <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/hitze-zwingt-basf-zur-drosselung-der-produktion-15721762.html>.

FBG Fernleitungsbetriebsgesellschaft (o.D.) Auftrag der FBG. Abgerufen am 10.12.2018 von <http://www.fbg.de/index.htm#>.

Frankfurter Neue Presse (2018): Frankfurt will in Zukunft weniger Kohle verbrennen. Abgerufen am 30.08.2018 von <http://www.fnp.de/lokales/frankfurt/Frankfurt-will-in-Zukunft-weniger-Kohle-verbrennen;art675,872912>.

Frenkel, M., & K.-L. John, (2011): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung.7. München: Vahlens Kurzlehrbücher.

Freund, M. & G. Helle (2015): Baumringe als Archiv für europäische Klimavariabilität. In: Deutsche Meteorologische Gesellschaft e.V. (Hrsg.) Europäischer Meteorologischer Kalender 2015. Rückseite Mai 2015, FU Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin.

Geenen E. M. (2009): Internationale Erfahrungen zum Verhalten der Bevölkerung bei Katastrophen in multikulturellen Gesellschaften. Abschlussbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn.

Gehard, H., & et al. (1983): Die Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976. 2. Auflage. Lelystad: CHR Rapport I-2.

- General-Anzeiger Bonn. (2018): Regierungsbezirk Köln darf auf Ölreserven zugreifen. Abgerufen am 05.12.2018 von <http://www.general-anzeiger-bonn.de/region/koeln-und-rheinland/Regierungsbezirk-K%C3%B6ln-darf-auf-%C3%96lreserven-zugreifen-article3968059.html>.
- Gerstengarbe, F.-W. and Werner, P.C. (2005): Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881-2004) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky; 6., Abgerufen am 10.12.2018 von <https://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr100.pdf>.
- Groth, M. und J. Rose (2018): Infrastrukturen Energie- und Wasserversorgung. In: von Storch, H., Meinke, I. und Claußen, M. (Hrsg.) Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin.
- Guo Y et al. (2018): Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. PLoS Med; 15(7). Abgerufen am 10.12.2018 von <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1002629>.
- Hanl, A. et al. (2018): Waldbrände in Deutschland. Ein Diskussionsbeitrag zur Vorbereitung auf Vegetationsbrände. Brandschutz Jg. 72, S. 756-760.
- Helmerichs J. (2011): Psychosoziale Notfallversorgung im Großschadensfall und bei Katastrophen. In: F. Lasogga / B. Gasch (Hrsg.) Notfallpsychologie. Lehrbuch für die Praxis. (2. überarbeitete Auflage), Heidelberg, Springer Medizin, 371-388.
- Helmerichs J. & V. Blank-Gorki (2013): Bundeseinheitliche Qualitätsstandards in der Psychosozialen Notfallversorgung (PSNV). In: Handbuch Notfallseelsorge. Edewecht: Stumpf & Kossendey. 3. üb. Auflage, 398-403.
- Helmerichs J., Karutz H. (2013): Psychosoziale Notfallversorgung (PSNV) – integraler Bestandteil der kommunalen Gefahrenabwehr. In: Mendel Verlag (Hrg.) Handbuch des Rettungswesens, 4, 2013, 1-17.
- Hoffmann, B. et al. (2008): Increased Cause-Specific Mortality Associated with 2003 Heat Wave in Essen, Germany. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A 71: S. 759-765.
- Hoffmann, E. et al. (2011): Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels. Abgerufen am 07. 12 2018 von Umweltbundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4071.pdf>.
- Imprex. (2017): Improvin predictions and management of hydrological extrens. Abgerufen am 05. 12 2018 von <http://imprex.eu/system/files/generated/files/resource/d9-1-imprex-v2-0.pdf>
- IPCC (2013): Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chan. Cambridge.
- Karlsson, M., & N. Ziebarth (2018): Population health effects and health-related costs of extreme temperatures: Comprehensive evidence from Germany. Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 91, , S. 93-117.
- Koehler, G. et al. (2006): Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland – Ursache – Wirkungen – Folgen. Koblenz: BfG – Mitteilungen. H. 27.
- Kohn, I. et al. (2014): Das hydrologische Extremjahr 2011: Dokumentation, Einordnung, Ursachen und Zusammenhänge. BfG – Mitteilungen, Nr. 29.

