

*dynaklim*-Publikation



Gefördert durch:





## KOSTENPROJEKTION:

# AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE TRINKWASSERVERSORGUNG

Marina Neskovic, Andreas Hein, Nadine Staben

**IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH**

[www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)

---

*dynaklim*-Publikation Nr. 55, Oktober 2014

---



### Abstract

Die vorliegende Untersuchung beantwortet die Fragestellungen, welche Klimawandelauswirkungen der Trinkwasserversorgung in der Emscher-Lippe-Region begegnen werden und welche ökonomischen Auswirkungen damit verbunden sind. Darin sind auch die Fragen eingeschlossen, welche Infrastruktur bzw. Leistung in den Hauptprozessen Wasserressourcen, -gewinnung, -aufbereitung und Wassernetze betroffen ist und welche Mehraufwendungen die jeweilige Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels mit sich bringt. Ausgehend von Forschungsergebnissen in *dynaklim* sind die Klimawandelrisiken für die Trinkwasserversorgung in mehreren Arbeitsgruppensitzungen für unterschiedliche Versorgungsleistungen (Oberflächenwasser, Grundwasser, städtischer und ländlicher Wasserversorger) spezifiziert worden. Die Klimawandelrisiken sind aus den *dynaklim*-Szenarien, vornehmlich aus dem „Szenario: moderater Wandel“, abgeleitet worden, so dass eine Kostenprojektion in Abhängigkeit vom unterstellten Szenario getätigt werden kann. Auf diese Weise lässt sich ableiten, dass Mehraufwendungen unter den gesetzten *dynaklim*-Annahmen in der Wasserproduktion für Unternehmen mit Oberflächenwassernutzung bei ca. 0,03 % bis 14,9 % und für Unternehmen mit Grundwassernutzung bei ca. 1,2 % bis 3,6 % liegen können. Wasserproduktion bündelt dabei die Prozesse Wasserressourcen, -gewinnung und -aufbereitung. Im Ergebnis kann die Wasserproduktion einer Bewertung unterzogen werden, allerdings sind keine Aussagen zum Netzbereich möglich, da hier entweder keine Forschungsergebnisse vorliegen oder zu große Unsicherheiten für standardisierte Schätzungen unter den gesetzten Annahmen vorhanden sind.

## Inhalt

1. Einleitung .....	3
2. Kostenprojektionsmodell .....	4
2.1. Wasserwirtschaftliche Hauptprozesse .....	4
2.2. Typisierung der Wasserversorgung .....	5
2.3. Modell-Wasserversorger .....	7
2.4. <i>dynaklim</i> -Szenarien und Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung.....	9
2.5. Weitere Randbedingungen.....	11
3. Durchführung der Kostenprojektion .....	12
3.1. Wasserwirtschaft .....	12
3.2. Wassergewinnung .....	15
3.2. Wasseraufbereitung .....	17
3.2. Wassertransport und -speicherung (inkl. Versorgung) .....	20
3.3. Anpassungskosten für die Emscher-Lippe-Region.....	21
4. Zusammenfassung und Ausblick .....	23
Literaturverzeichnis .....	24
Abbildungsverzeichnis .....	25
Tabellenverzeichnis .....	25

## 1. Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels wie bspw. Höhe, zeitliche und räumliche Verteilung der Niederschläge, Anzahl und Dauer der Trockenperioden sowie Temperaturerhöhung haben einen Einfluss auf die Trinkwasserversorgung. Darüber hinaus müssen auch sozioökonomische Wandelerscheinungen wie bspw. der prognostizierte Bevölkerungsrückgang berücksichtigt werden, da ein Rückgang des personenbezogenen Wassergebrauchs sowie jener der Industrie- und Sondervertragskunden die Erlöse eines Wasserversorgungsunternehmens sinken lässt. Dabei sind teilweise auch Gegenmaßnahmen in Form von Investitionen oder erhöhter Betriebskosten erforderlich, um sich an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen.

Es existiert eine Reihe von Publikationen, die mögliche Klimawandelauswirkungen analysieren, allerdings nicht die finanziellen Folgen aufzeigen. Betrachtet man bspw. zwei Hauptprozesse in der Trinkwasserversorgung wie die Wasserressourcen und den Netzbereich, so können in beiden Prozessen potentielle klimawandelbedingte Gefährdungen angenommen werden: zum einen eine Nitratzunahme im Ressourcenbereich und zum anderen eine Aufkeimung im Trinkwassernetz. Doch wie teuer kann die Beherrschung dieser Gefährdungen werden?

Beide beispielhaften Gefährdungen lassen sich in Kategorien (z. B. gering, mittel und hoch) systematisieren. Wenn nun eine Gefährdung im Netzbereich als gering eingeschätzt, ihre Folgen aber weit höhere finanzielle Aufwendungen für eine Anpassung bergen, wie kann diese Gefährdung mit einer anderen Gefährdung in den Vergleich gebracht werden?

Aus den vorgestellten Fragen heraus wurde im BMBF-Projekt *dynaklim* ein Kostenprojektionsmodell entwickelt, das zum einen die Klimawandelrisiken in der Emscher-Lippe-Region für die Trinkwasserversorgung benennt und zum anderen beantworten kann, welche ökonomischen Auswirkungen aus Gesamtunternehmenssicht damit verbunden sind. Dies beinhaltet auch die Fragestellung, welche Infrastruktur bzw. Leistung in den Hauptprozessen Wasserressourcen, Wassergewinnung und -aufbereitung sowie Wassernetze betroffen ist und welche Mehraufwendungen die Auswirkungen des Klimawandels zur Folge haben. Des Weiteren müssen die lokalen Gegebenheiten und strukturellen Rahmenbedingungen in der Trinkwasserversorgung berücksichtigt werden, so dass eine Unterscheidung nach Art der Ressource (Grundwasser oder Oberflächenwasser) sowie nach Art des Siedlungsraumes (städtisch oder ländlich) stattfindet.<sup>1</sup>

Das entwickelte Kostenprojektionsmodell soll eine Einbindung von Maßnahmen(-bündeln) zur Ableitung von relativen Kostenveränderungen auf Unternehmensebene ermöglichen und stellt eine Methodik dar, mit welcher die Mehr- oder Minderkosten klimawandelinduzierter Anpassungsmaßnahmen in der Trinkwasserversorgung abgeleitet werden können. Anzumerken ist, dass durch die Unvollständigkeit der verfügbaren Daten nur eine erste Orientierung gegeben werden kann und verallgemeinernde Schlussfolgerungen nur begrenzt möglich sind.

---

<sup>1</sup> Vgl. Merkel, W., Levai, P., Bräcker, J., Neskovic, M. (2012).

## 2. Kostenprojektionsmodell

### 2.1. Wasserwirtschaftliche Hauptprozesse

Die Unternehmensaufgaben der einzelnen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) und deren Aufgabenwahrnehmung sind sehr unterschiedlich. Anlagen und Prozesse der Wasserversorgung variieren in Abhängigkeit von naturräumlichen Gegebenheiten sowie vorhandenen Infra- und Siedlungsstrukturen. In der vorliegenden Untersuchung soll ein Modell-Wasserversorger zu Grunde gelegt werden, an welchem die Durchführung der Kostenprojektion verdeutlicht werden kann. Dabei werden folgende, für die *dynaklim*-Region typische, Hauptprozesse betrachtet (vgl. Abbildung 1):

- WW: Wasserwirtschaft (Aktivitäten im Einzugsgebiet),
- WG: Wassergewinnung (Summe aller Aktivitäten und Anlagen bis zur Rohwasserfassung),
- WA: Wasseraufbereitung (Wasseraufbereitungsanlagen und -prozesse);
- WN: Betrieb und Instandhaltung von Wassernetzen (Summe aller Aktivitäten und Anlagen zwecks Reinwassertransport, -speicherung inkl. Druckerhöhungs- und -minderungsanlagen und Versorgung) sowie
- Gesamtunternehmensebene (technische und kaufmännische Aufgaben).

#### Wasserwirtschaft

- Aktivitäten im Einzugsgebiet, Bewirtschaftung von Flächen (z.B. Kooperationen) inkl. rechtlicher Aufgaben
- Aufgaben zum Schutz der Ressourcen (z.B. Wasserschutzgebiete)
- endet mit Eintritt des Wassers in die Wasserfassung

#### Wassergewinnung

- beginnt mit Eintritt des Wassers in die Wasserfassung, endet mit Übergabe des Rohwassers an das Wasserwerk
- Der Schieber der Rohwasserleitung im Wasserwerk gehört zur WA, Rohrleitung zählt zur WG

#### Wasseraufbereitung

- beginnt mit dem Schieber bzw. dem Schieberkreuz der Rohwasserleitung im Wasserwerk
- endet i.d.R. mit dem Zulauf in den Reinwasserbehälter, die Druckerhöhungsanlagen oder dem Ausgang des Wasserwerks
- alle Anlagen und Aufgaben zur Behandlung des Wassers; umfasst auch die Überwachung von Betriebsparametern sowie zum Wasserwerk zugehörige Betriebsgebäude (Anlagen zur Aufbereitung + Speicherung)

#### Wassertransport und -speicherung (inkl. Versorgung)

- beginnt i.d.R. mit dem Zulauf in den Reinwasserbehälter, den Druckerhöhungsanlagen oder dem Ausgang des Wasserwerks
- endet an der Übergabestelle zum Kunden, z.B. der Hauptabsperrereinrichtung
- alle Anlagen und Aufgaben Rohrleitungen, Trinkwasserbehälter, Förderanlagen u. sonstige Einrichtungen zum Zweck der Verteilung von Wasser
- umfasst Aufgaben des Zählerwesens (außer Ablesung), Qualitätsüberwachung/Labor sowie zentrale Technik (Zentrale Leitwarte, Lager, Werkstätten, Fuhrpark u.a.)

Wasserproduktion

Wassernetze

Abbildung 1: Beschreibung der technischen Hauptprozesse in der Trinkwasserversorgung, eigene Darstellung

Betrachtet man diese Systematik im Kontext eines Gesamtunternehmens sind darüber hinaus noch Bereinigungspositionen und Verwaltungsaufgaben entscheidend. Die Eingliederung auf Gesamtunternehmensebene zeigt Abbildung 2.

