

M. Quirnbach, E. Freistühler,
M. Kersting, B. Wienert

Regionale Szenarien zum Klima- und sozioökonomischen Wandel der Emscher-Lippe-Region (Ruhrgebiet)

Gefördert durch:



REGIONALE SZENARIEN ZUM KLIMA- UND SOZIOÖKONOMISCHEN WANDEL DER EMSCHER-LIPPE-REGION (RUHRGEBIET)

Markus Quirnbach, Elke Freistühler, Michael Kersting, Birgit Wienert

Schlagworte (im *dynaklim*-Wiki¹)

Szenarien, Emscher-Lippe-Region, Klimawandel, Demografischer Wandel, Wirtschaftswandel, Siedlungsstruktur

1 *dynaklim*-Szenarien

Der Großstadtraum zwischen Dortmund, Bochum, Essen und Duisburg ist einer der am dichtesten besiedelten Wirtschafts- und Ballungsräume in Europa. Hier leben 5,7 Millionen Menschen im Einzugsgebiet der Flüsse Emscher, Lippe und Ruhr². Diese Region ist sehr heterogen: der Bereich der Emscher ist industriell geprägt und räumlich stark verdichtet, nördlich davon schließt sich die eher ländliche Lippe-Region an. Heute gewinnen neben dem demografischen und wirtschaftlichen Wandel, der Globalisierung, der Energiewende und dem „Jahrhundertprojekt“ Emscherumbau die zukünftigen klimatischen Veränderungen immer mehr an Bedeutung in der Region. Durch Starkregenereignisse und lokale Überflutungen wie im Juli 2008 in Dortmund oder 2013 in Bochum und durch längere Hitzeperioden wie in den Sommern 2003 und 2006 wird der Klimawandel zunehmend auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen. Die Fachwelt erwartet, dass sich der Klimawandel weiter fortsetzen und immer stärker bemerkbar machen wird, mit unterschiedlichen Folgen und Unsicherheiten für die Entwicklung der Umwelt, Gesellschaft, Wirtschaft und der öffentlichen Daseinsvorsorge.

Im Projekt *dynaklim* werden Szenarien entwickelt, um diese Unsicherheiten, die bei Zukunftsprognosen bestehen, bewusst aufzuzeigen und diese planerisch in den verschiedenen Handlungsbereichen (Siedlungsentwässerung, Trinkwasserversorgung, Grundwasserbewirtschaftung, Oberflächengewässerbewirtschaftung, Wirtschaft, Finanzierung, Kosten etc.), die im Projekt bearbeitet werden, einzubinden. Sensitivitäten und Vulnerabilitäten der verschiedenen, teilweise sehr komplexen Bereiche können mit Szenarien umfassender aufgezeigt und verstanden werden. Szenarien bieten eine konkrete Unterstützung der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Insbesondere die Kombination von Szenarien der regionalen Klimaentwicklung und sozioökonomischen Szenarien können hierzu einen Beitrag liefern. Durch die verbundenen Unsicherheiten sind sie allerdings als alleinige Entscheidungs- oder Abwägungshilfen nicht geeignet [Richter, 2011]. Es muss die Möglichkeit genutzt werden, eine große Spannweite möglicher Auswirkungen zu visualisieren. Das heißt, es werden sowohl optimistische wie auch pessimistische Szenarien neben einem Trendszenario formuliert. Damit kann differenzierter aufgezeigt werden, was sein könnte und daraus geschlussfolgert werden, welche Entwicklungen wünschenswert sind. Somit ist eine überschaubare Menge an Szenarien (siehe Kapitel 4) ein wichtiges Mittel zur Kommunikation, zum Austausch und nicht zuletzt zur Meinungsbildung von Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit [Richter, 2011]. Gewählt werden fünf *dynaklim*-Szenarien, die die unterschiedlich geprägten Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Veränderungen sozio-ökonomischer Konstellationen der Region widerspiegeln.

¹ <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/wissensmanagement/wiki.html>.

² Die Ruhr wird aufgrund ihrer Relevanz für die Trinkwasserversorgung der Region und der weitere RVR-Raum aufgrund der siedlungsstrukturellen und politischen Verflechtungen mit betrachtet.

2 Wissenschaftlicher Hintergrund zu den gewählten Szenarien

Die Anpassung der *dynaklim*-Region an die Folgen des Klimawandels findet nicht unter der wissenschaftlichen „ceteris-paribus“- (alles andere bleibt gleich) Bedingung statt, sondern muss sich in ein sich änderndes Ganzes einfügen. Für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung stellen neben dem Klimawandel insbesondere der demografische Wandel, die Änderung der Wirtschaftsleistung und -struktur und die sich auch hieraus ergebenden Änderungen in der Siedlungsstruktur wichtige Parameter – Treiber zukünftiger Entwicklungen – dar, die den Bedarf an Wasser und das Aufkommen an Abwasser determinieren. Sie stellen für die adäquate Anpassung der Region an die Folgen des Klimawandels die relevanten Umfeldfaktoren dar [Gausemeier, J. et al. 1996].

Bezugsrahmen

Der zeitliche, räumliche und sachliche Horizont bildet den Bezugsrahmen der Szenarien. Der örtliche Bezug ist im *dynaklim*-Projekt die Emscher-Lippe Region (ELR) im nördlichen Ruhrgebiet in Nordrhein-Westfalen. Der Raum wird aufgrund der Betrachtung der Trinkwasserversorgung auf das Ruhreinzugsgebiet erweitert, da hauptsächlich das Einzugsgebiet der Ruhr als Rohwasserressource zur Trinkwassergewinnung und -versorgung für das Emschergebiet dient. Der zeitliche Horizont wird mit der sog. Nahen Zukunft (2021 – 2050) gewählt. Der Referenzzeitraum zum Vergleich hierzu ist 1961 – 1990. Die sozioökonomischen Szenarien werden bis zum Jahr 2030 aufgezeigt, das Referenzjahr ist (je nach Datenverfügbarkeit) in der Regel das Jahr 2010. Die Auswertungen der Klimamodellrechnungen beschreiben den gesamten Zeitraum 2021 – 2050; auffällige Einzeljahre stehen für definierte Extremszenarien. Als sachlicher Horizont steht im *dynaklim*-Projekt zentral die Wasserwirtschaft mit allen ihren Handlungsfeldern von der Trinkwassergewinnung, Grundwasser- und Gewässerbewirtschaftung bis zur Siedlungsentwässerung. In diesen Feldern werden auch die Szenarien angewendet und die Wirkungen aufgezeigt (siehe hierzu auch Tabelle 1).

Klimawandel

Die Klimamodellrechnungen der in *dynaklim* verwendeten Realisierungen CLM_C20_1_D3 und CLM_C20_2_D3 des Regionalen Klimamodells CLM [Lautenschlager et al., 2009] – im Folgenden kurz CLM1 und CLM2 genannt – beschreiben mögliche Veränderungen des zukünftigen Klimas in der Emscher-Lippe-Region (ELR). Hiermit werden im Rahmen von *dynaklim* wasserwirtschaftliche Modellrechnungen durchgeführt. Die beiden CLM-Realisierungen beruhen auf dem mittleren SRES-Emissionsszenario A1B und unterscheiden sich allein dadurch, dass die Modellrechnungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit leicht unterschiedlichen Randbedingungen gestartet wurden. Die Ergebnisse sind als gleich wahrscheinlich anzusehen und zeigen eine Spannweite aufgrund einer natürlich vorhandenen Klimavariabilität auf. Trotzdem decken sie nur eine kleine Bandbreite möglicher Klimaveränderungen ab. Daher werden die Ergebnisse in den Beschreibungen der Klima-Teilszenarien (siehe Kapitel 5) immer auch in ein größeres Ensemble weiterer Klimamodellrechnungen eingeordnet.

Es werden vier verschiedene Klima-Teilszenarien im Rahmen von *dynaklim* unterschieden:

- Szenario KW0: Trendmäßige Entwicklung der Temperatur und des Niederschlags in den beiden Realisierungen CLM1 und CLM2 in der Nahen Zukunft
- Szenario KW1: Trockener und heißer Sommer
- Szenario KW2: Nasser Winter
- Szenario KW3: Vermehrte Starkniederschläge

Die Beschreibung dieser einzelnen Klima-Teilszenarien findet sich in den Kapiteln 5.1 bis 5.4.

Demografischer Wandel, Wirtschaftswandel und Änderung der Siedlungsstruktur

Diese drei Umweltfelder lassen sich hinsichtlich ihrer Ausprägung durch unterschiedlich differenzierte Feldkomponenten weiter beschreiben, die in ihrer zukünftigen Entwicklung unterschiedlichste Ausprägungen annehmen können. Die Fülle an Kombinationsmöglichkeiten macht es unmöglich bzw. unverhältnismäßig, alle möglichen Komponentenkombinationen zu bewerten. Stattdessen werden für den Bereich der sozioökonomischen Umweltfelder drei Teilszenarien erstellt, die als exemplarische Kombinationen herausgestellt werden. Hierdurch wird gleichzeitig der teilweise vorliegenden wechselseitigen Abhängigkeiten der einzelnen, zugrundeliegenden Größen Rechnung getragen.