- Kohn, I., K. Rosin, D. Freudiger, J.U. Belz, K. Stahl und M. Weiler (2014b): Niedrigwasser in Deutschland 2011. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 58 (1), 4–17. Abgerufen am 10.12.2018 von [http://doi.bafg.de/HyWa/2014/HyWa\\_2014,1\\_1.pdf](http://doi.bafg.de/HyWa/2014/HyWa_2014,1_1.pdf).
- Kopp, B., J. Neumann, C. Baumeister, J. Kampf, T. Gudera, M. Hergesell und A. Morhard (2018a): Entwicklung der Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland Pfalz. Erläuterung zur Titelseite, HW 62, Heft 2.
- Kopp, B., J. Neumann, C. Baumeister, J. Kampf, T. Gudera, M. Hergesell und A. Morhard (2018b): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland Pfalz von 1951 bis 2015. HW 62, Heft 2, Seite 62-75.
- Krahe, P. und M. Larina (2010): Hoch- und Niedrigwasser in Köln seit AD 1000. Geographische Rundschau 3, S. 34-41.
- Kremer M., Löns-Hanna C. und Menk P.(2018): Meteorologische und Hydrologische Dürre in Hessen 2016 – 2017. Persönliche Mitteilung, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden.
- LAWA Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder. Abgerufen am 07. 12 2018 von Länderfinanzierungsprogramm Wasser, Boden & Abfall : [http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb\\_prod/WaBoAb/Vorhaben/Sonstige/K\\_1.17/20171221\\_lawa-bericht\\_hydron.pdf](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/Sonstige/K_1.17/20171221_lawa-bericht_hydron.pdf).
- LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. (2017): Entwurf Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch, Teil C.
- LfU BY Landesamt für Umwelt. Bayern. (2016): Niedrigwasser in Bayern. Grundlagen, Veränderungen und Auswirkungen.UmweltSpezial. Abgerufen am 07. 12 2018 von <https://www.nid.bayern.de/files/docs/niedrigwasserbericht.pdf>.
- Lake, P. S. (2003): Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. In: Freshwater Biol 48 (7), S. 1161–1172.
- LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2018): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2017. Abgerufen am 31.05.2018 von [https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/130988/Erdoel\\_und\\_Erdgas\\_in\\_der\\_Bundesrepublik\\_Deutschland\\_2017.pdf](https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/130988/Erdoel_und_Erdgas_in_der_Bundesrepublik_Deutschland_2017.pdf).
- Link, F.-G. (2006): Ergebnisse der Fachtagung „Warnsignal Klima“: Wir Wasser knapper. In: Hutter, C.-P. und F.-G. Link (Hrsg.): Warnsignal Klimawandel: WIRD WASSER KNAPPER? Band 42, Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, Seite 144-151.
- Melcher, A.; Pletterbauer, F.; Kremser, H. & S. Schmutz (2013): Temperaturansprüche und Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischfauna in Flüssen und unterhalb von Seen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 65, S. 408–417.
- Mette, T.; Rötzer, T. & H. Pretzsch (2011): Ein Dürre-Index für die Forstwirtschaft? LWF aktuell 85/2011.
- NATO (2017a): Central Europe Pipeline System (CEPS) Abgerufen am 31.05.2018 von [https://www.nato.int/cps/en/natolive/topics\\_49151.html](https://www.nato.int/cps/en/natolive/topics_49151.html).
- NATO (2017b): NATO Pipeline System. Abgerufen am 31.05.2018 von [https://www.nato.int/cps/en/natolive/topics\\_56600.html](https://www.nato.int/cps/en/natolive/topics_56600.html).