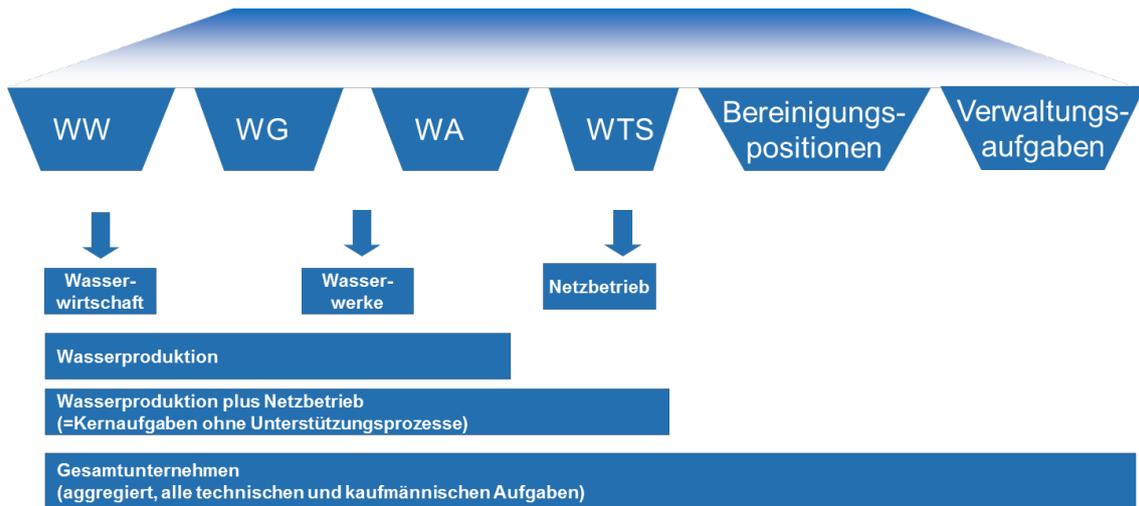


Abbildung 2: Gesamtunternehmensebene (Technik und Verwaltung), eigene Darstellung

## 2.2. Typisierung der Wasserversorgung

Die Art der verwendeten Ressource stellt eine naturräumliche Randbedingung dar, die nicht unmittelbar durch den Wasserversorger beeinflusst werden kann. Jedoch hat die Art der Ressource erhebliche Auswirkungen auf die Aufwendungen in der Wasserwirtschaft sowie Wassergewinnung und -aufbereitung.<sup>2</sup> Aus der Wasserherkunft können Rückschlüsse auf die Kosten der Wassergewinnung gezogen werden, da der erforderliche Investitionsaufwand für die jeweils notwendigen Anlagen von der Art der Ressource abhängig ist.<sup>3</sup> Auch die Betriebskosten werden im Hinblick auf die Überwachung sowie die Wassergewinnung stark von der Art der Ressource beeinflusst. Ebenso steht die Art der Ressource in unmittelbarem Zusammenhang zur Qualität des Rohwassers und damit zu möglichen Belastungen und dem Aufbereitungsaufwand im Hauptprozess Wasseraufbereitung.

Die Art des Siedlungsraums beeinflusst die Infrastrukturausstattung und damit die Betriebs- und Kapitalkosten. Je städtischer eine Region geprägt ist, desto höher sind im Allgemeinen die Aufwendungen für die Verteilungssysteme, bei jedoch sinkenden einwohnerbezogenen Aufwendungen. Der Grad der Urbanität beeinflusst zudem die Kosten der mit der Verlegung zusammenhängenden Oberflächenwiederherstellung und hat damit Auswirkung auf die Abschreibungen je Einwohner und Jahr.<sup>4</sup>

Um eine Typisierung von wasserwirtschaftlichen Leistungen zu erreichen, wird dem Vorgehen des DVGW-Forschungsvorhaben W11/01/10 gefolgt. Aus vorgestellten Definitionen wird daher im Bereich der Wasserproduktion (Wasserwirtschaft, Wassergewinnung, Wasseraufbereitung) nach der Art der Ressource in Grundwasser und Oberflächenwasser unterschieden. Im Bereich der Wassernetze erfolgt eine Unterscheidung in städtische und ländliche Siedlungsräume.<sup>5</sup>

In der Wasserproduktion erfolgt die Unterscheidung nach Art der Ressource und der anteiligen Wasserförderung aus Oberflächenwasser bzw. Tiefengrundwasser. Die Typisierung in eine Art der Ressource erfolgt, wenn die anteilige Förderung > 50 % in Bezug zur gesamten Wasserförderung ist:

- vom WVU gewonnene Menge an Oberflächenwasser, bestehend aus Talsperren-, Seen- oder Flusswasser sowie Uferfiltrat mit mehr als 30 Tagen Fließzeit im Untergrund,

<sup>2</sup> Vgl. FN 1.

<sup>3</sup> Vgl. Holländer, R., Fälsch, M., Geyler, S., und Lautenschläger, S. (2009).

<sup>4</sup> Vgl. DVGW (2007).

<sup>5</sup> Vgl. FN 1.

- vom WVU gewonnene Menge an Grundwasser, bestehend aus Grundwasser aus gut geschützten Tiefengrundwasserleitern und tieferer Stockwerke ( $\geq 2$ . Stockwerk).

In Bereich der Wassernetze erfolgt die Unterscheidung nach Art des Siedlungsraumes in städtische und ländliche Versorgungsstrukturen. Die Typisierung nach Art des Siedlungsraumes erfolgt, wenn die Versorgungsdichte folgende Schwellen erreicht:

- Städtischer Raum: Versorgungsdichte  $\geq 150$  versorgte EW/km<sup>2</sup>,
- Ländlicher Raum: Versorgungsdichte  $< 150$  versorgte EW/km<sup>2</sup>.

Aus diesen Überlegungen zur Typisierung lassen sich somit Versorgungsstrukturen abbilden, die zum einen städtisch geprägt sind und Oberflächenwasser oder Grundwasser fördern. Zum anderen lassen sich auch ländlich geprägte WVU-Gebiete mit Grundwasser-Verwendung auf diese Weise in der Kostenprojektion diskutieren. Durch die Typisierung sind die Versorgungsstrukturen, die für die Emscher-Lippe-Region charakteristisch sind, in dieser Untersuchung ausreichend abgebildet.<sup>6</sup> Abbildung 3 illustriert die typisierten Wasserversorgungsunternehmen und gibt zudem einen Hinweis, welche Versorgungsstrukturen für die *dynaklim*-Region charakteristisch sind.

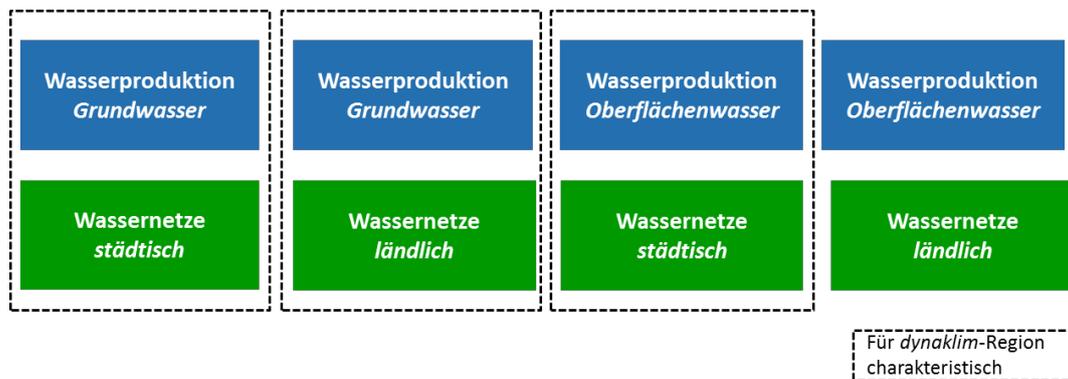


Abbildung 3: Typisierte Wasserversorgungsunternehmen nach Art der Ressource und des Siedlungsraumes, eigene Darstellung

<sup>6</sup> Vgl. Merkel, W. (2011).

### 2.3. Modell-Wasserversorger

Im Folgenden wird die Kostenstruktur eines Modell-Wasserversorgungsunternehmens hergeleitet und erläutert. Dies geschieht vor dem Hintergrund der Typisierung nach Art der Ressource und des Siedlungsraumes. In der Literatur ist keine Quelle bekannt, die die Kostenstrukturen eines Wasserversorgungsunternehmens in der Gänze beschreibt. Daher wird die Kostenstruktur eines Modell-Wasserversorgers aus unterschiedlichen Literaturquellen hergeleitet.<sup>7</sup> Alle folgenden Angaben sind mit verfügbaren Quellen plausibilisiert worden und stellen Durchschnittsangaben dar.

Abbildung 4 illustriert im Ergebnis die Kostenstrukturen eines Modell-Wasserversorgers. Die Kosten, die nicht in die weitere Betrachtung einfließen, sind in der Abbildung 4 grau hinterlegt. Der Hauptprozess Wasserproduktion ist in blau und die Wassernetze in grünlich gemacht. Dabei wird zudem zwischen Betriebskosten (weiße Schriftfarbe) und Kapitalkosten (gelbe Schriftfarbe) unterschieden.