Es werden folgende sozioökonomische Teilszenarien formuliert:

- Szenario SÖ0: Referenzszenario der trendmäßigen Entwicklung
- Szenario SÖ1: klimafreundliche Prosperität
- Szenario SÖ2: Schwierigkeiten im Strukturwandel

Die Beschreibung dieser einzelnen sozioökonomischen Teilszenarien findet sich in den Kapiteln 5.5 bis 5.7.

Die sozioökonomischen Teilszenarien dienen dem Zweck, die zukünftigen Anforderungen bzw. Rahmenbedingungen für die öffentliche und nicht-öffentliche Wasserversorgung sowie für die öffentliche Abwasserentsorgung abzubilden. Sie werden mit den vier Teilszenarien zum Klimawandel zu fünf *dynaklim*-Szenarien kombiniert und im Kapitel 4 in Katalogen kurz gefasst zusammengestellt. Die Wirkungen auf die Wasserwirtschaft werden stark verkürzt ebenfalls aufgezeigt [vgl. ausführlich: Kersting, Werbeck 2013]. Detaillierte Ausführungen zu den Wirkungen auf die Wasserwirtschaft finden sich in weiteren Publikationen unter www.dynaklim.de.

Tabelle 1: Auswahl von fünf Kombinationen aus Klima-Teilszenarien und sozioökonomischen Teilszenarien

Sozioökonomische Szenarien →	Trendmäßige Entwicklung	klimafreundliche Prosperität	Schwierigkeiten im Strukturwandel
Klimawandel-Szenarien ↓			
Klimawandel-Trend CLM-Läufe 1, 2	Der moderate Wandel d. ELR	Attraktives Leben i. e. wettbewerbsfähigen ELR	
Trockener und heißer Sommer			Die ELR ist heiß und unerträglich
Nasser Winter			Land unter in der ELR!
Vermehrte Starkniederschläge		Plötzlich Chaos i.d. ELR - alles im Griff!	

3 Die Emscher-Lippe-Region heute

Die Emscher-Lippe-Region ist bereits heute vom Klimawandel betroffen, wie die Auswertungen zahlreicher Messdaten belegen. Die mittlere Jahrestemperatur lag im Referenzzeitraum 1961 – 1990 bei durchschnittlich 9,9 °C. In den letzten beiden Jahrzehnten sind die mittleren Temperaturen auf durchschnittlich 10,6 °C gestiegen. Dieser positive Trend zeigt sich auch bei den sogenannten Kenntagen.

Kenntage sind Tage, an denen die gemessene Temperatur einen vorher festgelegten Wert übersteigt oder unterschreitet (siehe auch www.dwd.de) oder an denen eine bestimmte Niederschlagsmenge fällt. Definition der Kenntage:

- Sommertage sind Tage mit maximalen Temperaturen $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$
- Heiße Tage sind Tage mit maximalen Temperaturen $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$
- Tropennächte sind Tage mit minimalen Temperaturen $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$
- Frosttage sind Tage mit minimalen Temperaturen $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$
- Eistage sind Tage mit maximalen Temperaturen $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$
- Starkregentage sind Tage mit Niederschlägen $N \geq 20 \text{ mm/d}$ (30 mm/d, 40 mm/d etc.)
- Trockentage sind Tage, an denen 0,1 mm oder weniger Niederschlag fällt ($N \leq 0,1 \text{ mm/d}$)

In der Emscher-Lippe-Region traten im Referenzzeitraum durchschnittlich 24 Sommertage und 4 Heiße Tage pro Jahr auf, die Anzahl der Tropennächte lag im jährlichen Mittel bei 0,2. Während sich die Anzahl der Tropennächte in den letzten 20 Jahren im Durchschnitt kaum verändert hat, ist sowohl die Anzahl der Sommertage als auch der Heißen Tage deutlich angestiegen. Ein gegenläufiger Trend deutet sich bei den winterlichen Kenntagen an. Im Referenzzeitraum gab es durchschnittlich 60 Frosttage und 15 Eistage. Bei diesen beiden Kennwerten ist in den letzten beiden Dekaden ein leichter Rückgang zu verzeichnen.

Die mittlere Niederschlagsjahressumme von etwa 780 mm/a im Zeitraum 1961 – 1990 stieg in der Emscher-Lippe-Region in den letzten 20 Jahren auf durchschnittlich 840 mm/a. Auch bei den Starkregen ist eine Zunahme zu verzeichnen. Beispielsweise wurden im Referenzzeitraum Tagessummen von $N \geq 20 \text{ mm/d}$ durchschnittlich 3,3-mal pro Jahr überschritten, während Niederschlagsmengen von $N \geq 50 \text{ mm/d}$ nur etwa alle 5 Jahre auftraten. Eigene Untersuchungen zeigen, dass bei den niedrigen Schwellenwerten von $N \geq 20 \text{ mm/d}$ bis $N \geq 40 \text{ mm/d}$ die Anzahl der Starkregentage in den beiden letzten Dekaden deutlich gestiegen sind. Bei selteneren Starkregenereignissen (höheren Schwellenwerten) ist dagegen bislang keine Zunahme erkennbar. Da sich aber insbesondere die seltenen Starkregen auf die Niederschlagsstatistik auswirken, haben die Zunahmen der kleineren Starkregen bislang keinen wesentlichen Einfluss auf die resultierenden statistischen Niederschlagshöhen.

In ihrer Struktur ist die *dynaklim*-Region durch ihre Geschichte als Montanregion geprägt. Entlang der Hellweg³- und Emscherzone sind stark urbanisierte Räume dominant, während im Lippegebiet eine stärker ländlich geprägte Ballungsrandzone vorzufinden ist. Erweitert mit Teilen des Ruhreinzugsgebiet ist sie mit 5,7 Mio. Einwohnern zudem eine der am dichtesten besiedelten Regionen Deutschlands, wobei die Bevölkerungsdichte zwischen knapp 200 (Kreis Coesfeld) und knapp 3.280 Einwohnern je Quadratkilometer (Herne) schwankt.

³ Als Hellwegzone bezeichnet man die Region des Ruhrgebietes entlang der alten Handelsstraße 'Hellweg'. Gebildet wird die Zone von den Städten Duisburg, Mülheim an der Ruhr, Essen, Bochum und Dortmund (von West nach Ost). Sie stellt auch den 'Ballungskern' des Ruhrgebietes dar (www.ruhrgebiet-regionalkunde.de).

In der Wirtschaftsstruktur ist das *dynaklim*-Gebiet stark durch das verarbeitende Gewerbe und bis zum Auslaufen des Steinkohlebergbaus durch die Montanindustrie geprägt. Wie in anderen Regionen ist aber auch hier eine stärkere Entwicklung im Dienstleistungsbereich festzustellen. Zugleich ist ein deutlicher Rückgang der Einwohnerzahl in der *dynaklim*-Region festzustellen: 1995 lag die Einwohnerzahl der Emscher-Lippe-Ruhr-Region bei 5,9 Mio., 2011 bei 5,7 Mio. Der Trend wird sich nach allen Prognosen in Zukunft fortsetzen und ist verbunden mit einem weiterhin zunehmenden Anteil älterer Einwohner.

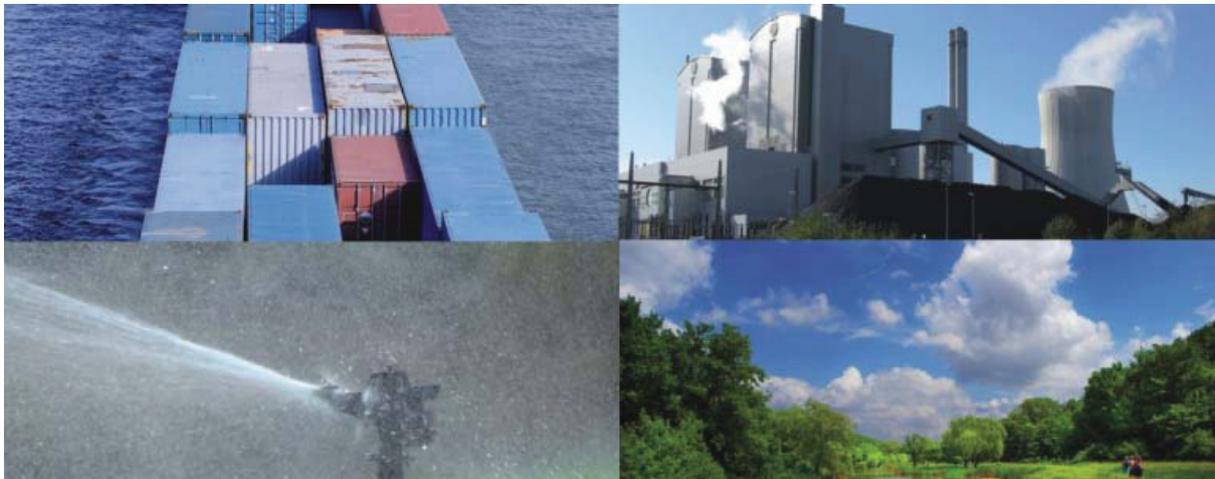
4 Regionale Szenarien – kurz gefasst

Im Folgenden werden die fünf aus Klima-Teilszenarien und Sozioökonomischen Teilszenarien zusammengestellten Kombinationen (vgl. Tabelle 1) in kurzen Stichwortkatalogen und die Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft grob beschrieben. Klimaänderungen beziehen sich auf den Referenzzeitraum 1961-1990, sozioökonomische Änderungen auf das Jahr 2010 (siehe hierzu auch Kapitel 2). Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Klimawandelszenarien und der sozioökonomischen Szenarien findet sich im anschließenden Kapitel 5.