- o. V. (2018): Hitze verursacht Straßenschaden. Abgerufen am 07. 12 2018 von Düsseldorf:  
<https://www.duesseldorf.de/aktuelles/news/detailansicht/newsdetail/hitze-verursacht-strassenschaden.html>.
- o. V. (2018): Hitzewellen Europa. Abgerufen am 06. 12 2018 von Wiki Bildungsserver:  
[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Hitzewellen\\_Europa](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Hitzewellen_Europa).
- o. V.: dpa. (2018): in Westdeutsche Zeitung. Bericht: Deutschland fehlt Ausrüstung zur Waldbrandbekämpfung. Abgerufen am 12.12.2018 von  
[https://www.wz.de/nrw/deutschland-fehlt-ausruestung-zur-waldbrandbekaempfung\\_aid-25134325](https://www.wz.de/nrw/deutschland-fehlt-ausruestung-zur-waldbrandbekaempfung_aid-25134325).
- Pfister, C., & et al. (2015): Tree-rings and people – different views on the 1540 Megadrought. Reply to Büntgen et al. 2015. *Climate Change*. Volume 131. Issue 2., S. 191-198.
- PIANC Report N°117-2012 (kein Datum): Use of Hydro/Meteo Information for Port Access and Operations. Maritim Navigation Commission.
- Robin, J. e. (27. 02 2007): Report on excess mortality in Europe during summer 2003. Abgerufen am 07. 12 2018 von [https://ec.europa.eu/health/ph\\_projects/2005/action1/docs/action1\\_2005\\_a2\\_15\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf).
- Roth, U., Coppola, F. & H. Wagner (2016): Das Spitzenlastereignis 2015 im Versorgungsgebiet der Hessenwasser GmbH & Co.KG. gwf-Wasser/Abwasser, 6, Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.hessenwasser.de/fileadmin/user\\_upload/Roth\\_U.\\_Coppola\\_F.\\_Wagner\\_H.\\_Das\\_Spitzenlastereignis\\_2015\\_bei\\_Hessenwasser\\_gwf\\_2016\\_06.pdf](https://www.hessenwasser.de/fileadmin/user_upload/Roth_U._Coppola_F._Wagner_H._Das_Spitzenlastereignis_2015_bei_Hessenwasser_gwf_2016_06.pdf).
- Runkel, Peter (2010): § 2 Grundsätze der Raumordnung. In: *Raumordnungs- und Landesplanungsrecht des Bundes und der Länder. Ergänzbare Kommentar und systematische Sammlung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften*. Bielefeld: Erich Schmidt.
- Samaniego, L. (2018): Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. In: *Nature Climate Change* 8. S. 421–426. Abgerufen am 10.12.2018 von <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0138-5>.
- Scherzer J. et al. (2010): WASKlim – Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft. Texte 7/2010. Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau (Webseiten des Umweltbundesamtes).
- Schmit, H.H. et al. (2016): Kurzbericht zur trocken-warmen Witterungsperiode im August/September 2016. Deutscher Wetterdienst. Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20161006\\_trockenheit\\_september.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20161006_trockenheit_september.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Schönfelder, S., Pütz, T. & P. Jakubowski (2018): Risikoabschätzung für den Schienengüterverkehr am Beispiel Flusshochwasser. BBSR-Sonderveröffentlichung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- Schönwiese, C., Staeger, T., Trömel, S. (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol.13, No. 4, 323-327.
- Scope Ratings AG (2017): Branchenstudie Tankstellenmarkt Deutschland 2016. Abgerufen am 05. 12 2018 von [https://www.bft.de/files/8914/9425/6555/Scope\\_Ratings\\_Tankstellenstudie\\_2016\\_26042017-Finale\\_Ausgabe.pdf](https://www.bft.de/files/8914/9425/6555/Scope_Ratings_Tankstellenstudie_2016_26042017-Finale_Ausgabe.pdf).

- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., & P. Barbosa (2016): Meteorological Droughts in Europe. Events and Impacts. Past Trends and Future Projections. Abgerufen am 06. 12 2018 von The European Commission's science and knowledge service: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/meteorological-droughts-europe-events-and-impacts-past-trends-and-future-projections>.
- Statistisches Bundesamt. (2016): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bewässerung in landwirtschaftlichen Betrieben/Agrarstrukturbericht.
- Statistisches Bundesamt. (2017): Umweltnutzung und Wirtschaft. Ausgabe 2017, Teil 4.
- Statistisches Bundesamt. (26. 02 2018a): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung Input-Output-Rechnung 2014. Statistisches Bundesamt Fachserie 18, Reihe 2.
- Süddeutsche Zeitung (11.11.2018): Warum ein Großbrand und die Dürre viele teuer zu stehen kommen. Abgerufen am 05. 12 2018 von <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/heizoel-preise-1.4204597>.
- SWR (2018): Hitzewelle in Badenwürttemberg: Tempo 80 auf Autobahn wegen Hitze. Abgerufen am 06. 12 2018 von <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/Heisse-Hundstage-in-Baden-Wuerttemberg-Tempo-80-auf-Autobahnen-wegen-Hitze,hitze-hundstage-baden-wuerttemberg-100.html>.
- Tagesschau (25.07.2018): Die Schattenseiten bei Rekordtemperaturen . Abgerufen am 05. 12 2018 von [www.tagesschau.de](http://www.tagesschau.de): <https://www.tagesschau.de/inland/hitze-sommer-101.html>.
- Thünen Institut. (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen – Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Abgerufen am 06. 12 2018 von [www.literatur.thuenen.de](http://www.literatur.thuenen.de): [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn055248.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn055248.pdf).
- UBA (2016): Rund um das Trinkwasser. Ratgeber Umweltbundesamt. Berlin.
- UBA (2018): Kraftwerke und Verbundnetze in Deutschland. Abgerufen am 28.05.2018 von <https://www.umweltbundesamt.de/bild/kraftwerke-verbundnetze-in-deutschland>.
- UBA/ BMU Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Die Wasserrahmenrichtlinie – Deutschlands Gewässer 2015. Bonn, Dessau. Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/final\\_broschure\\_wasserrahm\\_enrichtlinie\\_bf\\_112116.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/final_broschure_wasserrahm_enrichtlinie_bf_112116.pdf).
- UBA/ BMU (Hrsg.) (2017): Wasserwirtschaft in Deutschland. Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba\\_wasserwirtschaft\\_in\\_deutschland\\_2017\\_web\\_aktualisiert.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_wasserwirtschaft_in_deutschland_2017_web_aktualisiert.pdf).
- UBA/ BMU (Hrsg.) (2016): Klimaanpassung in der räumlichen Planung (Praxishilfe). Starkregen, Hochwasser, Massenbewegungen, Hitze, Dürre. Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung. Abgerufen am 10.12.2018 von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/klimaanpassung\\_in\\_der\\_raeumlichen\\_planung\\_praxishilfe.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/klimaanpassung_in_der_raeumlichen_planung_praxishilfe.pdf).
- Wetter, O., Pfister, C., & Werner, J. e. (2014): The year- long unprecedented European heat and drought of 1540 – a worse case. Climate Change, Volume 125, Issue 3-4, S. 349-363.
- WDR (2018): Viele Verletzte bei Brand an ICE-Strecke in Siegburg. Abgerufen am 21.08.2018 von <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/brand-siegburg-brueckberg-100.html>.