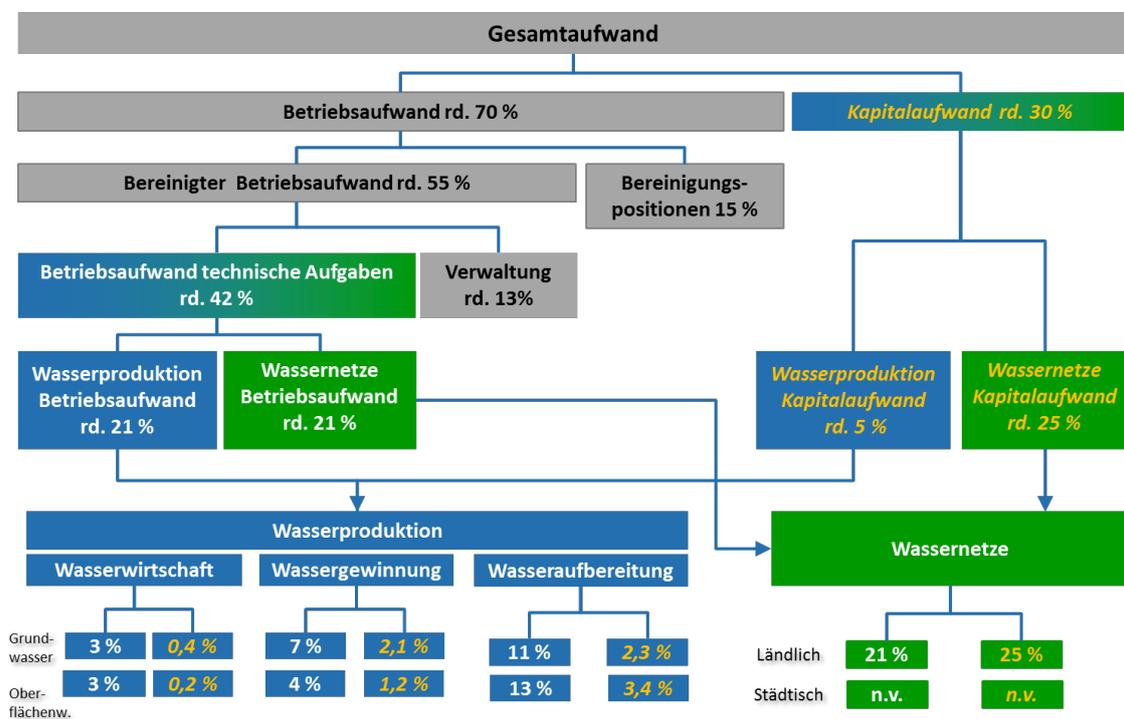


Abbildung 4: Modell-Wasserversorgungsunternehmen, eigene Darstellung

Der Gesamtaufwand eines WVUs gliedert sich in 70 % Betriebs- und 30 % Kapitalkaufwand. Dabei ist der Betriebsaufwand um die Positionen zu bereinigen, die in dieser Untersuchung nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit der originären Leistungserstellung stehen bzw. nicht durch den Versorger beeinflussbar sind. Hierzu zählen die Konzessionsabgabe, das Wasserentnahmeentgelt sowie Kosten, die für die Erzielung von Nebengeschäftserlösen, sonstigen betrieblichen Erträgen oder aktivierten Eigenleistungen aufgewandt wurden. Diese Bereinigungspositionen umfassen ca. 15 % der Gesamtkosten eines WVUs. Nach der Bereinigung beträgt der Betriebsaufwand noch 55 % am Gesamtaufwand.<sup>8</sup>

Für weitere Betrachtungen kann der Betriebsaufwand zudem in die Bereiche Verwaltung und Technik gegliedert werden. Die Verwaltungsaufgaben umfassen dabei unter anderem die Buchhaltung, die

<sup>7</sup> Vgl. Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2012), IWW – Benchmarking (2011) sowie Mutschmann J., Stimmelmayer F. (2013).

<sup>8</sup> Vgl. Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2012).

Verbrauchsabrechnung, das Beitrags- bzw. Baukostenzuschusswesen, das Personalwesen sowie zentrale Funktionen. Die Verwaltungskosten haben einen durchschnittlichen Anteil von rund 13 % an den Kosten auf der Gesamtunternehmensebene.<sup>9</sup> Auf diese Weise ergibt sich in einer durchschnittlichen Betrachtung ein Betriebsaufwand für technische Aufgaben von ca. 42 %.

Der Betriebsaufwand teilt sich hälftig auf den Netzbetrieb und die Wasserproduktion auf.<sup>10</sup> Dieser Annahme folgend, beträgt der Betriebsaufwand je Hauptprozess aus Gesamtunternehmenssicht ca. 21 %.

Die laufenden Kosten der Wasserproduktion werden nun auf die Wasserwirtschaft, Wassergewinnung und die Wasseraufbereitung verteilt. Diese Einteilung erfolgt nach Art der Ressource Grundwasser bzw. Oberflächenwasser. Nach Umrechnung der Daten ergeben sich im Bereich der Wasserwirtschaft 3 % und 3 %, in der Wassergewinnung 7 % und 4 % und in der Wasseraufbereitung 11 % und 13 %.<sup>11</sup>

Der Kapitalaufwand für ländliche Versorgungsstrukturen ist zu 81 % dem Hauptprozess Wassernetze zuzuordnen.<sup>12</sup> Eine Umrechnung auf Gesamtunternehmensebene verteilt demnach die Kosten zu 25 % auf den Netzbetrieb und zu 5 % auf die Wasserproduktion. Die Angaben eines städtischen Wasserversorgers sind aus der Literatur nicht ableitbar. Daher kann diese Position mangels Validierung für die vorliegende Untersuchung nicht abschließend beziffert werden.<sup>13</sup>

Auch wird der Kapitalaufwand der Wasserproduktion auf die Wasserwirtschaft, Wassergewinnung und die Wasseraufbereitung verteilt. Diese Einteilung erfolgt analog zum Betriebsaufwand nach Art der Ressource Grundwasser bzw. Oberflächenwasser. Nach Umrechnung der Daten ergeben sich im Bereich der Wasserwirtschaft 0,4 % und 0,2 %, in der Wassergewinnung 2,1 % und 1,2 % und in der Wasseraufbereitung 2,3 % und 3,4 %.<sup>14</sup>

In der Literatur wird des Öfteren darauf hingewiesen, dass rd. 50 % der Kosten eines Wasserversorgers dem Netzbetrieb zugerechnet werden können.<sup>15</sup> Es wird ersichtlich, dass die hier getätigte Herleitung als plausibel angesehen werden kann, da die Kosten im Netzbetrieb sich auf 46 % addieren lassen (Betriebsaufwand 21 %, Kapitalaufwand 25 %), wodurch der Modell-Wasserversorger für die weitere Untersuchung herangezogen werden kann.

Im Ergebnis können durch die beschriebene Herleitung der Kostenstrukturen zwischen den jeweiligen Hauptprozessen und der Gesamtunternehmenssicht im Zuge der Kostenprojektion nun Aussagen zu den prozentualen Mehraufwendungen für den Betriebs- und Kapitalaufwand getätigt werden. Die jeweiligen prozentualen Angaben zu Hauptprozessen in Relation zum Gesamtunternehmen werden genutzt, um die Auswirkung der Kostensteigerungen auf Gesamtunternehmensebene auszuweisen. Aus Abbildung 4 lässt sich bspw. ablesen, dass eine Zunahme des Betriebsaufwandes in der Wasserwirtschaft um 50 % eine Zunahme aus Gesamtunternehmenssicht um 1,5 % bedeutet ( $0,5 * 3 \%$ ).

---

<sup>9</sup> Vgl. FN 8. Die Prozentzahl wird nach Umrechnung auf Gesamtunternehmensebene ersichtlich.

<sup>10</sup> Vgl. FN 9.

<sup>11</sup> Vgl. IWW – Benchmarking (2011).

<sup>12</sup> Vgl. Mutschmann J., Stimmelmayer F. (2013).

<sup>13</sup> Vgl. Lauruschkus, F., Rehberg, J. (2011).

<sup>14</sup> Vgl. FN 11.

<sup>15</sup> Vgl. statt vieler: DVGW (1999).

## 2.4. *dynaklim*-Szenarien und Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung

Die *dynaklim*-Szenarien beinhalten neben den regionalen Klimaentwicklungen auch eine Prognose der sozioökonomischen Konstellationen.<sup>16</sup> Dabei sind mehrere Szenarien gewählt worden, um bewusst die Bandbreite von Unsicherheiten aufzuzeigen, die bei Prognosen entstehen können. Dafür ist ein moderates Szenario gewählt worden, eine sogenannte Trendprognose, aber auch optimistische und pessimistische Szenarien, um eine Entscheidungs- und Abwägungshilfe für die Emscher-Lippe-Region zu visualisieren. Die für die Wasserversorgung relevanten Szenarien sind: „Trendszenario moderater Wandel“ und das „Szenario heiß und unerträglich“. Die Gefährdungen, die sich für die Wasserversorgung ergeben können, sind für diese Untersuchung erarbeitet worden.

Das Trendszenario basiert auf der Annahme einer Kombination des klimawandelbedingten und des sozioökonomischen Trends. Demnach wird klimawandelbedingt einerseits ein Temperaturanstieg von ca. einem Grad prognostiziert. Gleichzeitig soll es durchschnittlich sechs Sommertage und eine Tropennacht mehr geben, wohingegen die Frostzeiten sich um 19 Tage verringern. Die Trockenperioden von mehr als 21 Tagen werden sich verdoppeln, die Zahl der Trockentage und der kurzen Trockenperioden bleibt hingegen konstant. Dennoch werden die Jahresniederschläge geringfügig ansteigen (+ 4 %), was in erster Linie auf die erwartete Zunahme an Starkregenereignissen zurückzuführen ist.<sup>17</sup>

Der sozioökonomische Trend wird andererseits eine Abnahme der spezifischen Einwohnerzahl um 3 % bewirken. Gleichzeitig steigt die Effizienz der Wassernutzung in der Energieerzeugung und dem produzierenden Gewerbe um beachtliche 29 %. Aufgrund der schrumpfenden Bevölkerungszahl (-7,8 %), der damit einhergehenden Schrumpfung der Beschäftigtenzahl, dem sektoralen Wandel und zusätzlicher Effizienzeinsparungen wird sich der durchschnittliche Wasserbedarf in der *dynaklim*-Region unter Berücksichtigung der klimatischen Veränderungen bis zum Jahr 2030 um 14 % verringern. Die Bandbreite der Wassernutzung wird jedoch steigen, weshalb eine Kapazitätsrücknahme nicht in Betracht gezogen werden kann.<sup>18</sup>

Für die vorliegende Untersuchung müssen die Gefährdungen, die aus diesem *dynaklim*-Szenario für die Trinkwasserversorgung ausgehen, analysiert werden.<sup>19</sup> Folgende grundlegende Gefährdungen können sich aus dem moderaten Wandel für die Trinkwasserversorgung in der Emscher-Lippe-Region ergeben:

- Erhöhung des Eintrags von Nährstoffen und Chemikalien,
- Schädigung der Brunnenstube,
- Schüttungsminderung und Trockenfallen von Quellfassungen,
- Kapazitätsengpässe,
- Veränderung des Trinkwasserbedarfs,
- Überflutung der Aufbereitungsanlagen,
- Erhöhung der Konzentration von Nährstoffen,
- Erhöhung der Konzentration von Spuren- und Schadstoffen,
- Erhöhung der Trübung,
- Massenvermehrung von Algen und Ähnlichem, Veränderung der Wasserflora, Algentoxinbildung,
- Spitzenentnahme im Sommer,
- größere Schwankungsbreite der Rohwasserparameter,

---

<sup>16</sup> In *dynaklim* sind regionale Szenarien entwickelt worden, um unterschiedliche wasserwirtschaftliche Bereiche, aber auch Politik, Planung und Verwaltung, Wirtschaft, Finanzierung und Kosten im Kontext der Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels abbilden zu können. Vgl. Quirnbach, M., Freistühler, E., Kersting, M., Wienert, B. (2013).