Die beiden ersten Szenarien beziehen sich auf zwei verschiedene Trend-Szenarien im Klimawandel (CLM1 bzw. CLM2), beschreiben also eine mögliche mittlere Entwicklung in der Nahen Zukunft. Zu Veränderungen von Extremen lassen die Trend-Szenarien noch keine Aussagen zu. Die anderen drei Szenarien stellen extreme Beispiele aus der Nahen Zukunft dar. Dies sind Einzeljahre aus den Szenarien CLM1 und CLM2.

4.1 Der moderate Wandel der Emscher-Lippe-Region

Der moderate Wandel der Emscher-Lippe-Region stellt eine Kombination aus dem Klimawandel Trend und dem sozioökonomischen Trend dar.



Szenario-Beschreibung:

Klimawandel

- Die Temperaturzunahmen liegen bei etwa +1,0 °C gegenüber dem Referenzzeitraum (Spanne: 0,5 – 1,5 °C im Ensemble ausgewählter Klimamodellrechnungen)
- Durchschnittlich 6 Sommertage ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$), 4 Heiße Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und eine Tropennacht ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) mehr im Jahr
- Durchschnittlich 19 Frosttage ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) und 8 Eistage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) weniger im Jahr

- Nur noch geringfügige Zunahme der Jahresniederschläge um 4 %, im Sommer können die Niederschlagssummen sogar leicht rückgängig sein
- Ca. 180 Trockentage ($\leq 0,1$ mm/d) im Jahr – gleichbleibendes Niveau, allerdings leichte Verschiebung der Trockentage vom Winter und Frühling in den Sommer (etwas weniger Trockentage im Winter und Frühling, etwas mehr im Sommer)
- Kurze Trockenperioden bis zu etwa 10 Tagen in Folge bleiben in etwa gleich
- Längere Trockenperioden mit mindestens 21 Tagen treten gegenüber dem Referenzzeitraum ungefähr doppelt so oft auf
- Die Niederschlagshöhen von Starkregen nehmen zwar nur um 10 % in der Nahen Zukunft zu; dies bewirkt aber bereits, dass Niederschläge mit einer bisherigen Wiederkehrzeit von $T = 100$ Jahren in Zukunft alle 50 Jahre auftreten
- Die bereits in der Vergangenheit festgestellte Zunahme von kleineren Starkregen nimmt auch in der Zukunft weiter zu; es ist mit einer Erhöhung der kleineren Starkregen (≥ 20 mm/d) von heute 3 bis 4-mal im Jahr auf künftig 4 bis 5-mal im Jahr zu rechnen
- Die niederschlagsbedingten Regenwassermengen steigen (analog zu den Jahresniederschlagsmengen der beiden CLM-Läufe)

Sozioökonomischer Wandel

- Die Einwohnerzahl geht von 2010 bis 2030 um 7,8 % zurück
- Der spezifische Wasserverbrauch je Einwohner wird von 2010 bis 2030 um 3 % sinken
- Das spezifische Abwasseraufkommen der Haushalte entwickelt sich analog zum Wasserverbrauch
- Die reale Bruttowertschöpfung wird sich (analog zu NRW) wie in der Vergangenheit entwickeln und von 2010 bis 2030 um 19,8 % steigen
- Der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau wird realisiert
- Der Wertschöpfungsanteil des produzierenden Gewerbes sinkt (von 23,3 % (2009) auf 16,4 % (2030))
- Der Wertschöpfungsanteil des Dienstleistungssektors steigt (von 71,8 % (2009) auf 83,9 % (2030))
- Die Erzeugung von Strom und Fernwärme wird bis 2030 um 43,5 % zunehmen, der Anteil erneuerbarer Energien hieran steigt von 8,3 % (2010) auf 23,1 % (2030)
- Die Effizienz der Wassernutzung im produzierenden Gewerbe und in der Energieerzeugung wird bis 2030 um ca. 29 % steigen
- Der Umfang der Siedlungs- und Verkehrsfläche bleibt konstant
- Im Gebiet der Emschergenossenschaft wird durch Fördermöglichkeiten der Anteil der versiegelten Fläche um 5 % zurückgehen; im Gebiet des Lippeverbandes bleibt der Anteil der versiegelten Fläche konstant
- Im Tourismus wird die Anzahl der Gästebetten bis 2030 um 10 % ansteigen
- Die Behandlungsquoten (Krankenhäuser) und Pflegequoten (stationäre Pflege) nach Altersgruppen bleibt konstant

Folgewirkung auf die Wasserwirtschaft

- In der Trinkwasserversorgung treten keine Versorgungsengpässe auch bei längeren Trockenphasen im Sommer auf
- Es ist häufiger mit Überlastungen von Kanalnetzen und Überschwemmungen der Flüsse zu rechnen, da im Gegensatz zur Vergangenheit in der Zukunft auch die seltenen Starkregen deutlich zu nehmen
- Die Abwasserentsorgung läuft in der Regel geregelt ab; durch die Zunahme von Starkregenereignissen erhöhen sich regional an neuralgischen Punkten (vor allem in Senken und Mulden) örtlich begrenzte Überflutungen aus überlasteten Kanalisationen; Maßnahmen zur Abwehr bzw. zur Umleitung des überschüssigen Wassers, z.B. im Rahmen einer wassersensiblen Stadtentwicklung, werden je nach kommunalen finanziellen und personellen Möglichkeiten umgesetzt
- Das Grundwasser, welches teilweise durch eine leichte Zunahme der Winterniederschläge zusätzlich ansteigt, wird in der Region durch die EGLV zentral bewirtschaftet und durch ein gezieltes Grundwassermanagement geregelt.
- Die Emscher und ihre Nebenflüsse sind vollständig renaturiert
- Emscher und Lippe sind in großen Teilen in einem guten ökologischen Zustand

4.2 Attraktives Leben in einer wettbewerbsfähigen Emscher-Lippe-Region

Ein attraktives Leben in einer wettbewerbsfähigen Emscher-Lippe Region zeigt einen positiven Trend der Zukunft durch Kombination des Klimawandel-Trends mit einer klimafreundlichen Prosperität.



Szenario-Beschreibung:

Klimawandel (Kennwerte aus Szenario 1)

- Die Temperaturzunahmen liegen bei etwa $+1,0^{\circ}\text{C}$ gegenüber dem Referenzzeitraum (Spanne: $0,5 - 1,5^{\circ}\text{C}$ im Ensemble ausgewählter Klimamodellrechnungen)
- Durchschnittlich 6 Sommertage ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$), 4 Heiße Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und eine Tropennacht ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) mehr im Jahr
- Durchschnittlich 19 Frosttage ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) und 8 Eistage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) weniger im Jahr

- Nur noch geringfügige Zunahme der Jahresniederschläge um 4 %, im Sommer können die Niederschlagssummen sogar leicht rückgängig sein
- Ca. 180 Trockentage ($\leq 0,1$ mm/d) im Jahr – gleichbleibendes Niveau, allerdings leichte Verschiebung der Trockentage vom Winter und Frühling in den Sommer (etwas weniger Trockentage im Winter und Frühling, etwas mehr im Sommer)
- Kurze Trockenperioden bis zu etwa 10 Tagen in Folge bleiben in etwa gleich
- Längere Trockenperioden mit mindestens 21 Tagen treten gegenüber dem Referenzzeitraum ungefähr doppelt so oft auf
- Die Niederschlagshöhen von Starkregen nehmen zwar nur um 10 % in der Nahen Zukunft zu; dies bewirkt aber bereits, dass Niederschläge mit einer bisherigen Wiederkehrzeit von $T = 100$ Jahren in Zukunft alle 50 Jahre auftreten
- Die bereits in der Vergangenheit festgestellte Zunahme von kleineren Starkregen nimmt auch in der Zukunft weiter zu; es ist mit einer Erhöhung der kleineren Starkregen (≥ 20 mm/d) von heute 3 bis 4-mal im Jahr auf künftig 4 bis 5-mal im Jahr zu rechnen