Wirtschaftswoche (2018). Kohle, Sonne, Wind, Mais: Was die Hitze mit der Energie macht. Abgerufen am 21.08.2018 von <https://www.wiwo.de/technologie/green/kohle-sonne-wind-mais-was-die-hitze-mit-der-energie-macht/22877746.html>.

WMO (World Meteorological Organization) & GWP (Global Water Partnership) (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2, WMO-No. 1173, Geneva, 52 p., WMO-No. 1173 52 p., URL: <https://www.preventionweb.net/publications/view/49658>.

WMO (World Meteorological Organization) (Edt.) (2017). Integrated drought management in Central and Eastern Europe: Compendium of good practices, 42 p, URL: <https://www.preventionweb.net/publications/view/54767>.

WMO (World Meteorological Organization) (Editor) (2008): Manual on Low-flow Estimation and Prediction. WMO-No. 1029, Geneva [http://www.whycos.org/chy/Manual\\_low\\_flow/OH-Report\\_No50\\_lowres.pdf](http://www.whycos.org/chy/Manual_low_flow/OH-Report_No50_lowres.pdf).

WRM (Arbeitsgemeinschaft Wasserversorgung Rhein-Main) (Hrsg.) (2016): Situationsanalyse zur Wasserversorgung in der Rhein-Main-Region Fortschreibung – Juli 2016. Groß-Gerau, Url: [https://www.hessenwasser.de/fileadmin/user.../WRM-Situationsanalyse\\_2016\\_Bericht.pdf](https://www.hessenwasser.de/fileadmin/user.../WRM-Situationsanalyse_2016_Bericht.pdf).

ZDF (2018): Auswirkungen des Wetters: Warum die Energiebranche ins Schwitzen gerät. Abgerufen am 21.08.2018 von <https://www.zdf.de/nachrichten/heute/was-die-hitze-mit-energieerzeugern-macht-100.html>.

## Anhang A

### Herleitung der Auswirkungen auf die Landwirtschaft

#### Pflanzenbau, Ackerkulturen

In Bezug auf die Landwirtschaft kann Dürre nicht mit einheitlichen Maßstäben beschrieben werden, da Dürre auch von regionalen Faktoren wie Klima- und Bodentypen sowie insbesondere auch den jeweils kultivierten Pflanzenarten abhängt.

Zur landwirtschaftlichen Dürre tragen mehrere Faktoren bei:

- ausbleibende oder verminderte Niederschläge,
- zeitliche Verteilung der Niederschläge,
- verminderte oder fehlende Pflanzenverfügbarkeit von Oberflächen- oder Grundwasser,
- erhöhte Temperaturen und damit steigende Verdunstung,
- geringe Luftfeuchte und damit steigende Verdunstung,
- Wind und damit steigende Verdunstung,
- Geringes Wasserspeichervermögen des Bodens im Bereich der Wurzelzone.

Für die Abschätzungen wurden Forschungsergebnisse zur Wirkung von Bewässerung auf Getreide sowie Studien zu den Auswirkungen früherer Dürrejahre auf die Erträge landwirtschaftlicher Erzeugnisse ausgewertet.