<sup>17</sup> Vgl. FN 16.

<sup>18</sup> Vgl. FN 16.

<sup>19</sup> Die Erarbeitung fand in mehreren Arbeitssitzungen statt.

- Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit (Konzentrationsanstieg verschiedener Stoffe,...),
- Stagnation, Gefährdung der Aufkeimung, verstärkte Sedimentation; Mobilisierung von Sedimenten und Biofilmen.

Das „Szenario: Die Emscher-Lippe-Region ist heiß und unerträglich“ ist durch eine lange, heiße Zeit von Frühjahr bis Sommer und Schwierigkeiten im Strukturwandel gekennzeichnet. Demnach werden trockene Winter und Frühlinge mit 40 mm Niederschlag (NS) erwartet und die Temperaturen sind bereits im Frühling sommerlich. Die Temperaturen im Mai erreichen häufig über 25 Grad, streckenweise auch über 30 Grad. Ende Mai werden es sogar über 40 Grad. Im Mai, Juni und Juli sind durchschnittlich 27 mm NS pro Monat anzunehmen. Erst im August ändert sich das Wetter schlagartig. Es regnet ergiebig und die Temperaturen fallen deutlich ab.

Der sozio-ökonomische Trend wird eine Abnahme des spezifischen Einwohners um 11,5 % bewirken. Der spezifische Wasserverbrauch je Einwohner wird analog zum Trendszenario angenommen. Analog zum Trendszenario steigt auch die die Effizienz der Wassernutzung in der Energieerzeugung und dem produzierenden Gewerbe. Die Spitzenlast wird deutlich höher liegen, so dass die gegenwärtige Spitzenlastkapazität auch weiterhin aufrechterhalten werden muss. Folgende Gefährdungen, die sich aus dem „Szenario heiß und unerträglich“ für die Emscher-Lippe-Region ergeben können, sind für die vorliegende Untersuchung erarbeitet worden:

- Erhöhung des Eintrags von Nährstoffen und Chemikalien,
- Versalzung,
- lokale und temporäre Wassermangelsituation,
- Zunehmende Schwankung von Flurabständen und Fördermengen,
- Zunehmende Verockerungen/Versinterungen, Abnahme der Leistungsfähigkeit von Brunnen,
- Kapazitätsengpässe,
- Veränderung des Trinkwasserbedarfs,
- Überflutung der Aufbereitungsanlagen,
- Erhöhung der Konzentration von Nährstoffen,
- Erhöhung der Konzentration von Spuren- und Schadstoffen,
- Größere Schwankungsbreite der Rohwasserparameter,
- Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit,
- erhöhter Spitzenlastfaktor,
- Überflutung der Verteilungsanlagen.

## 2.5. Weitere Randbedingungen

Um die Auswirkungen des Klimawandels zu monetarisieren, muss für die vorliegende Betrachtung angenommen werden, dass die existierende Trinkwasserversorgung keine sonstigen Defizite aufweist. Das bedeutet, dass Maßnahmen, die ohnehin und unabhängig von den beschriebenen Gefährdungen durchgeführt werden, nicht in die Kostenprojektion für erforderliche Anpassungsmaßnahmen einfließen. Das beinhaltet bspw. einen Ausschluss von möglichen Kostensenkungen durch verbesserte Bauverfahren oder von Synergiepotenzialen beim Zusammenlegen technischer Neuerungen. In diesem Zusammenhang kann auch strategisches Verhalten im Sinne proaktiver versus reaktive Anpassung nicht untersucht werden.

Des Weiteren können Größenstrukturen und Skaleneffekte von Wasserversorgern nicht berücksichtigt werden, da ein durchschnittliches Unternehmen angenommen wird. Um diese Effekte in eine mögliche Betrachtung einfließen zu lassen, müssten entsprechende Modellerweiterungen mit unterschiedlichen Größenstrukturen getätigt werden.

Da die Kostenermittlung auf durchschnittlichen Kostenschätzungen beruht, werden sowohl für die Ermittlung der Betriebs- als auch der Kapitalkosten Spannbreiten in €/m<sup>3</sup> angenommen. Wird darüber hinaus im weiteren Verlauf der Analyse ersichtlich, dass eine Schätzung mit großer Unsicherheit behaftet ist, wird die Kostenprojektion mit k. A. (= keine Angabe) kenntlich gemacht.

Entsprechend den *dynaklim*-Szenarien, wird der zeitliche Horizont für die Kostenprojektion angelegt. Das bedeutet, dass die sogenannte Nahe Zukunft (2021 – 2050) gewählt wird und für die sozioökonomischen Trends eine Analyse bis zum Jahr 2030 vorliegt.

Nachstehende Abbildung fasst das Vorgehen der Kostenprojektion in sechs Schritten zusammen.

Kostenprojektion - Arbeitsschritte	Wo erläutert?
1. Hauptprozesse der Trinkwasserversorgung strukturieren (Wasserwirtschaft, Wassergewinnung, Wasseraufbereitung, Wassemetze, ...)	Abb.1 Technische Hauptprozesse
2. Typisierung der Versorgungsleistung (für <i>dynaklim</i> -Region, für weitere WVU)	Abb. 3 Typisierte Wasser- ersorgungsunternehmen
3. Modell-Wasserversorger (Ist-Kostenstrukturen der Versorgungsleistung für Betriebs- und Kapitalaufwand)	Abb. 4 Modell-Wasserversorger
4. <i>dynaklim</i> -Szenarien: Gefahren für Trinkwasserversorgung	Absatz 2.4 <i>dynaklim</i> -Szenarien
5. Anpassungsmaßnahmen u. damit verbundene Kosten ableiten (für Betriebs- und Kapitalaufwand in €/m <sup>3</sup> )	Kapitel 3 Durchführung der Kostenprojektion
6. Typisierung der Versorgungsleistung zusammenstellen (Bspw. städtisch geprägte Versorgungsstruktur mit Grundwasserförderung unter Annahme eines Trendszenarios oder bspw. ländlich geprägte Versorgungsstruktur mit Oberflächenwasser unter Annahme eines Szenarios „heiß und unerträglich“)	Absatz 3.3 Anpassungskosten

Abbildung 5: Vorgehensweise bei der Kostenprojektion, eigene Darstellung

### 3. Durchführung der Kostenprojektion

Es werden für die Kostenprojektion nun die bisherigen Teilergebnisse aus Kapitel 2 zusammengeführt. Das bedeutet, dass in einem nächsten Schritt mögliche Anpassungsmaßnahmen an die vorgestellten Gefährdungen aus den beiden Szenarien erarbeitet werden. Dabei wird der vorgestellten Typisierung aus Kapitel 2.2 gefolgt und eine Unterscheidung nach Art der Ressource und des Versorgungsgebietes vorgenommen. Hierbei ist zu beachten, dass die Anpassungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der individuellen Situation und den lokalen Gegebenheiten unterschiedlich ausfallen können und nicht jede hier dargestellte Anpassungsmaßnahme bei jedem Wasserversorger in gleichem Maße sinnvoll ist. Darüber hinaus erheben die hier dargestellten Gefährdungen nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.<sup>20</sup> Um eine unternehmensspezifische Anpassungsstrategie zu entwickeln, ist eine individuelle Betrachtung der vorhandenen Gefährdungen nötig um daraus sinnvolle Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln. Dies ist z. B. im Rahmen eines Technischen Risikomanagements (TRIM®) möglich.<sup>21</sup> Für die in diesem Bericht dargestellten Anpassungsmaßnahmen wird in einem nächsten Schritt die resultierende, erwartete Veränderung des Betriebs- und Kapitalaufwandes erarbeitet. Falls für diese Spannbreiten Angaben aus dem *dynaklim*-Projekt vorliegen, werden sie genutzt, andernfalls wird auf Literaturangaben und Expertenannahmen zurückgegriffen. Für die Kostenprojektion auf Gesamtunternehmensebene bilden die Ergebnisse aus Absatz 2.3 die Grundlage. Die jeweiligen prozentualen Angaben der Hauptprozesse werden genutzt, um eine Auswirkung der Kostensteigerungen auf Gesamtunternehmensebene ausweisen zu können. In den folgenden Kapiteln wird auf die Ergebnisse der Anwendung des Trendszenarios auf die einzelnen Hauptprozessstufen eingegangen.

#### 3.1. Wasserwirtschaft

Bei der Nutzung von Grundwasser für die Trinkwassergewinnung kann im Bereich der Wasserwirtschaft auf die Gefährdung „Erhöhung des Eintrags von Nährstoffen und Chemikalien (z. B. Nitrat, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PBSM), zunehmende Versalzung)“ mit folgenden Anpassungsmaßnahmen reagiert werden:

- Anpassung des Arten- und Sortenspektrums, Änderung der Fruchtfolge (Auswahl unempfindlicher Sorten, ggf. höhere Kosten für Saatgut, geringere Erträge gegenüber Standardsorten bei Normalwitterungsperioden, Ertragsverbesserung bei Extremwitterung),
- zusätzliche Bewässerung, Beregnungsverband (Brunnenbau einschließlich wasserrechtliche Genehmigung),
- angepasstes Düngemittelmanagement (häufigere Entnahme von Boden-/Pflanzenproben und Analyse zur Abstimmung der erforderlichen Menge und Art der Düngung),
- Landwirtschaftliche Beratung,
- Optimierte Humusmanagement (ausreichender Humusanteil für die Gewährleistung und Aufrechterhaltung der Fruchtbarkeit von landwirtschaftlich genutzten Böden),
- Flächenkauf und anschließende Flächenextensivierung.