Sozioökonomischer Wandel

- Die Einwohnerzahl geht von 2010 bis 2030 um 4,1 % zurück
- Durch die zunehmende Sensibilisierung der Haushalte wird der spezifische Wasserverbrauch je Einwohner von 2010 bis 2030 um 7,9 % sinken
- Das spezifische Abwasseraufkommen der Haushalte entwickelt sich analog zum Wasserverbrauch
- Die reale Bruttowertschöpfung wird sich positiver entwickeln und von 2010 bis 2030 um 24,8 % steigen
- Der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau wird auch in diesem Szenario realisiert
- Der Wertschöpfungsanteil des produzierenden Gewerbes wird durch die Initiativen zur Stärkung des industriellen Kerns im Ruhrgebiet etwas geringer sinken (von 23,3 % (2009) auf 17,8 % (2030))
- Die Erzeugung von Strom und Fernwärme wird bis 2030 um 61,2 % zunehmen, der Anteil erneuerbarer Energien hieran steigt von 8,3 % (2010) auf 30,1 % (2030)
- Die Effizienz der Wassernutzung im produzierenden Gewerbe und in der Energieerzeugung wird bis 2030 um knapp 40 % steigen
- Der Umfang der Siedlungs- und Verkehrsfläche wird bis 2030 um 5 % ansteigen
- Die Initiativen zur Regenwasserabkopplung im Emschergebiet werden auch im Lippegebiet erzielt; Neubaufächen werden zu 100 %, Bestandsgebiete zu 15 % von der Regenwasserableitung angekoppelt; Trennsysteme bei der Abwasserableitung werden großflächig umgesetzt
- Das Ruhrgebiet wird als Tourismusregion attraktiver, so dass die Anzahl der Gästebetten bis 2030 um 20% ansteigt
- Die Behandlungsquoten (Krankenhäuser) und Pflegequoten (stationäre Pflege) nach Altersgruppen bleibt konstant
- Der spezifische Wasserverbrauch in Kindergärten, Schulen, Universitäten, Krankenhäusern, Pflegeheimen und im Tourismus (je Schüler, Patient, Gästebett etc.) wird bis 2030 um 5 % zurückgehen

Folgewirkung auf die Wasserwirtschaft

- Trinkwasserversorgungsengpässe treten zu keinem Zeitpunkt auf; das Wasser steht in ausreichender Menge und hervorragender Qualität zur Verfügung
- Überlastungen von Kanalnetzen und Überschwemmungen der Flüsse sind häufiger, da im Gegensatz zur Vergangenheit in der Zukunft auch die seltenen Starkregen deutlich zu nehmen
- Städtebauliche Maßnahmen zur wassersensiblen Entwicklung wurden umgesetzt – Hitzeinseln werden vermieden, Befeuchtung und Belüftung im Sommer ermöglicht, Wasserspielplätze, Schattenbänke und Trinkwasserstellen sind an vielen innerstädtischen Orten – es lässt sich innerstädtisch leben
- Häuserwände / Dächer wurden begrünt, Freiflächen wurden zum Gemüseanbau kostenlos freigegeben – ländliches Feeling in der Innenstadt
- Durch die umfassend umgesetzten Maßnahmen in der gesamten *dynaklim*-Region mit einer wassersensiblen Stadtentwicklung können die überschüssigen Abflussmengen aus Starkniederschlägen, die nicht von der Kanalisation aufgenommen werden können, aufgefangen bzw. umgeleitet werden; Schäden entstehen nur in minimalem Umfang
- Das örtlich anstehende Grundwasser wird durch ein umfassendes Grundwasserdrainagekonzept und –management der EGLV zentral geregelt
- Die Emscher und ihre Nebenflüsse sind komplett renaturiert
- Emscher und Lippe sind durchgängig in einem guten ökologischen Zustand

4.3 Die Emscher-Lippe-Region ist heiß und unerträglich

Bei dem negativen Szenario „Die Emscher-Lippe-Region ist heiß und unerträglich“ ist es lange Zeit vom Frühjahr bis zum Sommer viel zu trocken und heiß. Hinzu kommen noch Schwierigkeiten im Strukturwandel.



Bildquelle: 138094_R_K_B_by_Friedrich-Frühling_pixelio.de

Szenario-Beschreibung:

Klimawandel

- Trockener Winter und Frühling mit 40 mm Niederschlag pro Monat – die Grundwasserreserven können nicht aufgefüllt werden
- Die Temperaturen zeigen bereits im Frühling sommerlichen Charakter
- Temperaturen im Mai häufig über 25 °C, streckenweise auch über 30 °C, Ende Mai kurzfristig sogar über 40 °C
- Im Juni und Juli bleiben die Temperaturen hoch – Unterbrechung von Tagen unter 25 °C mit einzelnen Regenfällen, die aber insgesamt nur geringe Niederschlagssummen bringen
- Innerhalb von drei Wochen im Sommer 2024 steigen die Temperaturen an 14 Tagen über 30 °C, an 7 Tagen über 35 °C.
- Im Gesamtzeitraum von 97 Tagen sind 67 Sommertage und 39 Heiße Tage, 15 Tage sind mit Maximaltemperaturen von mehr als 35 °C sogar extrem heiß
- In den Montane Mai, Juni und Juli fallen nur durchschnittlich 27 mm Niederschlag pro Monat
- Erst im August ändert sich das Wetter schlagartig: es regnet ergiebig und die Temperaturen fallen deutlich ab

Sozioökonomischer Wandel

- Zunehmende Wanderungsverluste führen insgesamt zu einem Rückgang der Einwohnerzahl von 2010 bis 2030 um 11,5 %
- Der spezifische Wasserverbrauch je Einwohner entwickelt sich analog zum Trendszenario (-3 % von 2010 bis 2030)

-
- Das spezifische Abwasseraufkommen der Haushalte entwickelt sich analog zum Wasserverbrauch
 - Die reale Bruttowertschöpfung entwickeln sich geringer als im Trendszenario (+14,8 % von 2010 bis 2030)
 - Der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau wird auch in diesem Szenario realisiert
 - Der Wertschöpfungsanteil des produzierenden Gewerbes etwas stärker sinken als im Trendszenario (von 23,3 % (2009) auf 16,1 % (2030))
 - Durch den geringeren Bedarf als im Trendszenario wird die Erzeugung von Strom und Fernwärme bis 2030 nur um 31,6 % zunehmen, der Anteil erneuerbarer Energien hieran steigt von 8,3 % (2010) auf nur 20,1 % (2030)
 - Die Effizienz der Wassernutzung im produzierenden Gewerbe und in der Energieerzeugung wird bis 2030 analog zum Trendszenario um ca. 29 % steigen
 - Es werden keine neuen Siedlungs- und Verkehrsflächen erschlossen
 - Die Initiativen zur Regenwasserabkopplung im Emschergebiet zeigen keine Wirkung, der Anteil der versiegelten Flächen bleibt konstant; im Lippegebiet findet ebenfalls keine weitere Entsiegelung statt
 - Der Tourismus im Ruhrgebiet stagniert, so dass die Anzahl der Gästebetten unverändert bleibt
 - Die Behandlungsquoten (Krankenhäuser) und Pflegequoten (stationäre Pflege) nach Altersgruppen bleibt zwar konstant; dennoch gibt es insbesondere in den Innenstädten durch die lang anhaltenden hohen Temperaturen und unter der älteren Bevölkerung im Sommer zunehmend mehr Tote durch Hitzeeinfluss

Folgewirkung auf die Wasserwirtschaft

- Durch die überwiegend fehlenden Maßnahmen einer wassersensiblen Stadtentwicklung (Wasserplätze etc.) und Frischluftschneisen im innerstädtischen Bereich, sind große Teile der Innenstädte in der Region im Sommer stark aufgeheizt und nahezu unbewohnbar; in den Nächten kommt es kaum zu einer Abkühlung
- Nutzungskonkurrenzen an der Lippe steigen im Sommer stark an, Trinkwasserengpässe entstehen vereinzelt, können aber zum Großteil noch ausgeglichen werden, Ernten vertrocknen und zunehmend sterben Fische; Kühlwasserentnahmen und -einleitungen werden stark eingeschränkt
- Die Emscher wurde zwar komplett renaturiert, dennoch fallen viele Nebenzuflüsse über längere Zeit trocken wobei die Biozönose zum Großteil abstirbt
- Abwasser bleibt in den Kanälen stehen – es kommt verbreitet zu Geruchsbildungen und Ungeziefer breiten sich aus

4.4 Land unter in der Emscher-Lippe-Region!

Das Szenario „Land unter in der Emscher-Lippe-Region“ ist ein vergleichbar negatives Szenario zum vorhergenannten. Es zeichnet sich durch einen extrem nassen Winter und zusätzlichen Schwierigkeiten im Strukturwandel aus.