- *Bewässerungsversuche:*

Wassermangel bzw. Einschränkungen in der Wasserversorgung in Verbindung mit extremer Kälte (Winter des 6. Szenario-Jahres) und Hitze (Sommer des 6. Szenario-Jahres) können sich auf die gesamte Produktions- und Lieferkette von Lebensmitteln auswirken, wobei der Pflanzenbau insbesondere betroffen ist:

- Trockenheitsbedingter Ertrags-/ Ernteausfall bei Acker- und Dauerkulturen

Wenn der Wassergehalt im Boden unter 50 % der nutzbaren Feldkapazität sinkt, ist von Trockenstress für die Pflanzen auszugehen (De Witte, T. (2017): Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg, Thünen Working Paper 85; S. 113 – 122.).

- Potentielle Faktoren zur Ermittlung zu erwartender Ertragsdepressionen Versuchsanstellungen des Julius Kühn-Institut (JKI) haben gezeigt, „dass extreme Trockenheit bei Wintergetreide zu Einbußen im Kornertrag von 60-65 % führt. Noch stärkere Auswirkungen auf den Kornertrag bei Winterroggen hatte Trockenstress vor statt nach der Blüte“ (Schittenhelm, S., Kottmann, L. (2017): Notwendigkeit der Bewässerung aus Sicht des Pflanzenbaus. In: Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg, Thünen Working Paper 85; S. 11 – 22.)

- *Weitere Versuchsergebnisse des JKI:*

Die Wirkung des Produktionsfaktors Wasser auf die Ertragsbildung wurde in den Jahren 2010 und 2011 in einem Versuch mit je vier Sorten der Wintergetreidearten Gerste, Roggen, Triticale und Weizen in Braunschweig mit Hilfe von Rain out Shelters untersucht (Schittenhelm et al., 2014). Die Rain-out Shelter wurden Anfang April aktiviert, als sich die Getreide in der Bestockungsphase befanden. Ab diesem Zeitpunkt waren die Pflanzen allein vom Bodenwasserspeicher abhängig. In der benachbarten bewässerten Kontrolle wurde hingegen durch zusätzliche Wassergaben über Tropfschläuche sichergestellt, dass die Bodenfeuchte nicht unter 60 % nFK abfällt. Der bis zur Ernte fortgesetzte Regenausschluss hatte im Mittel der Jahre einen Ertragsrückgang von 5,9 t ha<sup>-1</sup> (63 %) für den Kornertrag, von 3,5 t ha<sup>-1</sup> (39 %) für den Strohertrag und von 9,2 t ha<sup>-1</sup> (51 %) für den oberirdischen Biomasseertrag zur Folge (Abbildung 1).“

Abbildung A 1

**Notwendigkeit der Bewässerung aus Sicht des Pflanzenbaus****Tabelle 2-1:** Mittelwerte für Korn-, Stroh- und oberirdischen Biomasseertrag unter feuchten und trockenen Bedingungen in den Jahren 2010 und 2011 am Standort Braunschweig

| Fruchtart | Kornertrag                      |                                  |                 | Strohertrag                     |                                  |        | Biomasse                        |                                  |        |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------|---------------------------------|----------------------------------|--------|
|           | feucht<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | trocken<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | Δ% <sup>1</sup> | feucht<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | trocken<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | Δ%     | feucht<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | trocken<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | Δ%     |
| Gerste    | 9,7 <sup>b2</sup>               | 3,7 <sup>a</sup>                 | -62***          | 7,1 <sup>c</sup>                | 4,7 <sup>b</sup>                 | -34*** | 15,8 <sup>b</sup>               | 8,4 <sup>b</sup>                 | -47*** |
| Roggen    | 10,0 <sup>a</sup>               | 4,0 <sup>a</sup>                 | -60***          | 10,2 <sup>a</sup>               | 6,8 <sup>a</sup>                 | -33*** | 20,3 <sup>a</sup>               | 10,8 <sup>a</sup>                | -47*** |
| Triticale | 9,3 <sup>ab</sup>               | 3,3 <sup>a</sup>                 | -65***          | 9,8 <sup>a</sup>                | 5,5 <sup>b</sup>                 | -44*** | 19,2 <sup>a</sup>               | 8,9 <sup>b</sup>                 | -54*** |
| Weizen    | 8,7 <sup>b</sup>                | 3,2 <sup>a</sup>                 | -63***          | 8,6 <sup>b</sup>                | 4,7 <sup>ab</sup>                | -45*** | 17,3 <sup>b</sup>               | 7,9 <sup>b</sup>                 | -54*** |

<sup>1</sup> Änderungen relativ zur bewässerten Kontrolle.<sup>2</sup> Mittelwerte innerhalb eines Merkmals und Wasserregimes gefolgt von unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $P < 0,05$ ).\*\*\* Unterschiede sind signifikant für  $P < 0,001$ .