---

<sup>20</sup> Für weiterführende Informationen: Staben, N., Nahrstedt, A.: Technologielösungen für eine anpassungsfähige Trinkwassergewinnung und -aufbereitung, *dynaklim*-Publikation, i.E., 2014.

<sup>21</sup> Vgl. Mälzer A., Bräcker, J., Hein, A. (2013).

Die möglichen Anpassungsmaßnahmen reichen von landwirtschaftlichen Kooperationen bis hin zu Lösungen im Sinne eines Beregnungsverbandes<sup>22</sup> wie sie außerhalb des *dynaklim*-Gebietes bereits realisiert worden sind.<sup>23</sup> Bei den aufgeführten Maßnahmen ist festzulegen, wer die damit verbundenen Kosten tragen kann. Optional könnte davon ausgegangen werden, dass die Mehrkosten z. B. im Rahmen von Kooperationsvereinbarungen mit der Landwirtschaft von Wasserversorgungsunternehmen mitgetragen werden. Die Übernahme von Beregnungskosten für einen durchschnittlichen Wasserversorger lassen sich auf 750.000 €/p.a. mit einem unterstellten Beregnungspreis von durchschnittlich 2,25 €/m<sup>3</sup> Trinkwasser schätzen.<sup>24</sup> Dies würde eine Verdopplung der durchschnittlich laufenden Kosten in der Wasserwirtschaft zur Folge haben. Ist die genannte Gefährdung einer Grundwasserverunreinigung durch die genannten Einträge nicht gegeben, wird keine der genannten Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Aus diesem Grund muss bei der Steigerung des Betriebsaufwandes in der Wasserwirtschaft eine Spannbreite von 0-200 % angenommen werden.<sup>25</sup>

Anpassungsmaßnahmen gegen die Gefährdung „Verminderte Entnahme“ werden nicht im Hauptprozess der Wasserwirtschaft angesiedelt, sondern sind in der Wassergewinnung (Grundwasserbewirtschaftung) sowie im Netzbereich durch Speicherung und Verbund vorzunehmen (vgl. Tabelle 1). Im Ergebnis können daher Kostensteigerungen in Höhe von 0-3 % auf Gesamtunternehmensebene angenommen werden.

Tabelle 1: Kostenprojektion Wasserwirtschaft - Grundwasser

Sz1	Sz2	Gefährdungen	Anpassungsmaßnahmen	Betriebsaufwand	Kapitalaufwand
X	X	Erhöhung des Eintrags von Nährstoffen, Chemikalien (z. B. Nitrat, P/BSM, zunehmende Versalzung)	Arten und Sortenspektrum; Fruchtfolge; Bewässerung; angepasstes Düngemittelmanagement; landwirtschaftliche Beratung; optimiertes Humusmanagement; Flächenextensivierung; Flächenkauf und anschließende Extensivierung oder Entnahme der Nutzung; Beregnungsverband	200 %	-
	X	Lokale und temporäre Wassermangelsituation (z. B. in andauernden Hitzeperioden)	Monitoring, ggf. Bau von Messstellen; flexible Bewirtschaftungskonzepte	-	-
	X	Minderung der Grundwasserneubildung (langfristig)	Erweiterung des Wassereinzugs-/schutzgebietes; Verbundlösungen	-	-
X	X	Vernässung des Untergrundes durch ansteigendes Grundwasser mit möglicher Folge Bauwerksschäden	Konsequenzen für die WG	WG	WG
<b>Wasserwirtschaft Summe</b>				<b>0 - 200%</b>	<b>0%</b>

<sup>22</sup> Zusätzliche Bewässerung auch in der Form eines Beregnungsverbandes verhindert einerseits das Vertrocknen von Kulturen und deren Auswaschung und kann auch zur Ertragssicherung einen erhöhten Stoffeintrag reduzieren. Allerdings ist auch ein beregnungsinduzierter Stoffeintrag möglich, wenn über Bedarf beregnet wird oder das beregnete Grundwasser bereits über einen hohen Nitratgehalt verfügt und es damit zu einer zusätzlichen Düngung kommen kann.

<sup>23</sup> Vgl. Berthold, G. (2009).

<sup>24</sup> Vgl. Fohrmann, R. (2013).

<sup>25</sup> Nebenrechnung: Unter Hinzunahme von Angaben zu Betriebsaufwendungen in der Wasserwirtschaft (vgl. IWW-Benchmarking (2011)) ergibt sich eine durchschnittliche Steigerung von 200 % pro Wasserversorgungsunternehmen.

Im Bereich der Oberflächengewässer können in der Wasserwirtschaft in Folge der möglichen Klimawandeländerungen z. B. folgende Gefährdungen entstehen:

- (Temporäre) Erhöhung der Konzentration von Nährstoffen (z. B. Nitrat, Phosphat),
- (Temporäre) Erhöhung der Konzentration von Spuren- und Schadstoffen,
- (Temporäre) Erhöhung der Trübung,
- (Temporäre) Massenvermehrung von Algen u. Ä., Veränderung der Wasserflora, Algentoxinbildung,
- Niedrigwasserführung mit Wasserknappheit durch Spitzenentnahme im Sommer.

Tabelle 2: Kostenprojektion Wasserwirtschaft - Oberflächenwasser

Sz1	Sz2	Gefährdungen	Anpassungsmaßnahmen	Betriebsaufwand	Kapitalaufwand
X	X	(Temporäre) Erhöhung der Konzentration von Nährstoffen (z. B. Nitrat, Phosphat)	Mindestwasserführung erhöhen, um höhere Verdünnung zu erreichen; kein zusätzliches Monitoring nötig; angepasstes Düngemanagement zur Verminderung diffuser Einträge im Einzugsgebiet	k. A.	k. A.
X	X	(Temporäre) Erhöhung der Konzentration von Spurenstoffen, Schadstoffen	Mindestwasserführung erhöhen, um höhere Verdünnung zu erreichen; Maßnahmen bei direkten und indirekten Einleitern; zusätzliches Monitoring	k. A.	k. A.
X		(Temporäre) Erhöhung der Trübung	Flussgebietsumfassend: Extensivierung stark erosionsgefährdeter Flächen, hangparalleles Pflügen, Schutzbegrünung brachliegender Flächen	k. A.	k. A.
X		(Temporäre) Massenvermehrung von Algen u. Ä., Veränderung der Wasserflora, Algentoxinbildung	Stehende Gewässer/See: Künstliche Sauerstoffanreicherung in betroffenen Gewässern; Mechanische Ernte von Algen; Verringerung des Nährstoffeintrages; keine Verwendung zur Trinkwasserversorgung (bei bestehender Alternative); Fließgewässer: Verringerung des Nährstoffeintrages; Dynamisierung von Stautufen/Turbulenzen erzeugen; Rückbau Stautufen, Einsatz von Mähbooten	> 1 %	-
X		Lokale und temporäre Wassermangelsituation (z. B. in andauernden Hitzeperioden)	Bewirtschaftungskonzepte; Erschließung alternativer Rohwasserressourcen für einzelne Nutzer; Nutzung von Porenspeicherung/Grundwasseranreicherung in Zeiten ohne Wassermangel	o.B.	o.B.
<b>Wasserwirtschaft Summe</b>				<b>&gt; 1 %</b>	<b>k. A.</b>

Anpassungsmaßnahmen an sich verändernde Wasserqualitäten im Vorfluter lassen sich nicht mit Kosten für die Wasserversorger belegen, da eine Reaktion hierauf nicht im Einflussbereich des Wasserversorgers liegt, sondern eine Verbesserung der Wasserqualität eine Gemeinschaftsaufgabe darstellt (vgl. Tabelle 2). Eine kostensteigernde Wirkung kann aus diesem Grund in vergleichsweise kleinem Umfang in Höhe von < 1 % erwartet werden. Für die Gefährdungen „Lokale und temporäre

Wassermangelsituation (z. B. in andauernden Hitzeperioden)“ wird angenommen, dass zukunftssichere Konzepte an der Ruhr bereits durch andere Intuitionen umgesetzt wurden, so dass keine zusätzlichen Kosten für ein Wasserversorgungsunternehmen entstehen werden.<sup>26</sup> Im Ergebnis wird aus Sicht der Gesamtaufwendungen eine Zunahme von 0,03 % pro €/m<sup>3</sup> durch erhöhte Betriebsaufwendungen in der Wasserwirtschaft angenommen.

### 3.2. Wassergewinnung

Für den Hauptprozess der Wassergewinnung aus Grundwasser können u. a. folgende Gefährdungen aus den zu erwartenden Klimawandelfolgen entstehen:

- Schädigung der Brunnenstube (da Überflutungsschäden nicht ausschließbar),
- Schüttungsminderung oder Trockenfallen von Quelfassungen,
- Kapazitätsengpässe durch (temporäre) Grundwasserabsenkungen, Schüttungsrückgang Quellen (ggf. kombiniert mit Spitzenentnahme).

Anpassungsmaßnahmen, die ergriffen werden können, sind die technische Sicherung der bestehenden Infrastruktur gegen aufsteigendes Grundwasser z. B. durch Schutzmauern und Lenzpumpen, der Aus- oder Neubau neuer Brunnen/Gewinnungsanlagen sowie Speicheranlagen und die Schaffung bzw. der Ausbau von Verbundlösungen. Für die technische Sicherung wird eine Erhöhung des Betriebsaufwandes in der Gewinnung um 5 % angenommen. Die Kostenschätzung der Anpassungsmaßnahme „Brunnenbau“ ist vor dem Hintergrund, dass eine Vielzahl von Faktoren (wie Tiefe, Größe, geologische Bedingungen, Transportleitungen, usw.) die Investitionskosten beeinflussen, sehr unsicher und wird daher hier nicht durchgeführt. Der Gefährdung „Kapazitätsengpässe“ kann bspw. durch Speicherung und Verbundlösungen entgegengewirkt werden, die hier im Netzbereich angesiedelt werden (vgl. Tabelle 3). Im Ergebnis ergibt sich eine Steigerung des Betriebsaufwandes in der Gewinnung um 5 %, welche auf der Gesamtunternehmensebene eine Steigerung von 0,35 % zur Folge hat.