Szenario-Beschreibung:

Klimawandel

- Zwischen Anfang November bis Ende Januar über drei Monate extrem nass und mild (Gesamtsumme Niederschlag etwa 420 mm)
- Aneinander gereihte, tagelang andauernde und teils ergiebige Niederschläge in Form von Regen
- Lediglich kurze Trockenperioden von 1-3 Tage
- Es treten nur in der ersten Dezemberhälfte Temperaturen $< 0^{\circ}$ C auf (mit Schneefall statt Regen)

Sozioökonomischer Wandel (Kennwerte aus Szenario 3)

- Zunehmende Wanderungsverluste führen insgesamt zu einem Rückgang der Einwohnerzahl von 2010 bis 2030 um 11,5 %
- Der spezifische Wasserverbrauch je Einwohner entwickelt sich analog zum Trendszenario (-3 % von 2010 bis 2030)
- Das spezifische Abwasseraufkommen der Haushalte entwickelt sich analog zum Wasserverbrauch
- Die reale Bruttowertschöpfung entwickeln sich geringer als im Trendszenario (+14,8 % von 2010 bis 2030)
- Der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau wird auch in diesem Szenario realisiert
- Der Wertschöpfungsanteil des produzierenden Gewerbes etwas stärker sinken als im Trendszenario (von 23,3 % (2009) auf 16,1 % (2030))
- Durch den geringeren Bedarf als im Trendszenario wird die Erzeugung von Strom und Fernwärme bis 2030 nur um 31,6 % zunehmen, der Anteil erneuerbarer Energien hieran steigt von 8,3 % (2010) auf nur 20,1 % (2030)

-
- Die Effizienz der Wassernutzung im produzierenden Gewerbe und in der Energieerzeugung wird bis 2030 analog zum Trendszenario um ca. 29 % steigen
 - Es werden keine neuen Siedlungs- und Verkehrsflächen erschlossen
 - Die Initiativen zur Regenwasserabkopplung im Emschergebiet zeigen keine Wirkung, der Anteil der versiegelten Flächen bleibt konstant; im Lippegebiet findet ebenfalls keine weitere Entsiegelung statt
 - Der Tourismus im Ruhrgebiet stagniert, so dass die Anzahl der Gästebetten unverändert bleibt
 - Die Behandlungsquoten (Krankenhäuser) und Pflegequoten (stationäre Pflege) nach Altersgruppen bleibt konstant

Folgewirkung auf die Wasserwirtschaft

- Sehr hoher Grundwasserstand
- Aufgrund winterlicher Hochwässer Überschwemmungen und überflutete Häuser und Straßen in bebauten Auenlandschaften und in direkter Flussnähe
- Durch überflutete Verkehrswege ist die Versorgung (Logistik) zum Teil eingeschränkt
- Kanäle sind aufgrund langanhaltender Niederschläge und überdurchschnittliche Starkregen randvoll – Überflutungsfolge von Mischwasser (Infektionsgefahr)
- Kanalsanierungen werden nicht zu 100 % umgesetzt; das zusätzliche Fremdwasser verschärft die Überlastung der Kanalisationen
- Hohe Grundwasserstände können durch Ableitung über Abwasserkanäle nicht genügend abgedämpft werden; aufgrund der fehlenden Umsetzung eines zentralen Grundwassermanagements (z.B. über Drainageleitungen) sind viele Keller auch wegen des anstehenden Grundwassers nass
- Maßnahmen einer wassersensiblen Stadtentwicklung und einer gezielten Steuerung des überschüssigen Wassers aus der Kanalisation werden nicht umgesetzt, so dass auch hier das Wasser an und in den Straßen und Häusern aufgrund überdurchschnittlicher Starkregen aber auch durch langanhaltende Niederschläge steht
- Durch den Rückgang des produzierenden Gewerbes und der mangelnden Weiternutzung der Flächen entstehen zunehmend Brachen, deren abfließendes Regenwasser durch Altlasten zum Teil stark belastet ist und in die Gewässer und ins Grundwasser gelangt

4.5 Plötzlich Chaos in der Emscher-Lippe-Region – alles im Griff!

Das Szenario „Plötzlich Chaos in der Emscher-Lippe-Region – alles im Griff“ zeigt zwar ein extremes Klima-Szenario, aber durch eine positive wirtschaftliche Prosperität und ein „Lernen“ und Umsetzen der Innovationen aus *dynaklim* können die extremen Ereignisse ausgeglichen und den negativen Folgen für die Region mit greifenden Maßnahmen entgegengewirkt werden.



Szenario-Beschreibung:

Klimawandel

- Starkregenereignisse ($N \geq 20$ mm/d) heute durchschnittlich drei bis viermal im Jahr – in diesem Jahr doppelt so viele
- Starkregen (vor allem im Juli / August und November / Dezember) sowohl im Sommer als auch im Winter
- Ereignisse, die sonst extrem selten auftreten ($N \geq 50$ mm/d), treten in diesem Jahr sogar zweimal auf, Überflutungen an vielen Stellen in Innenstädten der Region
- Ein Extremereignis im Juli: es fallen großflächig innerhalb weniger Stunden rund 80 mm Niederschlag
- Folgen sind nicht nur Überlastungen des Kanalnetzes/ Straßen etc., sondern Bäche und Flüsse führen Hochwässer und es folgen Überschwemmungen
- Im Sommer stark punktuelle Überflutungen aus dem Kanalnetz und Überlastungen von befestigten Flächen / Straßen
- Winterliches großflächiges Extremereignis mit Wiederkehrhäufigkeit von 20 Jahren ($N_{ges} = 72$ mm) über 2,5 Tage

Sozioökonomischer Wandel (Kennwerte aus Szenario 2)

- Die Einwohnerzahl geht von 2010 bis 2030 um 4,1 % zurück
- Durch die zunehmende Sensibilisierung der Haushalte wird der spezifische Wasserverbrauch je Einwohner von 2010 bis 2030 um 7,9 % sinken
- Das spezifische Abwasseraufkommen der Haushalte entwickelt sich analog zum Wasserverbrauch
- Die reale Bruttowertschöpfung wird sich positiver entwickeln und von 2010 bis 2030 um 24,8 % steigen
- Der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau wird auch in diesem Szenario realisiert

- Der Wertschöpfungsanteil des produzierenden Gewerbes wird durch die Initiativen zur Stärkung des industriellen Kerns im Ruhrgebiet etwas geringer sinken (von 23,3 % [2009] auf 17,8 % [2030])
- Die Erzeugung von Strom und Fernwärme wird bis 2030 um 61,2 % zunehmen, der Anteil erneuerbarer Energien hieran steigt von 8,3 % (2010) auf 30,1 % (2030)
- Die Effizienz der Wassernutzung im produzierenden Gewerbe und in der Energieerzeugung wird bis 2030 um knapp 40 % steigen
- Der Umfang der Siedlungs- und Verkehrsfläche wird bis 2030 um 5 % ansteigen
- Die Initiativen zur Regenwasserabkopplung im Emschergebiet werden auch im Lippegebiet erzielt; Neubauflächen werden zu 100 %, Bestandsgebiete zu 15 % von der Regenwasserableitung angekoppelt; Trennsysteme bei der Abwasserableitung werden großflächig umgesetzt
- Das Ruhrgebiet wird als Tourismusregion attraktiver, so dass die Anzahl der Gästebetten bis 2030 um 20% ansteigt
- Die Behandlungsquoten (Krankenhäuser) und Pflegequoten (stationäre Pflege) nach Altersgruppen bleibt
- Der spezifische Wasserverbrauch in Kindergärten, Schulen, Universitäten, Krankenhäusern, Pflegeheimen und im Tourismus (je Schüler, Patient, Gästebett etc.) wird bis 2030 um 5 % zurückgehen