Quelle: Schittenhelm et al. (2014).

Quelle: Schittenhelm, S., Kottmann, L. (2017): Notwendigkeit der Bewässerung aus Sicht des Pflanzenbaus  
 Schimmelpfennig, S. et al. (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in  
 Suderburg, Thünen Working Paper 85; S. 11 – 22.)

- *Auswertung bisheriger Extremwetterlagen:*

In der Studie des Thünen-Instituts „Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen“ wurden die Auswirkungen von extremen Wetter- und Witterungsperioden im Zeitraum von 1961 bis 2013 untersucht und beschrieben (Gömann H, Bender A, Bolte A, Dirksmeyer W, Englert H, Feil J-H, Frühauf C, Hauschild M, Krenzel S, Lilienthal H, Löpmeier F-J, Müller J, Mußhoff O, Natkhin M, Offermann F, Seidel P, Schmidt M, Seintsch B, Steidl J, Strohm K, Zimmer Y (2015) Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen : Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); Abschlussbericht: Stand 3.6.2015. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 312 p, Thünen Rep 30, doi:10.3220/REP1434012425000). In Bezug auf das Szenario sind folgende in oben genannter Studie untersuchten Faktoren für den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen relevant:

Tabelle A 1

**Relevante Ergebnisse von Auswertungen bisheriger Extremwetterlagen.**

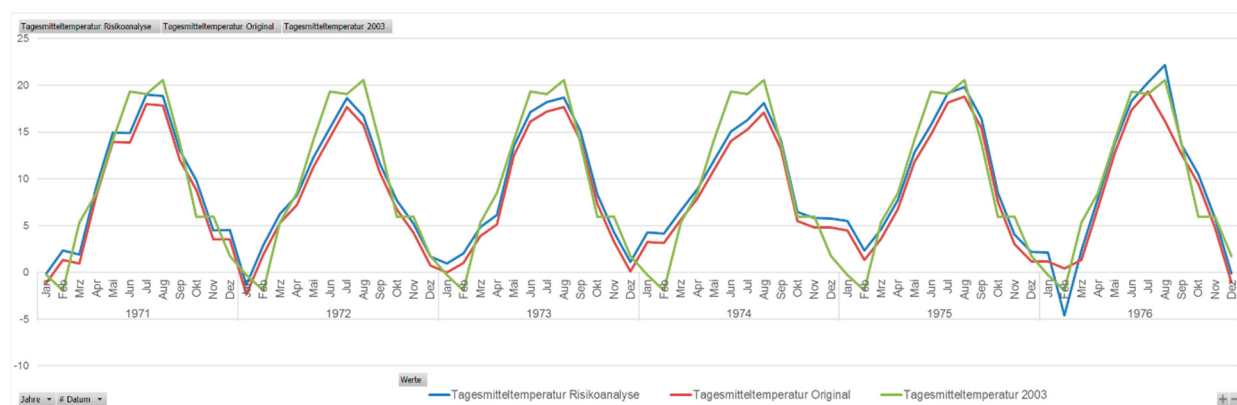
| Wetterphänomen bzw. Indikator                                                                                    | Auswirkung                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Winterfrost ( $< -20\text{ °C}/-25\text{ °C}$ ); Spätfrost, Kahlfrost ( $< -10\text{ °C}$ , ohne Schneedecke)    | Pflanzen werden geschädigt, oft müssen die Fläche umgebrochen werden.                                                     |
| Trockenheit (Bodenfeuchte $< 50\%$ der Feldkapazität, Niederschlag $< 0.1\text{ mm/d}$ über mehrere Tage/Wochen) | Entwicklung und Wachstum der Pflanzen ist beeinträchtigt. Frühe Notreife mit niedrigen Erträgen.                          |
| Hitze (Tageshöchsttemperaturen je nach Pflanze ab $28\text{ °C}$ bis über $35\text{ °C}$ )                       | Hitzestress bei Pflanzen, Blattgewebe kann geschädigt werden                                                              |
| Intensive Sonnenstrahlung ( $> 2.500\text{ J/m}^2\text{ d}$ )                                                    | Starke Sonneneinstrahlung über mehrere Tage während der Blüte kann diese schädigen und damit gibt es keinen Fruchtansatz. |

**Einordnung der Szenario-Daten**

Anhand der Kriterien der Tabelle 1 soll eine Einschätzung der in den Szenario-Jahren zu erwartenden Ernteerträge bzw. Ertragsdepressionen für Winterweizen Gerste, Raps, Silomais, Kartoffeln und Zuckerrüben erstellt werden. Hierzu werden zunächst die meteorologischen Szenariodaten mit den Real-Daten der Jahre 1971 bis 1976 sowie 2003 abglichen. Herangezogen wurden jeweils Daten zu Höchst-, Tiefst- und Tagesdurchschnittstemperaturen, Niederschlagssummen nach Monaten sowie die Zahl der Tage mit Extremwerten.