Tabelle 3: Kostenprojektion Wassergewinnung – Grundwasser

Sz1	Sz2	Gefährdungen	Anpassungsmaßnahmen	Betriebsaufwand	Kapitalaufwand
	X	Zunehmende Schwankung von Flurabständen und Fördermengen	Grundwasserbewirtschaftung	-	-
	X	Zunehmende Verockerungen und Versinterungen / Abnahme der Leistungsfähigkeit	Häufigere Regenerierung der Brunnen; Brunnenmanagement	-	-
X		Schädigung der Brunnenstube	Technische Sicherung (Schutzmauern, Lenzpumpen, etc.)	5 %	-
X	X	Kapazitätsengpässe	Speicherung, Verbund Erschließung weiterer Rohwasserressourcen	0 %	0 %
<b>Wassergewinnung Summe</b>				<b>5 %</b>	<b>0 %</b>

<sup>26</sup> Für das Ruhrtalesperrensystem ist infolge trockenerer Sommer aufgezeigt worden, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit dieses Systems hinsichtlich der Unterschreitung eines Mindeststauinhalts und damit der Sicherstellung der überregionalen Wasserversorgung sich bis zum Jahr 2100 deutlich erhöhen wird. Eine Betriebssicherheit kann durch eine Verringerung der Mindestabflüsse oder durch die Bereitstellung zusätzlicher Speichervolumina gewährleistet werden. Für die Hochwasserschutzwirkung des bestehenden Talesperrensystems kann von einer unveränderten Situation ausgegangen werden. Vgl. Morgenschweis et al. (2007); MUNLV (2011).

Für die Wassergewinnung aus Oberflächenwasser ergeben sich u. a. folgende Gefährdungen:

- Schädigung von Infiltrations- und Gewinnungsanlagen durch Hochwasser,
- Verschlechterung der Rohwasserqualität in Folge eines Durchbruches von Oberflächenwasser.

Maßnahmen, die für die Gefährdung „Schädigung von Infiltrations- und Gewinnungsanlagen durch Hochwasser“ ergriffen werden können, sind die technische Sicherung (Schutzmauern, Lenzpumpen, etc.), der Hochwasserschutz von Infiltrations- und Gewinnungsanlagen (Spundwände und Deiche) sowie die zeitweise Abschaltung von betroffenen Brunnen. Für die Kostenschätzung der Anpassungsmaßnahmen an Hochwasser werden die vermiedenen Schadenskosten herangezogen, die aus den Hochwasseraktionsplänen in Form von Schadenserwartungswerten aus vorhandenen Schadensfunktionen für die Energie- und Wasserversorgung ausgewiesen werden.<sup>27</sup> Dafür wird eine Abschätzung der klimawandelbedingten Änderungen der Jährlichkeiten und damit der Schadenswerte vorgenommen.<sup>28</sup> Für die vorliegende Untersuchung sind die Unterschiede der Schadensfunktionen in den Flusseinzugsgebieten (Emscher, Diemel, Lippe, Twiste und Ruhr) untersucht worden. Im Durchschnitt kann eine Veränderung des Schadenspotentials bis zu 11 % angesetzt werden, wenn eine Verschiebung der Jährlichkeiten um 1 bis 2 Klassen angenommen wird. Da die klimawandelbedingte Veränderung der Jährlichkeiten mit Unsicherheit behaftet ist, wird eine Spannweite von 0 - 11 % angenommen (vgl. Tabelle 4).

Anpassungsmaßnahmen an die Gefährdung „Verschlechterung der Rohwasserqualität in Folge eines Durchbruches von Oberflächenwasser“ werden in der Regel Bereich der Wasseraufbereitung vorgenommen, so dass für diese Gefährdungen keine Kostenschätzung in der Gewinnung getätigt wird. Im Ergebnis ergibt sich eine Steigerung des Kapitalaufwandes in der Gewinnung um 0 - 11 %, die einen Effekt auf der Gesamtunternehmensebenen von 0,13 % pro €/m<sup>3</sup> zur Folge hätte.

Tabelle 4: Kostenprojektion Wassergewinnung – Oberflächenwasser

Sz1	Sz2	Gefährdung	Anpassungsmaßnahmen	Betriebsaufwand	Kapitalaufwand
X	X	Schädigung von Infiltrations- und Gewinnungsanlagen durch Hochwasser	Technische Sicherung (Schutzmauern, Lenzpumpen, usw.); Hochwasserschutz von Infiltrations- und Gewinnungsanlagen (Spundwände und Deiche); Zeitweise Abschaltung von betroffenen Brunnen	-	0-11 %
X	X	Verschlechterung der Rohwasserqualität in Folge eines Durchbruches von Oberflächenwasser	Konsequenzen für die WA	WA	WA
<b>Wassergewinnung Summe</b>				<b>0%</b>	<b>0 - 11 %</b>

<sup>27</sup> Vgl. Staatliches Umweltamt Duisburg (2003).

<sup>28</sup> Vgl. Kersting, M., Werbeck, N. (2012).

### 3.2. Wasseraufbereitung

Im Bereich der Wasseraufbereitung aus Grundwasser kann u. a. mit folgenden Gefährdungen gerechnet werden:

- Kapazitätsengpässe,
- Überflutung der Aufbereitungsanlagen durch Oberflächen-/ Flusswasser.

Anpassungsmaßnahmen, die bei Kapazitätsengpässen bedingt durch veränderte Wasserbedarfe ergriffen werden können, sind bspw. die Vorhaltung von Spitzenlastkapazitäten in Kombination von Speichervolumen und Fremdwasserbezug, Veränderung der Planungsgrundlagen sowie die Optimierung bestehender Verfahrensstufen. Für die *dynaklim*-Region wird eine Abnahme des Wassergebrauchs von durchschnittlich 14 % ermittelt.<sup>29</sup> Wie bereits in Kapitel 2.4 beschrieben, kann jedoch ein Kapazitätsrückbau nicht ohne weiteres in Betracht gezogen werden, so dass die Wasserproduktionskosten als konstant angesehen werden müssen und sich dadurch ein Erlösrückgang um 16 % durch den verminderten Absatz von Trinkwasser für ein durchschnittliches Wasserversorgungsunternehmen in der *dynaklim*-Region ergeben würde.<sup>30</sup> Um die Veränderungen für den Betriebs- und Kapitalaufwand zu beziffern werden die prozentualen Anteile von 70 % des Betriebsaufwandes und 30 % des Kapitalaufwandes am Gesamtunternehmensaufwand angenommen, so dass sich 5 % zusätzliche Kapitalkosten und 11 % zusätzliche Betriebskosten (in der Summe 16 %) für die Wasseraufbereitung schätzen lassen.

Bei der Kostenschätzung für die Anpassung an die Gefährdung „Hochwasserschutz von Aufbereitungsanlagen“ wird von einer Zunahme von relevanten Hochwasserereignissen und damit von erhöhten Schadenspotenzialen ausgegangen. Zur Berechnung der Anpassungskosten wird analog zur Wassergewinnung Oberflächenwasser als Art der Ressource angenommen. Allerdings ist anzumerken, dass davon ausgegangen werden kann, dass diese Gefährdung bei den bestehenden Anlagen in der Emscher-Lippe-Region vernachlässigbar ist. Auf der anderen Seite sind die monetären Schäden bei einem Wasserwerk im Schadensfall gegebenenfalls höher als bei einzelnen Gewinnungsanlagen, so dass analog die Spannbreite 0 - 11 % angesetzt wird.

Im Ergebnis können Steigerungsraten in der Aufbereitung für den Betriebsaufwand in Höhe von 11 % und für den Kapitalaufwand in Höhe von 0 - 16 % ermittelt werden (vgl. Tabelle 5). Der Effekt auf Gesamtunternehmensebene beträgt somit zwischen 1,21 % und 3,64 %.

Tabelle 5: Kostenprojektion Wasseraufbereitung – Grundwasser

Sz1	Sz2	Gefährdung	Anpassungsmaßnahmen	Betriebsaufwand	Kapitalaufwand
X	X	Kapazitätsengpässe)	Vorhaltung von Spitzenlastkapazitäten in Kombination von Speichervolumen und Fremdwasserbezug; Veränderung der Planungsgrundlagen; Optimierung bestehender Verfahrensstufen	11 %	5 %
X	X	Überflutung der Aufbereitungsanlagen durch Oberflächen-/ Flusswasser	Hochwasserschutz von Aufbereitungsanlagen	-	0 - 11 %
<b>Wasseraufbereitung Summe</b>				<b>11 %</b>	<b>0 - 16 %</b>

<sup>29</sup> Vgl. FN 16.

<sup>30</sup> Nebenrechnung mit Unterstellung einer progressiven Kostenfunktion, da Nenner nur die veränderliche Größe darstellt.

Bei der Wasseraufbereitung aus Oberflächenwasser können u. a. folgende Gefährdungen auftreten:

- Kapazitätsengpässe,
- Überflutung der Aufbereitungsanlagen durch Oberflächenwasser/ Flusswasser,
- Veränderung der Wasserbeschaffenheit (Konzentrationsanstieg verschiedener Stoffe und größere Schwankungsbreite der Rohwasserparameter).

Die Kostenschätzung für Anpassungsmaßnahmen an die Gefährdung „Kapazitätsengpässe“ wird analog zur Art der Ressource Grundwasser getätigt und eine Veränderung des Betriebsaufwandes in Höhe von 11 % und des Kapitalaufwandes in Höhe 5 % angenommen. Die Gefährdung „Überflutung der Aufbereitungsanlagen“ und die Kostenschätzung der Anpassungsmaßnahme wird analog zur Wassergewinnung mit der Art der Ressource Oberflächenwasser durchgeführt, so dass sich ein Aufschlag von 0 - 11 % für den Kapitalaufwand ergeben kann.

Die Anpassungskosten an die Gefährdungen „Größere Schwankungsbreite der Rohwasserparameter“ und „Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit“ werden aus den Angaben der Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr (AWWR) ermittelt.<sup>31</sup> Die AWWR beziffert die Investitionen für Wasserwerke an der Ruhr, die notwendig sind, um zusätzliche Verfahrensstufen gegenüber unvorhersehbaren mikrobiologischen oder chemischen Verunreinigungen zu installieren auf 300 Mio. €. So fallen pro Wasserwerk 17,5 Mio. € an Investitionskosten an. Mit einer angenommenen Nutzungsdauer von 30 Jahren für Wasserwerke ergibt sich somit ein Aufschlag auf den Kapitalaufwand von bis zu 362 %.<sup>32</sup>

In der Summe kann in der Aufbereitung eine Steigerung des Betriebsaufwand in Höhe von 16 % und für den Kapitalaufwand eine Steigerung von 0 - 373 % (vgl. Tabelle 6) angenommen werden. Der Effekt auf Gesamtunternehmensebene beträgt somit zwischen 0 % und 14,76 %.