Folgewirkung auf die Wasserwirtschaft

- Winterliche Starkregen sind großflächig und führen vor allem zu Hochwässern und Überschwemmungen – das Kanalnetz ist zudem überlastet, was wiederum zu Mischwasserentlastungen und einem Rückstau im Kanal führt
- Aber die Region hat aus *dynaklim* gelernt – die Konjunktur ist gut und Maßnahmen und Konzepte, die im *dynaklim*-Projekt entwickelt wurden, wurden in den Städten der Region umfassend umgesetzt, so dass diese jetzt ihre Wirksamkeit zeigen
- Überflutungen können gezielt geleitet und gesammelt werden, Schäden sind gering; die Feuerwehr ist zeitnah durch ein Überflutungs-Leitsystem vor Ort und kann direkt pumpen
- Überschwemmungen aus Bächen und Flüssen können durch die komplette Renaturierung und Auenbildung und weiteren technischen Hochwasserschutzmaßnahmen an der Emscher und seiner Zuflüsse und im Lippeinzugsgebiet abgepuffert werden
- Wasserwerke insbesondere an der Ruhr wurden hochwassersicher gemacht und die Trinkwasseraufbereitung und -verteilung dadurch abgesichert
- Die Trinkwasserqualität ist zu jeder Zeit ausgezeichnet
- Die Region fühlt sich sicher – kommuniziert dies nach außen und kann externe Firmen motivieren, ihren Sitz in die Region zu verlegen, da andere Regionen sich nicht in den letzten Jahr hinreichend angepasst und eine flexible Entwässerungsstruktur entwickelt haben; Firmen sind dadurch bei diesen und in den Jahren zuvor aufgetretenen Extremereignissen stark zu Schaden gekommen
- Das örtlich anstehende Grundwasser wird durch ein umfassendes Grundwasserdrainagekonzept und –management der EGLV zentral geregelt

5 Einzelszenarien

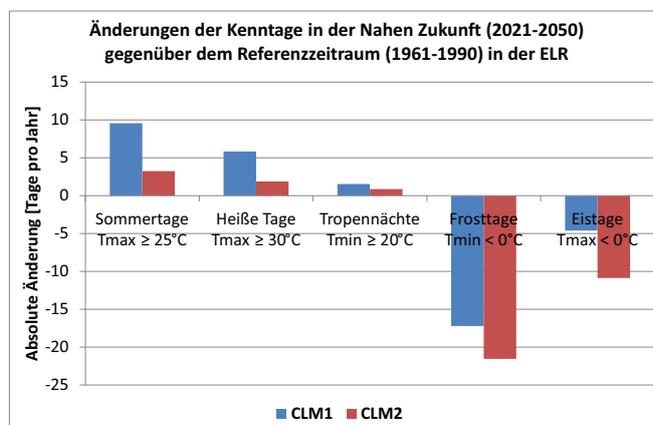
Im Kapitel 4 wurden in Stichworten fünf Regionale Szenarien beschrieben, die sich aus der Kombination einzelner Klimawandel-Teilszenarien und sozioökonomischer Teilszenarien ergeben haben. Im Folgenden werden die zu Grunde gelegten Einzelszenarien ausführlicher beschrieben.

5.1 Szenario KW0: Trendmäßige Entwicklung der Temperatur und des Niederschlags in den beiden Realisierungen CLM1 und CLM2 in der Nahen Zukunft

Temperatur

Eine Zunahme der Lufttemperatur in der ELR ist bereits in den Messdaten der Vergangenheit erkennbar. Dieser Trend setzt sich in der Zukunft fort. Ein Ensemble aus sieben Berechnungen Regionaler Klimamodelle zeigt in der ELR bis 2050 eine Temperaturzunahme in einer Spanne von +0,5 °C bis +1,5 °C, im Mittel liegen die Temperaturzunahmen bei etwa +1,0 °C. Die beiden untersuchten Temperaturzeitreihen des Regionalen Klimamodells CLM weisen in der Nahen Zukunft (2021-2050) eine leicht überdurchschnittliche Temperaturzunahme gegenüber dem Referenzzeitraum (1961-1990) aus. Sie liegen in der ELR in den beiden Realisierungen bei +1,1 °C (CLM1) bzw. +1,2 °C (CLM2).

Die Temperaturzunahmen der Zukunft variieren in den einzelnen Jahreszeiten. Während in der ELR in der Vergangenheit die größten Zunahmen im Frühling und die geringsten Zunahmen im Herbst registriert wurden, ist die Stärke der Trends für die Nahe Zukunft gegenläufig. In Zukunft werden im Frühling geringere Temperaturzunahmen in der ELR erwartet, während im Herbst die Zunahmen überdurchschnittlich ausfallen. Unterschiede im Temperaturtrend der einzelnen Jahreszeiten in den beiden CLM-Läufen bis zu 0,8 °C zeigen dabei, dass Klimaveränderungen immer durch eine große natürliche Klimavariabilität überlagert werden.



Neben mittleren Temperaturveränderungen werden sogenannte Kenntage ermittelt, um Veränderungen von besonders hohen oder besonders niedrigen bzw. gar extremen Lufttemperaturen quantifizieren und vergleichen zu können. Der Trend zu wärmeren Temperaturen in der ELR lässt sich auch an diesen Kenntagen erkennen. Nicht nur die Sommertage, sondern auch die Extrema – die heißen Tage und Tropennächte – nehmen in der Nahen Zukunft zu, während Frost- und Eistage

deutlich weniger werden. Jahre mit heißeren Sommern (siehe auch Szenario KW1) und milderem Wintern werden in der Zukunft somit deutlich häufiger auftreten.

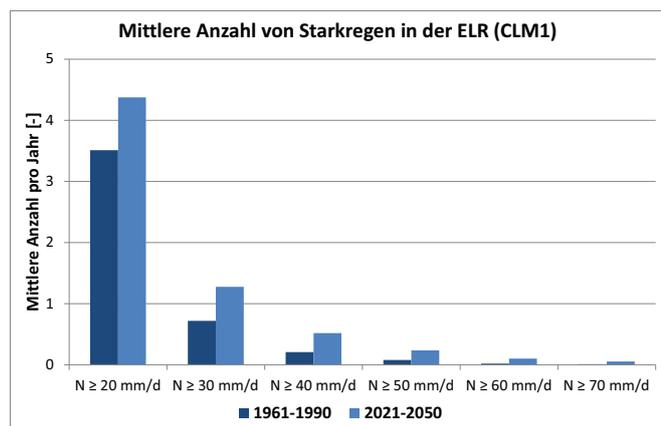
Niederschlag

Die mittleren Jahressummen des Niederschlags verändern sich in der Nahen Zukunft nicht mehr wesentlich. Während in der Vergangenheit (1931-2010) die Niederschläge in der ELR um etwa +20 % zugenommen haben, setzt sich dieser Trend für den Zeitraum 2021-2050 nicht in dem Maße fort. Die mittleren Niederschlagsjahressummen des betrachteten Ensembles betragen dann zwischen 98 % und 111 % der Jahressummen im Referenzzeitraum, im Mittel wird eine Zunahme um +4 % projiziert. Die beiden CLM-Realisierungen liegen im Durchschnittsbereich (CLM1) bzw. an der oberen Grenze (CLM2) des Ensembles. Die mittleren Niederschlagszunahmen sind dabei im Sommer etwas geringer als in den anderen Jahreszeiten.

Betrachtet man die Anzahl der Trockentage pro Jahr, also Tage mit einer Niederschlagssumme $N \leq 0,1$ mm, bleiben die Werte in der Nahen Zukunft durchschnittlich auf dem Niveau des Referenzzeitraums von knapp 180 Tagen pro Jahr. Dabei ist allerdings eine Verschiebung in den Jahreszeiten zu verzeichnen. So nimmt die Anzahl trockener Tage im Sommer tendenziell zu, während im Winter und Frühling weniger Trockentage zu erwarten sind.

Des Weiteren muss sich die ELR darauf einstellen, dass vor allem lange Trockenperioden zunehmen, wobei eine Trockenperiode hier durch das direkte Aufeinanderfolgen von Trockentagen definiert wird. Während kurze Trockenperioden bis zu etwa zehn Tagen in Zukunft noch ähnlich häufig auftreten wie in der Vergangenheit, nehmen länger andauernde Trockenperioden immer stärker zu. So verdoppelt sich die Häufigkeit der Trockenperioden über 21 Tage in der Nahen Zukunft gegenüber dem Referenzzeitraum, und es wird mit noch längeren Trockenperioden zu rechnen sein als bisher.

Auch im Hinblick auf Starkregen macht sich der Klimawandel in der ELR bemerkbar. Bereits in der Vergangenheit zeigt sich eine Zunahme von kleineren Starkregen, die durchschnittlich alle zwei Jahre oder häufiger auftreten. Für seltene große Starkregen ist bislang kein eindeutiger Trend nachweisbar. Dies wird sich in Zukunft allerdings ändern. Die Entwicklungen in den Klimamodelldaten deuten darauf hin, dass auch die seltenen Starkregen zunehmen. Bis Mitte des Jahrhunderts ist mit Klima bedingten



Zunahmen von statistischen Niederschlagshöhen in der Größenordnung bis zu +10 % zu rechnen. Bereits eine geringe prozentuale Zunahme führt aber zu einer erheblichen Verschiebung der Wiederkehrzeiten. Niederschläge, die in der Vergangenheit eine Wiederkehrzeit von $T = 100$ a besaßen, treten in Zukunft alle 50 a auf, und auch bei kleineren Starkregen nehmen die Wiederkehrzeiten ab (z. B. von $T = 5$ a auf $T = 3$ a).