Nach Verlauf und Höhe sind die Monatsmittel der Tagesdurchschnittstemperaturen (vgl. Abbildung 2) der Szenario-Jahre der Jahre 1971 bis 1975 und die des Jahres 2003 ähnlich. In den Szenario-Jahren 1971 bis 1975 liegen die Monatsmittel der Tagesdurchschnittstemperaturen ganzjährig oder in größten Teilen des Jahres unterhalb der Realwerte des Jahres 2003. Im Szenario weichen für das letzte Jahre (Basis 1976) die Februartemperaturen sehr deutlich nach unten und die Augusttemperaturen nach oben von den Realwerten ab.

Abbildung A 2

**Monatsmittel der Tagesdurchschnittstemperaturen**

Quelle: Szenario-Daten und Realdaten des DWD

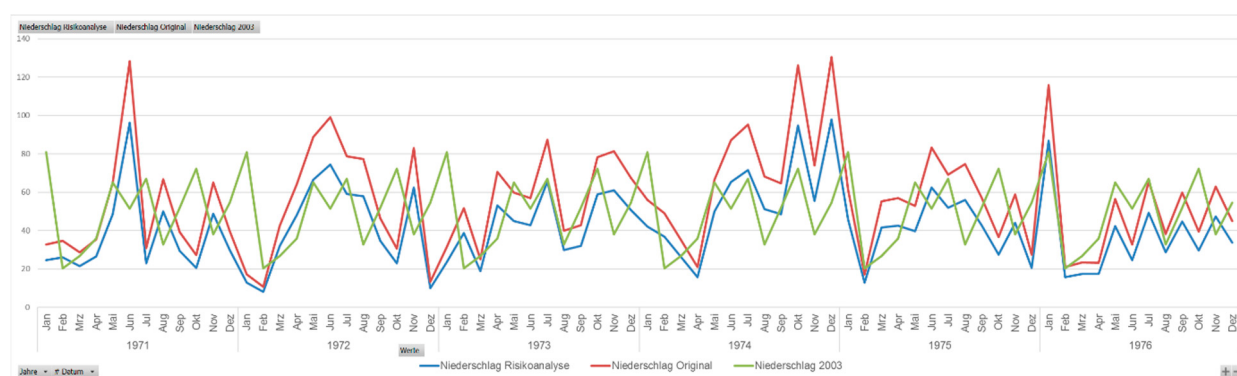
Zur Abschätzung der Folgen einer bisher in Deutschland in diesem Ausmaß nicht aufgetretenen Dürre wurden Jahres- und Monatsdurchschnittswerte auf Deutschlandebene herangezogen.

Abbildung 3 gibt die Verteilung der jährlichen Niederschlagssummen für das Real-Jahr 2003 und die Szenario- wie auch die Real-Jahre 1971 bis 1976 wieder.; in Tabelle 2 sind die Daten nach Jahren zusammengefasst.

Bis auf das Jahr 1976 liegen die Jahresniederschlagssummen der Real-Jahre 14 bis 26 % unter dem langjährigen Mittel 1981 bis 2010 von 804 mm. Das trockenste Jahr im betrachteten Zeitraum war das Jahr 1976 mit 582 mm/a. Die Niederschlagsverteilung der Szenario-Jahre 1971 bis 1976 entspricht der der Real-Jahre reduziert um 25 %. Sie weichen damit zwischen 19 und 46 % vom langjährigen Mittel nach unten ab.

Abbildung A 3

### Monatsniederschläge im Vergleich



Quelle: Szenario-Daten des DWD

In Tabelle 2 sind Szenario- und Real-Niederschläge, die Realergebnisse für Winterweizenenerträge sowie die jeweiligen Abweichungen von langjährigen Mittelwerten zusammengestellt.