---

<sup>31</sup> Vgl. AWWR (2014).

<sup>32</sup> Die Nebenrechnung hierzu ist die Ermittlung der linearen Abschreibung in Höhe von 583.333 €/p.a. Unter Hinzunahme von Daten vorhandener Kapitaldienste (vgl. IWW - Benchmarking (2014)) ergibt sich eine durchschnittliche Steigerung von 362% pro Wasserversorgungsunternehmen.

Tabelle 6: Kostenprojektion Wasseraufbereitung – Oberflächenwasser

Sz1	Sz2	Gefährdung	Anpassungsmaßnahmen	Betriebsaufwand	Kapitalaufwand
X	X	Kapazitätsengpässe	Vorhaltung von Spitzenlastkapazitäten in Kombination von Speichervolumen und Fremdwasserbezug; Veränderung der Planungsgrundlagen; Optimierung bestehender Verfahrensstufen	11 %	5 %
X	X	Überflutung der Aufbereitungsanlagen durch Oberflächenwasser/ Flusswasser	Hochwasserschutz von Aufbereitungsanlagen	-	0 - 11 %
X	X	Veränderung der Wasserbeschaffenheit (Konzentrationsanstieg versch. Stoffe,...)  (Größere Schwankungsbreite der Rohwasserparameter)	Anpassung von Verfahrensstufen an veränderte Rohwasserqualitäten/größere Schwankungsbreiten einzelner Parameter (Optimierung, Flexibilisierung); Installation zusätzlicher Verfahrensstufen (z. B. NF, AOP); Austausch von bestehenden Verfahren gegen neue Verfahrensstufen (z. B. UV statt Chlorung); Veränderung der Planungsgrundlagen	5 %	362 %
	X	Minderung der Effektivität der Uferpassage bei der Uferfiltration und Grundwasseranreicherung in Trockenperioden	In "Veränderung der Wasserbeschaffenheit" berücksichtigt	-	-
<b>Wasseraufbereitung Summe</b>				<b>16 %</b>	<b>0 - 373 %</b>

### 3.2. Wassertransport und -speicherung (inkl. Versorgung)

Für den Hauptprozess Wassertransport und -speicherung (inkl. Versorgung) wird sowohl für städtische als auch ländliche Siedlungsräume die Gefährdung der Stagnation und der Aufkeimung mit verstärkter Sedimentation angenommen. Dabei können auch Biofilme mobilisiert werden. Anpassungsmaßnahmen an diese Gefährdung können sein:

- häufigeres Spülen von Rohrleitungen,
- Umrüstung der Wasseraufbereitung zur verbesserten Entfernung von organischem Material, welches Mikroorganismen als Nahrung dienen kann,
- Vermeidung von Rohrwerkstoffen aus organischen Material (Kunststoff) bei der Neuverlegung,
- Reduzierung der Nennweite bei Neuverlegung,
- Hydraulische Umstrukturierung des Leitungsnetzes (z. B. self cleaning networks).

Aus *dynaklim*-Forschungsergebnissen bzw. auch verfügbarer Literatur und Experteneinschätzungen sind pauschale Aussagen zu durchschnittlichen Kosten nicht vorhanden, so dass für die vorliegenden Untersuchungen zum Netzbetrieb keine Angaben zu möglichen Anpassungskosten getätigt werden können.

Tabelle 7: Kostenprojektion Wassernetze – städtisch und ländlich

Sz1	Sz2	Gefährdung	Maßnahmen	Betriebsaufwand	Kapitalaufwand
X		Stagnation u. Gefährdung der Aufkeimung + verstärkte Sedimentation; Mobilisierung von Sedimenten u. Biofilmen	Rohrleitungen häufiger Spülen, Umrüstung der Wasseraufbereitung zur verbesserten Entfernung von organischem Material, welches Mikroorganismen als Nahrung dienen kann (z. B. AOC), Vermeidung von Rohrwerkstoffen aus organischen Material (Kunststoff) bei der Neuverlegung, Reduzierung der Nennweite bei Neuverlegung, hydraulische Umstrukturierung des Leitungsnetzes (z. B. self cleaning networks)	k. A.	k. A.
	X	Erhöhter Spitzenlastfaktor	Speicherkapazität der Behälter bzw. Fördervolumen erhöhen, verbunden mit erhöhtem Energiebedarf für Förderanlagen/ Pumpen aufgrund der Einspeisung größerer Wassermengen, Kapazitätserweiterung Gewinnung und Aufbereitung, Verbundlösung für erhöhte Wasserbezüge während Trocken- und Hitzeperioden, Einschränkung für private Wassernutzer (Autowäsche, Gartenbewässerung oder Befüllung von Swimming Pools)	k. A.	k. A.
	X	Überflutung der Verteilungsanlagen	Hochwasserschutz von Verteilungsanlagen (z. B. Förderanlagen, Pumpen); zeitweise Abschaltung von z. B. Pumpwerken; Hochwasserfeste Ausrüstung (z. B. Pumpwerke mit Unterwassermotorpumpen bzw. gesamte elektrische Anlagen wasserfest); Hochwasserfeste Regelungs- und Fernwirktechnik (Überwachung, Steuerung von Armaturen)	k. A.	k. A.
<b>Wassernetze Summe</b>				<b>k. A.</b>	<b>k. A.</b>

### 3.3. Anpassungskosten für die Emscher-Lippe-Region

#### Ressource: Grundwasser

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kostenprojektion für das Trendszenario zusammengefasst. Für die Wasserproduktion mit der verwendeten Ressource Grundwasser kann als anpassungsbedingte Kostensteigerung eine Spannweite von ca. 1,2 % bis 3,6 % ermittelt werden (Abbildung 6). In diesem Projektionsergebnis der anpassungsbedingten Kostensteigerungen sind die Hochrechnungen der Gefährdungen

- Erhöhung des Eintrags von Nährstoffen und Chemikalien,
- Schädigung der Brunnenstube,
- Veränderung des Trinkwasserbedarfs und
- Überflutung der Aufbereitungsanlagen durch Oberflächen-/ Flusswasser

eingeflossen.

Trinkwasserversorgung		Mögliche Anpassungsmaßnahmen an Sz1 Moderater Wandel	Kostenveränderung		Erwartete Erhöhung Gesamtaufwand
technische Aufgaben	Wasserproduktion		Betriebsaufwand	Kapitalaufwand	
			WW	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arten und Sortenspektrum</li> <li>• Bewässerung, optimiertes Humusmanagement, Flächenkauf,</li> <li>• Beregnungsverband („große Lösung“)</li> </ul>	ca. 0 - 200 %
	WG	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technische Sicherung (Schutzmauern, Lenzpumpen etc.)</li> <li>• Bau zusätzlicher Brunnen</li> <li>• Erhöhung Speicherkapazität, Ausbau Verbund</li> </ul>	ca. 0 - 5 %	ca. 0 % - k. A.	<b>Ca. 1,2 % bis 3,6 %</b>
	WA	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhaltung von Spitzenlast in Kombination von Speichervolumen und Fremdwasserbezug</li> <li>• Hochwasserschutz von Aufbereitungsanlagen, zeitweise Abschaltung von Uferfiltrationsbecken</li> <li>• Optimierung bestehender Verfahrensstufen</li> </ul>	ca. 11 - 27 %	ca. 0 - 16 %	
	Wassernetze	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrleitungen häufiger spülen</li> <li>• Umrüstung WA (Verminderung Mikrobiologie)</li> <li>• Vermeidung von Rohwerkstoffen aus organ. Material</li> <li>• Reduzierung Nennweite bei Neuverlegung</li> <li>• Speicherkapazität erhöhen (erhöhter Energiebedarf)</li> <li>• Sprinkler-Plan aussprechen</li> <li>• Hochwasserschutz von Verteilungsanlagen und Fernwirktechnik</li> </ul>	Derzeit nicht bezifferbar		

Abbildung 6: Kostenprojektion die Trinkwasserversorgung mit der verwendeten Ressource Grundwasser

Es sei zusammenfassend an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl der Gefährdungen nicht beziffert werden konnte, da zu große Unsicherheiten in standardisierten Schätzungen vorhanden sind. Das Ergebnis ist daher nur ein erster Orientierungswert.

Ressource: Oberflächenwasser

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kostenprojektion aus dem Trendszenario für die Ressource Oberflächenwasser zusammengefasst. Die Kosten der Wasserproduktion können durch Anpassungsmaßnahmen eine Spannweite von ca. 0,03 % bis 14,9 % erreichen (Abbildung 7). In diesem Kostenprojektionsergebnis sind Hochrechnungen der Gefährdungen:

- Erhöhung der Konzentration von Nährstoffen,
- Erhöhung der Konzentration von Spurenstoffen und Schadstoffen,
- Erhöhung der Trübung,
- Massenvermehrung von Algen u. Ä. , Veränderung der Wasserflora, Algentoxinbildung,
- Schädigung von Infiltrations- und Gewinnungsanlagen durch Hochwasser,
- Veränderung des Trinkwasserbedarfs,
- größere Schwankungsbreite der Rohwasserparameter,
- Überflutung der Aufbereitungsanlagen durch Oberflächenwasser/ Flusswasser und
- Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit (Konzentrationsanstieg versch. Stoffe,...)

eingeflossen.

Trinkwasserversorgung	Mögliche Anpassungsmaßnahmen an Sz1 Moderater Wandel	Kostenveränderung		Erwartete Erhöhung Gesamtaufwand
		Betriebsaufwand	Kapitalaufwand	
technische Aufgaben Wasserproduktion Wassernetze	<b>Ausgewählte Beispiele (Stichworte):</b> • Mindestwasserführung erhöhen, um höhere Verdünnung zu erreichen • Düngemanagement (Vermind. diffuser Einträge) • Flussgebietsumfassend: Extensivierung stark erosionsgefährdeter Flächen, hangparalleles Pflügen, Schutzbegrünung brachliegender Flächen	> 1 % - k. A.	k. A.	<b>Ca. 0,03 % bis 14,9 %</b>
	<b>Ausgewählte Beispiele (Stichworte):</b> • techn. Sicherung (Schutzmauern, Lenzpumpen usw.) • Hochwasserschutz von Infiltrations- u. Gewinnungsanlagen • zeitweise Abschaltung von Brunnen	ca. 0 %	ca. 0-11 %	
	<b>Ausgewählte Beispiele (Stichworte):</b> • Vorhaltung von Spitzenlast in Kombination von Speichervolumen und Fremdwasserbezug • Anpassung von Verfahrensstufen an veränderte Rohwasserqualitäten/größere Schwankungsbreiten • Installation zusätzlicher Verfahrensstufen • Hochwasserschutz von Aufbereitungsanlagen	ca. 0 - 16 %	ca. 0-373 %	
	<b>Ausgewählte Beispiele (Stichworte):</b> • Rohrleitungen häufiger spülen • Umrüstung WA (Verminderung MiBi) • Vermeidung von Rohwerkstoffen aus organ. Material • Reduzierung Nennweite bei Neuverlegung • Speicherkapazität erhöhen (erhöhter Energiebedarf) • Sprinkler Plan aussprechen • Hochwasserschutz von Verteilungsanlagen und Fernwirktechnik	Derzeit nicht bezifferbar		

Abbildung 7: Kostenprojektion für die Trinkwasserversorgung mit der verwendeten Ressource Oberflächenwasser

Es sei auch hier darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl der Gefährdungen nicht beziffert werden konnte, da zu große Unsicherheiten für Schätzungen vorhanden sind und es sich lediglich um grobe Orientierungswerte für die typisierten Wasserversorgungsleistungen handelt.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag stellt im Ergebnis eine Methodik dar, die dazu dienen kann, Anpassungskosten typisierter Wasserversorgungsstrukturen an die Auswirkungen des Klimawandels abzuleiten. Das hier vorgestellte Kostenprojektionsmodell erlaubt es, relative Kostenveränderungen auf Gesamtunternehmensebene abzuschätzen. Auf diese Weise lassen sich z. B. die Fragestellungen beantworten, welche Kostensteigerung durch klimawandelbedingte Gefährdungen aus Sicht eines Wasserversorgers zu erwarten und welche relativen Kostenstrukturen (Kapital- und Betriebskosten) davon betroffen sind.

Das entwickelte Kostenprojektionsmodell stellt eine Durchschnittsbetrachtung dar. In das verwendete Modell-Wasserversorgungsunternehmen sind zwar verfügbare Daten aus NRW und der Emscher-Lippe-Region eingeflossen, dennoch sind die hier vorgestellten Ergebnisse nicht direkt auf den Einzelfall übertragbar.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass Unsicherheiten sowie Unvollständigkeiten bei den verfügbaren Daten nur begrenzte Schlussfolgerungen erlauben. Anpassungskosten im Netzbereich waren im Rahmen des *dynaklim*-Projekts aufgrund zu hoher Unsicherheiten nicht bezifferbar. Für die Wasserproduktion lässt sich feststellen, dass Unternehmen mit Oberflächenwassernutzung stärker betroffen sein könnten als Unternehmen mit Nutzung von Grundwasserressourcen. Bei der Oberflächenwassernutzung kann die Ertüchtigung der Wasseraufbereitung einen Kostentreiber darstellen, während bei der Grundwassernutzung die Anpassungskosten sehr stark davon abhängig sind, welche Maßnahmen im Ressourcenschutz ergriffen werden.

Das Kostenprojektionsmodell ist mit verfügbaren Forschungsergebnissen aus *dynaklim* und weiterer Literatur entwickelt und für ein ausgewähltes Szenario angewandt worden, so dass erste quantitative Einschätzungen für die Anpassungskosten an den Klimawandel für bestimmte Versorgungsstrukturen vorliegen. Einige Anpassungsmaßnahmen, die im Rahmen von *dynaklim* und dem hier vorliegenden Bericht erarbeitet worden sind, sind dennoch aufgrund fehlender Daten zum jetzigen Zeitpunkt nicht quantifizierbar. Das Kostenprojektionsmodell bietet aber eine solche Erweiterung an, so dass zukünftig Forscher mit dieser Methodik arbeiten und die quantitativen Ergebnisse weiter absichern können. Des Weiteren lassen sich Kostenprojektionen analog zu dem vorgestellten Vorgehen mit weiteren Szenarien bzw. Prognosen durchführen.

## Literaturverzeichnis

- AWWR – Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr (2014): Weitergehende Aufbereitung der Trinkwasserversorgung an der Ruhr, URL: <http://www.awwr.de/aufbereitung.html>, abgerufen am 19. März 2014.
- Berthold, G. (2009): Klimawandel und Zusatzwasserbedarf im Hessischen Ried, Jahresbericht 2009 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG), 2009.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft et. al (Hrsg.): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2011, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft, 2011.
- DVGW (1999): Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Autor: Robert Sattler, Band 2, 1999 XVI, 533 S., DIV Deutscher Industrieverlag, 1999.
- DVGW (2007): Technische Mitteilung - Hinweis W 409: Auswirkungen von Bauverfahren und Bauweise auf die Wirtschaftlichkeit von Betrieb und Instandhaltung (operative Netzkosten) der Wasserverteilungsanlagen, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, Bonn, 2007.
- Fohrmann, R.: Modellierung des Stickstoff- und Kohlenstoffhaushalts unter landwirtschaftlichen Nutzflächen im Zeichen des Klimawandels, Verwendung eines DV-gestützten Simulationsmodells zur Unterstützung klimaangepasster Flächennutzungsverfahren, *dynaklim*-Publikation Nr. 44, 2013.
- Holländer R., Fälsch M., Geyler S., und Lautenschläger S. (2009): Gutachten „Trinkwasserpreise in Deutschland – Wie lassen sich verschiedene Rahmenbedingungen für die Wasserversorgung anhand von Indikatoren abbilden?“ – Kernaussagen, Auftraggeber: VKU, Oktober 2009.
- IWW – Benchmarking (2011): Benchmarking Datensätze aus den Jahren 2003 bis 2011, unveröffentlichte Literatur.
- Kersting, M., Werbeck, N.: Zu viel Wasser? Hochwasserschäden durch die Flussläufe von Emscher und Lippe in der *dynaklim*-Region im Klimawandel, *dynaklim*-Publikation Nr. 28, 2012.
- Lauruschkus, F., Rehberg, J. (2011): Die Kundenbilanz der Wasserwirtschaft, IR Energie, Verkehr, Abfall, Wasser (11), 287 – 290.
- Mälzer, A., Bräcker, J., Hein, A. (2013): Sicherheit durch Vorsorge, Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK), Ausgabe 09/2013.
- Merkel, W. (2011): Wasser in der Region: Können wir für den Klimawandel planen?, Vortrag auf dem *dynaklim*-Jahressymposium, 2011.
- Morgenschweis, G., Zur Straussen, G., Patzke, S., Schwanenberg, D. (2007): Abschätzung der Auswirkung von möglichen Klimaänderungen auf die Bewirtschaftung der Talsperren im Einzugsgebiet der Ruhr, Sonderdruck aus: Jahresbericht Ruhrwassermenge 2006, Ruhrverband Essen (2007), S. 32-50.
- MUNLV (2011): Klimawandel und Wasserwirtschaft - Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel, Hrsg: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), 2. Auflage, [www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de), Stand: September 2011.
- Mutschmann, J., Stimmelmayer, F. (2013): Taschenbuch der Wasserversorgung, 16. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, 2011.
- Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2012): Wasserversorgung in Nordrhein-Westfalen, Benchmarking-Projekt, Ergebnisbericht 2011/2012.
- Rohn, A., Mälzer, H.-J. (2010): Herausforderungen der Klimawandel-Auswirkungen für die Trinkwasserversorgung, Arbeitsbericht, *dynaklim*-Publikation No. 3, 2010.
- Staatliches Umweltamt Duisburg (2003): Hochwasseraktionsplan Ruhr, Schadenspotenzial, 2003.

Staben, N., Nahrstedt, A.: Technologielösungen für eine anpassungsfähige Trinkwassergewinnung und -aufbereitung, *dynaklim*-Publikation, i.E., 2014.

Quirnbach, M., Freistühler, E., Kersting, M., Wienert, B. (2013): Regionale Szenarien zum Klima- und sozioökonomischen Wandel der Emscher-Lippe-Region (Ruhrgebiet), *dynaklim*-Kompakt Nr. 15.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beschreibung der technischen Hauptprozesse in der Trinkwasserversorgung, eigene Darstellung.....	4
Abbildung 2: Gesamtunternehmensebene (Technik und Verwaltung), eigene Darstellung .....	5
Abbildung 3: Typisierte Wasserversorgungsunternehmen nach Art der Ressource und des Siedlungsraumes, eigene Darstellung.....	6
Abbildung 4: Modell–Wasserversorgungsunternehmen, eigene Darstellung .....	7
Abbildung 5: Vorgehensweise bei der Kostenprojektion, eigene Darstellung.....	11
Abbildung 6: Kostenprojektion die Trinkwasserversorgung mit der verwendeten Ressource Grundwasser .....	21
Abbildung 7: Kostenprojektion für die Trinkwasserversorgung mit der verwendeten Ressource Oberflächenwasser .....	22

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kostenprojektion Wasserwirtschaft - Grundwasser.....	13
Tabelle 2: Kostenprojektion Wasserwirtschaft - Oberflächenwasser .....	14
Tabelle 3: Kostenprojektion Wassergewinnung – Grundwasser .....	15
Tabelle 4: Kostenprojektion Wassergewinnung – Oberflächenwasser.....	16
Tabelle 5: Kostenprojektion Wasseraufbereitung – Grundwasser .....	17
Tabelle 6: Kostenprojektion Wasseraufbereitung – Oberflächenwasser .....	19
Tabelle 7: Kostenprojektion Wassernetze – städtisch und ländlich .....	20

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01LR0804L gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt allein beim Autor.**

**Ansprechpartner**

Jens Hasse  
hasse@fiw.rwth-aachen.de

Michaela Stecking  
stecking@fiw.rwth-aachen.de

**Projektbüro *dynaklim***

Mozartstraße 4  
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 39

***www.dynaklim.de***