5.2 Szenario KW1: Trockener und heißer Sommer

Zur Beschreibung eines trockenen und heißen Sommers werden zwei extreme Jahre aus den Klimamodelldaten ausgewählt, da je nach Ausprägung unterschiedliche Betroffenheiten vorliegen. Die beiden ausgewählten Sommer zeigen, dass Trockenheit und Hitze in unterschiedlichen Erscheinungsformen auftreten können, auch wenn für das Regionalszenario (siehe Kapitel 4.3) nur der Sommer 2024 berücksichtigt wurde.

Bei dem einen Jahr handelt es sich um einen Hochsommer mit einer extremen Hitzewelle und Trockenheit über vier Wochen. Bei dem anderen Jahr herrschen über insgesamt drei Monate innerhalb der Vegetationsperiode hohe Temperaturen und Trockenheit, Perioden mit extremer Hitze dauern aber nie länger als eine Woche an und werden von einzelnen kühleren Tagen unterbrochen. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich nicht um eine Klimaprognose für die aufgeführten Jahre handelt, sondern um eine Klimaprojektion, wie sie in der Nahen Zukunft irgendwann auftreten könnte.

Datensatz CLM1, Sommer 2036 (12.07. – 08.08.)

Nach einem durchschnittlichen Juni mit häufigen, kleinen Regenschauern, einigen Sommertagen und vereinzelt heißen Tagen, beginnt Mitte Juli eine ausgeprägt heiße und trockene Periode, die über insgesamt vier Wochen anhält. In dieser Zeit steigen die Temperaturen drei Wochen lang über 30 °C, an 10 Tagen herrscht sogar eine ausgeprägte Hitze über 35 °C und selbst die 40°C- Marke wird an zwei Tagen überschritten. Eine Abkühlung nachts findet kaum statt, da die Temperaturen nicht unter 15 °C fallen. Insbesondere in den Städten ist damit zu rechnen, dass die Temperaturen in den Nächten noch deutlich höher liegen. Regen fällt während dieser Hitzewelle überhaupt nicht. Erst ab Mitte August treten vermehrt wieder Niederschläge auf, die auch eine Abkühlung der Luft mit sich bringen, wenngleich es bis in den September hinein sommerlich bleibt mit einigen heißen Tagen.

Datensatz CLM1, Sommer 2024 (01.05. – 05.08.)

Bereits der Mai, der an sich noch zum Frühling zählt, weist einen sommerlichen Charakter auf. Die Temperaturen steigen häufig über 25 °C, streckenweise auch über 30 °C. Ende Mai tritt eine erste ausgeprägte Hitzeperiode auf, in der die Temperaturen kurzzeitig sogar über 40 °C ansteigen. Im Juni und Juli bleiben die Temperaturen auf einem hohen Niveau. Eine heiße Periode folgt der nächsten. Diese werden jeweils von einzelnen Tagen mit kühleren Temperaturen unter 25 °C unterbrochen, in denen auch die Nächte entsprechend kühler sind. Häufig werden diese kühleren Tage von kurzen Regenfällen begleitet, die allerdings keine größeren Niederschlagsmengen bringen, sodass zusätzlich zur Hitze eine ausgeprägte Trockenheit herrscht. Da auch der vorangehende Winter und Frühling mit durchschnittlich 40 mm Niederschlag pro Monat ebenfalls äußerst trocken waren und somit nur wenig Wasservorräte geschaffen werden konnten, ist mit einer Wasserknappheit in diesem Sommer zu rechnen.

Auch im Sommer 2024 tritt wie im Sommer 2036 von Mitte Juli bis Anfang August eine längere Hitze- und Trockenperiode auf, auch wenn die Dauer und die Spitzenwerte nicht ganz das hohe Niveau vom Sommer 2036 erreichen. Innerhalb von drei Wochen steigen die Temperaturen an 14 Tagen über 30 °C, an 7 Tagen davon sogar über 35 °C. Insgesamt treten im Gesamtzeitraum von 97 Tagen 67 Sommertage und 39 heiße Tage auf, 15 Tage sind mit Maximaltemperaturen von mehr als 35 °C sogar extrem heiß. In den drei Monaten Mai, Juni und Juli fallen durchschnittlich 27 mm Niederschlag pro Monat. Erst im August ändert sich das Wetter, die Temperaturen fallen deutlich ab und es regnet ergiebig.

5.3 Szenario KW2: Nasser Winter

Zur Beschreibung eines nassen Winters wird wie beim Szenario KW1 ein extremes Jahr aus den Klimamodelldaten ausgewählt. Auch hier handelt es sich nicht um eine Klimaprognose für das aufgeführte Jahr, sondern um eine Klimaprojektion, wie sie in der Nahen Zukunft irgendwann auftreten könnte.

Datensatz CLM2, Winter 2041/2042

Während der September und Oktober bezüglich ihrer Niederschläge eher unauffällig sind, folgt ab November eine extrem nasse Periode, die über drei Monate bis Ende Januar andauert. Dieser Spätherbst / Winter ist geprägt durch aneinander gereihete, tagelang andauernde und teils ergiebige Niederschläge, die lediglich durch kurze trockene Perioden von ein bis drei Tagen unterbrochen werden. Die Niederschläge fallen größtenteils in Form von Regen, da der Winter gleichzeitig sehr mild ist. Lediglich in den ersten beiden Dezemberwochen gelangen die Temperaturen in den negativen Bereich, sodass nur in dieser Zeit Schnee fällt. Die täglichen Niederschlagssummen sind streckenweise so hoch, dass mit vermehrten winterlichen Hochwässern zu rechnen ist.

Diese lang andauernde niederschlagsreiche Zeit führt zu extrem hohen Niederschlagssummen in den Monaten November (177 mm), Dezember (128 mm) und Januar (117 mm). Erst im Februar wird es trocken. Hier liegt die monatliche Niederschlagssumme gerade mal bei 5 mm.

5.4 Szenario KW3: Vermehrte Starkniederschläge

Zwar wird der Trend zu vermehrten Starkniederschlägen in der Nahen Zukunft bereits im Szenario KW0 beschrieben. Wie sich solche trendmäßigen Zunahmen aber im Extremfall auswirken können, wird in diesem Szenario für ein ausgewähltes Jahr mit einer extremen Häufung von Starkregen erläutert. Erneut handelt es sich hier nicht um eine Klimaprognose für das aufgeführte Jahr, sondern um eine Klimaprojektion, wie sie in der Nahen Zukunft irgendwann auftreten könnte.

Datensatz CLM2, 2041

Starkregenereignisse ($N \geq 20$ mm pro Tag), die in dieser Region heutzutage durchschnittlich drei- bis viermal pro Jahr auftreten, sind in diesem Jahr mehr als doppelt so häufig zu beobachten. Darunter befinden sich auch Ereignisse, die im statistischen Mittel deutlich seltener als einmal pro Jahr auftreten und entsprechend größer sind. Die Starkregen konzentrieren sich zum einen auf die Monate Juli und August, zum anderen auf den November und Dezember.

Die Ereignisse im Sommer weisen in der Regel eine andere Charakteristik auf als die winterlichen Starkregen. Für den Sommer typisch sind sogenannte konvektive Starkregenereignisse mit kurzen, meist örtlich begrenzten, hohen Intensitätsspitzen, die lokal zu Überlastungen von Straßen und Kanalnetzen führen können. Heraus sticht ein Extremereignis im Juli, bei dem innerhalb weniger Stunden rund 80 mm Niederschlag fallen und das eine Wiederkehrhäufigkeit von weniger als einmal in 100 Jahren besitzt. Trotz des konvektiven Charakters mit lokalen Niederschlagsspitzen, die noch über die 80 mm hinausgehen können, treten die hohen Niederschläge großflächig in einem Zellverbund auf. Als Folge resultieren neben den für diesen Niederschlagstyp typischen lokalen Überlastungen des Kanalnetzes auch Hochwässer in den Bächen und Flüssen.

Die winterlichen (advektiven) Starkregen treten häufig viel großflächiger auf, besitzen aber nicht so ausgeprägte Intensitätsspitzen. Die Betroffenen zeigen sich hier vor allem durch Hochwässer in den Flüssen und Bächen. Im ausgewählten Jahr kommt es neben dem extremen Starkregenereignis im Sommer zu einem weiteren Starkregenereignis, das immerhin eine Wiederkehrhäufigkeit von etwa einmal in 20 Jahren aufweist. Wie das Extremereignis im Sommer tritt auch das Winterereignis

großflächig auf, allerdings dieses Mal nicht über wenige Stunden, sondern über rund 2 ½ Tage und führt somit zu einer lang andauernden angespannten Hochwassersituation in der Region.

Wegen der im Sommer häufiger auftretenden extremen Starkniederschlagsereignissen ist mit mehr Überlastungen des Kanalnetzes zu rechnen. Somit nimmt der Entwässerungskomfort durch häufiger auftretenden Rückstau und Überstau in den Straßen ab. Damit verbunden ist auch eine Zunahme der Mischwasserentlastungen in die Fließgewässer.

5.5 Szenario SÖO: Referenzszenario der trendmäßigen sozioökonomischen Entwicklung

Die Region entwickelt sich hinsichtlich der Bevölkerungszahl und Altersstruktur entsprechend der Trendvariante der amtlichen Bevölkerungsvorausberechnung. Das *dynaklim*-Gebiet muss sich auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte auf einen unterschiedlich starken Bevölkerungsrückgang bis 2030 einstellen, der sich auch in dem Bedarf an Trinkwasser und dem Aufkommen an Abwasser durch die Haushalte bemerkbar macht. Die in der Vergangenheit festzustellenden Einsparungen in dem spezifischen Trinkwasserbedarf der Haushalte je Einwohner werden sich auch in Zukunft fortsetzen. Der Rückgang wird aber durch die bisherige Ausschöpfung einfacher Wasserspartechniken geringer ausfallen. Die regionalen Unterschiede in dem spezifischen Trinkwasserbedarf der Haushalte werden sich in der Relation nicht verändern. Analog zur Änderung des spezifischen Trinkwasseraufkommens werden sich die spezifischen Abwassermengen der Haushalte reduzieren.

Der demografische Wandel wirkt sich durch den Bevölkerungsrückgang und der Änderung der Altersstruktur auch auf den Wasserbedarf einzelner ökonomischer Bereiche aus, wie Kindergärten, Schulen, Universitäten, Pflegeeinrichtungen und Krankenhäuser. Der spezifische Wasserbedarf (je Schüler, Krankenhausbett etc.) wird in diesen Bereichen als konstant angenommen.

Die Wirtschaftsleistung wird sich wie in der Vergangenheit weiter entwickeln und entsprechend ansteigen. Die Verschiebung der sektoralen Struktur wird auch in Zukunft andauern: der Anteil des produzierenden Gewerbes wird moderat schrumpfen. Der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau und die hiermit verbundenen Auswirkungen auf vor- bzw. nachgelagerte Wirtschaftsbereiche werden berücksichtigt.

Die Effizienzsteigerung in der Wassernutzung in den Sektoren produzierendes Gewerbe und Energieerzeugung wird weiter steigen. Die Relation „genutztes Wasser“ zu „eingesetztem Frischwasser“ wird sich entsprechend durch die stärkere Wiedernutzung bzw. Kreislaufführung verbessern. Im Bergbau wird aufgrund des Ausstiegs aus der Steinkohleförderung keine Effizienzsteigerung mehr einstellen. Die Effizienz der Wassernutzung im Dienstleistungsbereich entwickelt sich analog zu den Privathaushalten.

Eine Änderung in der Siedlungsstruktur führt auf der Aggregationsebene der Kreise und kreisfreien Städte zu keiner nennenswerten Verschiebung der spezifischen Wasserverbräuche. Zwar ist anzunehmen, dass in weniger dicht besiedelten Gebieten der *dynaklim*-Region in stärkerem Maße neue Ein- und Zwei-Familien-Häuser mit entsprechenden Grünflächen errichtet werden. Im Vergleich zum Bestand dürfte diese Änderung aber nur gering sein und (gerade in Neubaugebieten) verstärkt durch die Nutzung statt der Ableitung von Regenwasser gekennzeichnet sein. Die regional unterschiedlichen spezifischen Wasserverbräuche auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte spiegeln diesen unterschiedlichen Wasserbedarf ausreichend wieder.

5.6 Szenario SÖ1: klimafreundliche Prosperität

Die Region entwickelt sich hinsichtlich der Bevölkerung und der Wirtschaftsentwicklung überdurchschnittlich gut. Die entsprechende Beanspruchung durch diese Bereiche wird klimafreundlich umgesetzt, was sich in einer entsprechenden Konzentration der jeweiligen Aktivitäten (Wohnen und Arbeiten/Produzieren) deutlich macht und durch einen moderaten Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsflächen abgebildet wird. Die Wertschätzung der natürlichen Ressourcen wird in der Bevölkerung und der Wirtschaft gesteigert, was zu geringeren spezifischen Wasserverbräuchen der Haushalte und des Gewerbes führt.

Durch Flächenengpässe im Kernbereich des Ruhrgebiets wird aber zunehmend Arbeiten und Produzieren auch im Lippegebiet stattfinden. Auf der anderen Seite werden durch die entsprechend hohe Bevölkerung Freizeitangebote in der Fläche beansprucht.

Die Umsetzung des Regionalplans des Regionalverbandes Ruhr führt zu einer Stärkung des „industriellen Kerns“ der Region, so dass der Prozess der Deindustrialisierung verringert wird. Der spezifische Kühlwasserbedarf der Wirtschaft wird sich moderat erhöhen. Die entsprechende Steigerung in der Energieproduktion wird durch einen stärkeren Anteil erneuerbarer Energien bestritten und somit den Einsatz von Wasser in geringerem Maße ansteigen lässt. Der Ausstieg aus der Steinkohleförderung bleibt unverändert bestehen. Die Entwässerung der ehemaligen Bergbauflächen wird wie bisher durchgeführt.

Die Wasserversorgung muss in der Menge des Wasserdargebots auf die sich ändernde Nachfrage der Bevölkerung und der Wirtschaft eingehen. Die Neuerrichtung von Versorgungsleitungen wird sich dabei in Grenzen halten. Gleiches gilt für die Abwasserentsorgung. Die Regenwasserableitung steht unter den Rahmenbedingungen einer verstärkten ortsnahe Versickerung. Die Initiative der Emschergenossenschaft (Zukunftsvereinbarung Regenwasser) ist erfolgreich. Auch in der Lipperegion kommt es zu einer stärkeren Abkopplung.

5.7 Szenario SÖ2: Schwierigkeiten im Strukturwandel

Die Region wird deutliche Schwierigkeiten in der Umsetzung einer zukunftsgerichteten positiven Entwicklung haben. Die Attraktivität als Arbeits-, Lebens- und Wohnstandort wird sich verschlechtern. Neben den bereits von der amtlichen Statistik angenommenen Effekten in der Basisvariante werden sich wanderungsbedingt zusätzliche Rückgänge in der Bevölkerungszahl einstellen. Die Änderung der spezifischen Wasserverbräuche der Haushalte wird sich analog zum Referenzszenario (SÖ0) einstellen.

Gleiches gilt für die spezifischen Wasserverbräuche der Wirtschaftssektoren. Der Prozess der Deindustrialisierung und der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau werden sich analog zum Referenzszenario einstellen.

Für die Abwasserentsorgung wird ein verminderter Neubau und Erschließung von Flächen für Wohn- und Gewerbezwecke konstatiert. Durch die Alterung der Bevölkerung und damit der Eigentümer kommt die zusätzliche Abkopplung von versiegelten Flächen von der Regenwasserableitung ins Stocken. Der Anteil der bereits jetzt abgekoppelten Flächen wird daher als konstant angenommen. Für die Flächen im Lippeeinzugsgebiet werden keine zusätzlichen Abkoppelungsinitiativen durchgeführt.

LITERATURVERZEICHNIS

Deppisch, Sonja (Hrsg.) (2011): Transdisziplinäre Impulse zur Anpassung von Stadtregionen an die Folgen des Klimawandels; Hamburg: HafenCity Universität Hamburg, neopolis working papers: urban and regional studies; 11.

Gausemeier, Jürgen et.al. (1996): Szenario-Management. Planen und Führen mit Szenarien , 2., bearb. Aufl., München (u.a.).

Kersting, M.; Werbeck, N. (2013): Trinkwasser und Abwasser in Zeiten des Wandels. Eine Szenarienbetrachtung für die *dynaklim*-Region, *dynaklim*-Publikation (i.E.).

Lautenschläger, M.; Keuler, K.; Wunram, C.; Keup-Thiele, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B.; Böhm, U. (2009): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.1 / no.2, Scenario A1B run no.1 / no.2, Data Stream 3: European region MPI-M/MaD; World Data Center for Climate.

Quirnbach, M.; Freistühler, E.; Papadakis, I. (2012): Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region – Analysen zu den Parametern Lufttemperatur und Niederschlag, *dynaklim*-Publikation No. 30, November 2012.

Richter, Michael (2011): Klimawirkungen und Szenarien – Zukunftsvisionen als „Werkzeug“ zur Anpassung?

Autor/in

M. Quirnbach, E. Freistühler,
dr. papadakis GmbH, Hattingen
M. Kersting
RUFIS e.V., Bochum
B. Wienert
FiW e.V. a.d. RWTH Aachen

Projektbüro *dynaklim*

Birgit Wienert
Mozartstraße 4
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 38
wienert@fiw.rwth-aachen.de

www.dynaklim.de