Tabelle A 2

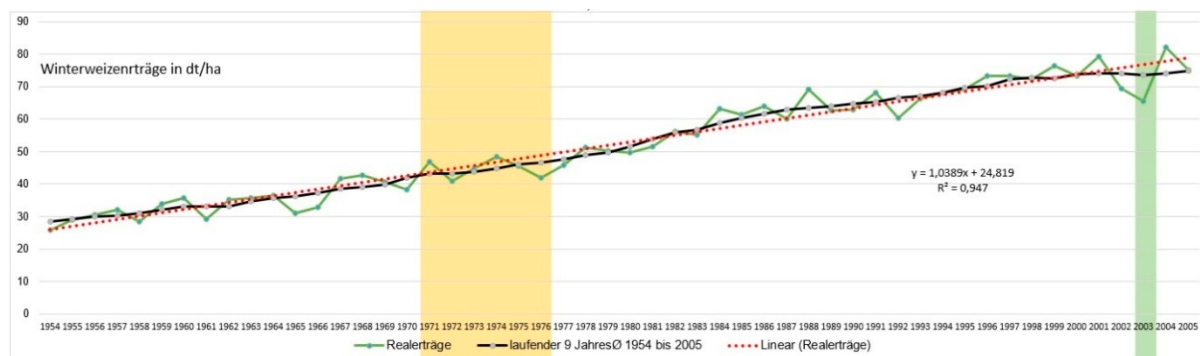
### Jahresniederschläge der Jahre 1971 bis 1976 und 2003 im Vergleich

|                                                        | Jahr                   | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 2003 |
|--------------------------------------------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nieder-<br>schläge in<br>mm<br>Veränder-<br>ungen in % | real                   | 593  | 652  | 693  | 873  | 623  | 582  | 597  |
|                                                        | Szenario               | 445  | 489  | 520  | 655  | 488  | 437  |      |
|                                                        | Ø 1981 - 2010          | 804  |      |      |      |      |      |      |
|                                                        | Real in % von Ø        | 74%  | 81%  | 86%  | 109% | 77%  | 72%  | 74%  |
|                                                        | Szenario in % von Ø    | 55%  | 61%  | 65%  | 81%  | 61%  | 54%  |      |
|                                                        | Real in % von 2003     | 99%  | 109% | 116% | 146% | 104% | 97%  | 100% |
|                                                        | Szenario in % von 2003 | 75%  | 82%  | 87%  | 110% | 82%  | 73%  |      |

Ertragsdaten der Jahre 1971 bis 1976 als mehrjährige Trockenphase sowie des Jahres 2003 mit extremen Wetterphasen dienen als Referenz zur Abschätzung der Ernteerträge beim Szenario Dürre. Dabei soll die erwartete Situation 1976 im Vordergrund stehen. Um die Ertragsentwicklung bei der Bewertung der Erntedaten aus unterschiedlichen Jahren zu berücksichtigen, wurden für das Leitgetreide Winterweizen Abweichungen zum neun-jährigen Mittel des Betrachtungsjahres ausgewiesen (Mittel der Erträge aus je 4 Jahren vor und nach Jahr n plus Ertrag Jahr n). Dies ist in Abbildung 4 dargestellt. Langjährige Ertragsentwicklungen von Kartoffeln und Zuckerrüben zeigt die Abbildung 5.

Abbildung A 4

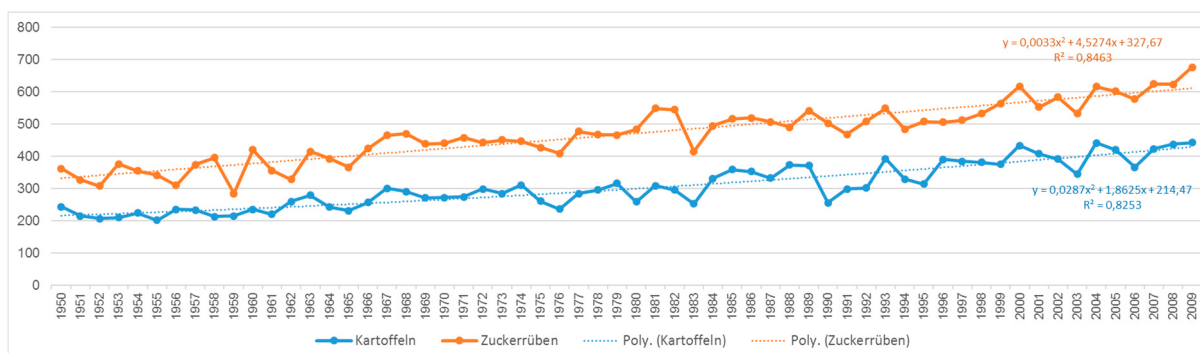
### Entwicklung der Winterweizenerträge von 1954 bis 2009 in Deutschland je Hektar



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen

Abbildung A 5

### Entwicklung der Erträge von Kartoffeln und Zuckerrüben von 1954 bis 2009 in Deutschland je Hektar



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen