



B. Kupilas,  
Prof. Dr. T. Buttschardt, F. Müller

# Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

Gefördert durch:





# BEDEUTUNG DER MAßNAHMEN NACH EG-WASSERRAHMENRICHTLINIE FÜR DIE ANPASSUNG VON FLIEßGEWÄSSERN AN DEN KLIMAWANDEL

DIPLOMARBEIT IM RAHMEN DES NETZWERK- UND FORSCHUNGSPROJEKTES *DYNAKLIM*  
STUDIENGANG LANDSCHAFTSÖKOLOGIE

Benjamin Kupilas, Prof. Dr. Tillmann Buttschardt, Dipl. Geologe Frank Müller

**Westfälische Wilhelms-Universität Münster**

www.uni-muenster.de

**ahu AG Wasser • Boden • Geomatik, Aachen**

www.ahu.de

---

*dynaklim*-Publikation Nr. 10 / Juli 2011

---



## Abstract

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Netzwerk- und Forschungsprojekts *dynaklim* verfasst. Klimaprognosen zeigen für Deutschland neben einer fortschreitenden Erwärmung auch mögliche Veränderungen im Niederschlagsregime. Dies betrifft den mittleren Zustand, die saisonale Verteilung und das Extremverhalten. Diese Entwicklungen werden die Eigenschaften und die Beschaffenheit von Gewässern direkt und indirekt beeinflussen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer müssen bei der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), dem zentralen Instrument zum Schutz und zur Verbesserung der Gewässerökosysteme in Europa, berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Maßnahmen nach WRRL im Hinblick auf den Klimawandel untersucht. Es wurde eine Bewertungsmatrix erstellt, anhand derer Aussagen über die Bedeutung einzelner WRRL-Maßnahmen für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel möglich sind und die eine Abschätzung über die Einfluss des Klimawandels auf die Wirksamkeit der Maßnahme erlaubt.

Bei der Bewertung wurden alle Maßnahmen betrachtet, die auf Basis des standardisierten Maßnahmenkatalogs nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) an Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen umgesetzt werden. Die entwickelte Matrix wurde anschließend auf das Maßnahmenprogramm des Emscher-Einzugsgebietes angewendet.

Die Bewertungsmatrix zeigt, dass ein Großteil der bewerteten Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung an direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer leisten kann und somit für die Anpassung von Bedeutung ist. Die Untersuchung der Klimasensitivität hat ergeben, dass sich die Maßnahmen in diesem Punkt stark unterscheiden. Teils wird ihre Wirkung durch die Klimaveränderungen (Temperaturzunahme, Niederschlagszunahme inkl. Starkniederschlägen und Niederschlagsabnahme) verstärkt, teils wird sie gemindert. In einigen Fällen ist der Einfluss der Klimaveränderungen auf die Wirkung der Maßnahmen nicht signifikant.

## Inhalt

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1     | Einführung                                                | 4  |
| 2.    | Klimawandel und Wasserrahmenrichtlinie                    | 5  |
| 2.1   | Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf Fließgewässer  | 5  |
| 2.2   | Die EG-Wasserrahmenrichtlinie und der Klimawandel         | 12 |
| 3.    | Untersuchungsgebiet                                       | 13 |
| 3.1   | Das Emscher-Einzugsgebiet                                 | 13 |
| 3.2   | Klimawandel im Emscher-Einzugsgebiet                      | 15 |
| 3.2.1 | Exkurs: Regionale Klimamodelle                            | 15 |
| 3.2.2 | Klimaprojektionen für das Emschergebiet                   | 17 |
| 4.    | Methodik                                                  | 19 |
| 4.1   | Bewertung der Maßnahmen und Erstellung der Matrix         | 19 |
| 4.1.1 | Ausgangsmaterial und Datengrundlage                       | 19 |
| 4.1.2 | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel    | 20 |
| 4.1.3 | Klimasensitivität der Maßnahmen                           | 21 |
| 4.1.4 | Bewertungsmatrix und Erläuterungsdokument                 | 23 |
| 4.2   | Anwendung der Bewertungsmatrix auf das Emschergebiet      | 23 |
| 4.3   | Ansatz zur Bestimmung der Klimasensitivität von Gewässern | 23 |
| 5.    | Ergebnisse und Erläuterungen                              | 24 |
| 5.1   | Bewertungsmatrix                                          | 25 |
| 5.1.1 | Aufbau der Bewertungsmatrix                               | 25 |
| 5.1.2 | Ergebnisse und Erläuterungen                              | 25 |
| 5.2   | Anwendung der Bewertungsmatrix auf das Emschergebiet      | 30 |
| 5.3   | Ansatz zur Bestimmung der Klimasensitivität von Gewässern | 32 |
| 6.    | Diskussion                                                | 32 |
| 7.    | Zusammenfassung                                           | 39 |
| 8.    | Danksagung                                                | 40 |
| 10.   | Anlagen                                                   | 47 |
|       | Abschließende Erklärung                                   | 74 |

## Abbildungsverzeichnis

|           |                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 2.1: | Vergleich der Anomalien der globalen Jahresmitteltemperatur von 1850 bis 2009 (Referenzperiode 1961 – 1990) für drei unabhängige Datensätze                                                                                            | 6  |
| Abb. 2.2: | Rangfolge der weltweit wärmsten 50 Jahre. Das kleine Bild zeigt die Reihenfolge für alle Jahre seit 1850.                                                                                                                              | 6  |
| Abb. 2.3: | Globale Mittelwerte der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980 – 1999) für die Szenarien A2, A1B und B1 als Fortsetzungen für das 20. Jahrhundert. Die Balken zeigen die beste Schätzung und die abgeschätzte Bandbreite.     | 7  |
| Abb. 2.4: | Grundstruktur der IPCC-Emissionsszenarien                                                                                                                                                                                              | 8  |
| Abb. 2.5: | Mögliche mittlere Änderungen beim Niederschlag und der Temperatur bis Ende des 21. Jh. (2071 – 2100) gegenüber dem Referenzzeitraum (1961 – 1990)                                                                                      | 9  |
| Abb. 3.1: | Die dynaklim-Projektregion                                                                                                                                                                                                             | 13 |
| Abb. 3.2: | Fließgewässertypen im Emscher-Einzugsgebiet                                                                                                                                                                                            | 14 |
| Abb. 3.3: | Planungseinheiten im Teileinzugsgebiet der Emscher                                                                                                                                                                                     | 15 |
| Abb. 3.4: | Schematische Darstellung des "downscaling"-Verfahrens                                                                                                                                                                                  | 16 |
| Abb. 4.1: | Verwendete Symbolik für die Darstellung des Beitrags einer Maßnahme zur Anpassung des Gewässers an den Klimawandel                                                                                                                     | 21 |
| Abb. 4.2: | Verwendete Symbolik für die Darstellung der Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                            | 22 |
| Abb. 5.1: | Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Bewertung der untersuchten Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur Anpassung von Gewässern an den Klimawandel                                                                                 | 26 |
| Abb. 6.1: | Prozentuale Verteilung der insgesamt 61 bewerteten Maßnahmen auf die Kategorien „Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen“, „Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen“, „kein signifikanter Beitrag“ und „keine Bewertung“ | 35 |

## Tabellenverzeichnis

|           |                                                                                                                 |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 2.1: | Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Beschaffenheit und Eigenschaften von Fließgewässern           | 11 |
| Tab. 3.1: | Klimatische Veränderungen in Nordrhein-Westfalen auf Grundlage des Szenarios A1B gegenüber dem Referenzzeitraum | 18 |
| Tab. 4.1: | Kategorien zur Beschreibung des Einflusses von Klimaveränderungen auf die Wirkung der Maßnahmen                 | 22 |
| Tab. 5.1: | Beitrag der Maßnahmen im Emscher-Einzugsgebiet zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel                    | 31 |
| Tab. 5.2: | Einzugsgebietsgrößen der Wasserkörper an der Boye                                                               | 32 |

## Anlagenverzeichnis

|            |                                                             |    |
|------------|-------------------------------------------------------------|----|
| Anlage 1:  | Bewertungsmatrix                                            | 61 |
| Anlage 2:  | Erläuterungsdokument zur Bewertungsmatrix                   | 66 |
| Anlage 3:  | Wasserkörper-Einzugsgebietsgrößen an der Boye (1 : 100.000) | 85 |
| Anlage 3a: | Wasserkörper-Einzugsgebietsgrößen an der Boye (1 : 50.000)  | 86 |
| Anlage 4:  | Einzugsgebiet der Emscher (1 : 220.000)                     | 87 |

# 1 Einführung

## Hintergrundinformationen

Im Rahmen des Netzwerk- und Forschungsprojektes *dynaklim* (Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region) soll die Basis für eine zukünftige Anpassung der Region Emscher-Lippe an die Auswirkungen des Klimawandels entwickelt werden (Merkel et al. 2010). Das Projekt ist Teil des Programms „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG)“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Merkel et al. 2010). Im Zentrum des auf fünf Jahre angelegten Vorhabens stehen dabei die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf den regionalen Wasserhaushalt (FiW 2010a, Merkel et al. 2010). Die Anfertigung der vorliegenden Arbeit erfolgte im Rahmen des *dynaklim*-Projektes. Der Fokus der Arbeit liegt auf dem in der Projektregion gelegenen Einzugsgebiet der Emscher (Abb. 3.1).

Klimaprojektionen für Mitteleuropa zeigen neben dem Anstieg der Lufttemperatur auch eine Zunahme in der Saisonalität der Niederschläge (IPCC 2007a). Für Deutschland ist demnach mit milderem und feuchteren Wintern sowie wärmeren und trockeneren Sommern mit häufigeren Starkniederschlägen zu rechnen (UBA 2008, MUNLV et al. 2009, FiW 2010b). Diese Entwicklungen werden sich auf die regionalen Wasserhaushalte und somit auch auf die Fließgewässer auswirken (IPCC 2007b, 2007c, 2008). So haben die Klimaveränderungen auch einen Einfluss auf die Hydromorphologie, den Chemismus und die Lebensgemeinschaften der Gewässer (KLIWA 2010a).

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist das zentrale Instrument zum Schutz und zur Verbesserung der Gewässerökosysteme in Europa (MUNLV 2003, European Communities 2009) und muss deshalb bei der Betrachtung von Fließgewässern und deren Beschaffenheit berücksichtigt werden. In den Papieren der WRRL wird der Klimawandel zwar nicht explizit erwähnt (Wilby et al. 2006, UBA 2008, European Communities 2009), dennoch soll er bereits im ersten Bewirtschaftungszeitraum grundlegend mit einbezogen werden (MUNLV et al. 2009). Dies ist aus mehreren Gründen von Bedeutung: Zum einen stellt der Klimawandel eine zusätzliche Belastung der Gewässer dar und kann das Erreichen der Zielvorgaben nach WRRL erschweren (European Communities 2009, MUNLV et al. 2009); zum anderen kann die WRRL einen geeigneten Rahmen zur Anpassung von Gewässern an den Klimawandel darstellen (UBA 2008, European Communities 2009). Der Klimawandel wird darüber hinaus nach allgemeiner fachlicher Einschätzung die im Rahmen der WRRL umzusetzenden Maßnahmen beeinflussen (Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009). Wie dieser Einfluss aussieht und ob die Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel leisten, soll in dieser Arbeit geklärt werden.

## Zielsetzung

Ziel der Diplomarbeit ist der Aufbau und die Erstellung einer Bewertungsmatrix für Maßnahmen nach WRRL. Unter besonderer Berücksichtigung des Klimawandels werden alle Maßnahmen betrachtet, die nach MUNLV (2008a) an Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen umgesetzt werden sollen. Anhand der Bewertungsmatrix sollen Aussagen über die Bedeutung der einzelnen Maßnahmen für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel möglich sein. Hierfür soll eine Methodik entwickelt werden, auf deren Grundlage die geplanten Maßnahmen hinsichtlich der folgenden Punkte bewertet werden können:

- Beitrag der Maßnahme nach WRRL zur Anpassung von Fließgewässern an die Auswirkungen des Klimawandels,
- Klimasensitivität der Maßnahme nach WRRL (Einfluss des Klimawandels auf die Wirksamkeit der Maßnahme).

Im Rahmen der Bewertungsmatrix werden alle relevanten Maßnahmen systematisch aufgelistet und bewertet. Die Bewertungen sollen zudem durch ergänzende Erläuterungen nachvollziehbar sein.

Die entwickelte Bewertungsmatrix soll zusätzlich auf das Emscher-Einzugsgebiet angewendet werden. Hierbei handelt es sich um einen Abgleich sämtlicher in dem Gebiet geplanter Maßnahmen mit der Bewertungsmatrix, um Aussagen über deren Bedeutung für die Anpassung machen zu können. Zudem soll anhand eines geeigneten Beispielgewässers innerhalb des Untersuchungsgebietes ein möglicher Ansatz zur Bestimmung der Sensitivität von Gewässern gegenüber dem Klimawandel vorgestellt werden. Über die Sensitivität der Gewässer kann ihr Bedarf an Anpassungsmaßnahmen ermittelt werden. So könnten entsprechend der jeweils ermittelten Sensitivität zukünftig an klimasensitiveren Gewässern bzw. Gewässerabschnitten bevorzugt Maßnahmen umgesetzt werden, die gemäß der Bewertungsmatrix für die Anpassung von Bedeutung sind.

Somit werden in dieser Arbeit zusätzlich zu dem Aufbau und der Erstellung der Bewertungsmatrix die folgenden Forschungsfragen bearbeitet:

- Leisten die Maßnahmen, die im Emscher-Einzugsgebiet umgesetzt werden sollen, gemäß der entwickelten Bewertungsmatrix einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel?
- Wie kann die Sensitivität von Gewässern bzw. Gewässerabschnitten gegenüber dem Klimawandel bestimmt werden?

### Aufbau der Arbeit

Zu Beginn werden Grundlagen zu den Themen Klimawandel, Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer und WRRL gegeben (Kapitel 2). Sie bieten einen Einstieg in die Thematik. In Kapitel 3 wird das Untersuchungsgebiet vorgestellt. In Kapitel 4 wird die methodische Vorgehensweise bei der Erstellung dieser Arbeit erläutert. Ergebnisse einschließlich Erläuterungen werden im 5. Kapitel dargestellt. Kernpunkte sind hier die entwickelte Bewertungsmatrix und das dazugehörige Erläuterungsdokument (Anlagen 1 und 2). Anschließend folgt in Kapitel 6 die Diskussion der Arbeit. Hier werden u. a. die Erreichung der Zielsetzung, der Aufbau der Bewertungsmatrix und die Vor- und Nachteile der Methodik diskutiert. Zudem werden Schwierigkeiten bei der Bewertung angesprochen und Synergien sowie Konfliktpotenziale durch die Umsetzung der Maßnahmen aufgezeigt. Abschließend wird ein Ausblick gegeben.

## 2. Klimawandel und Wasserrahmenrichtlinie

In diesem Kapitel werden Informationen zum Klimawandel, zu seinen Auswirkungen auf Fließgewässer und zur WRRL gegeben. Das Kapitel bietet einen Einstieg in die Thematik.

### 2.1 Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf Fließgewässer

Aktuell publizierte Datensätze der Raumfahrtbehörde NASA und der amerikanischen Wetterbehörde NAOO zeigen für die globale, bodennahe Lufttemperatur (Stationsdaten), dass das vergangene meteorologische Jahr 2010 (Dezember bis November) das wärmste Jahr seit Beginn der Klimaaufzeichnung war (Rahmstorf 2010). Dies trifft auch auf das Kalenderjahr 2010 zu (Rahmstorf 2011). Westeuropa gehört dabei zu den wenigen Landgebieten, in denen 2010 ein eher kühleres Jahr war (Rahmstorf 2011).

Insgesamt erfährt das globale Klima seit Mitte des 19. Jahrhunderts einen Wandel, der regionale Unterschiede aufweist, im weltweiten Mittel aber die eindeutige Tendenz einer Erwärmung aufzeigt (PIK 2009). Dies ist insbesondere in den letzten Jahrzehnten zu beobachten (PIK 2009). Die Tendenz der Erwärmung ist in Abb. 2.1 dargestellt.

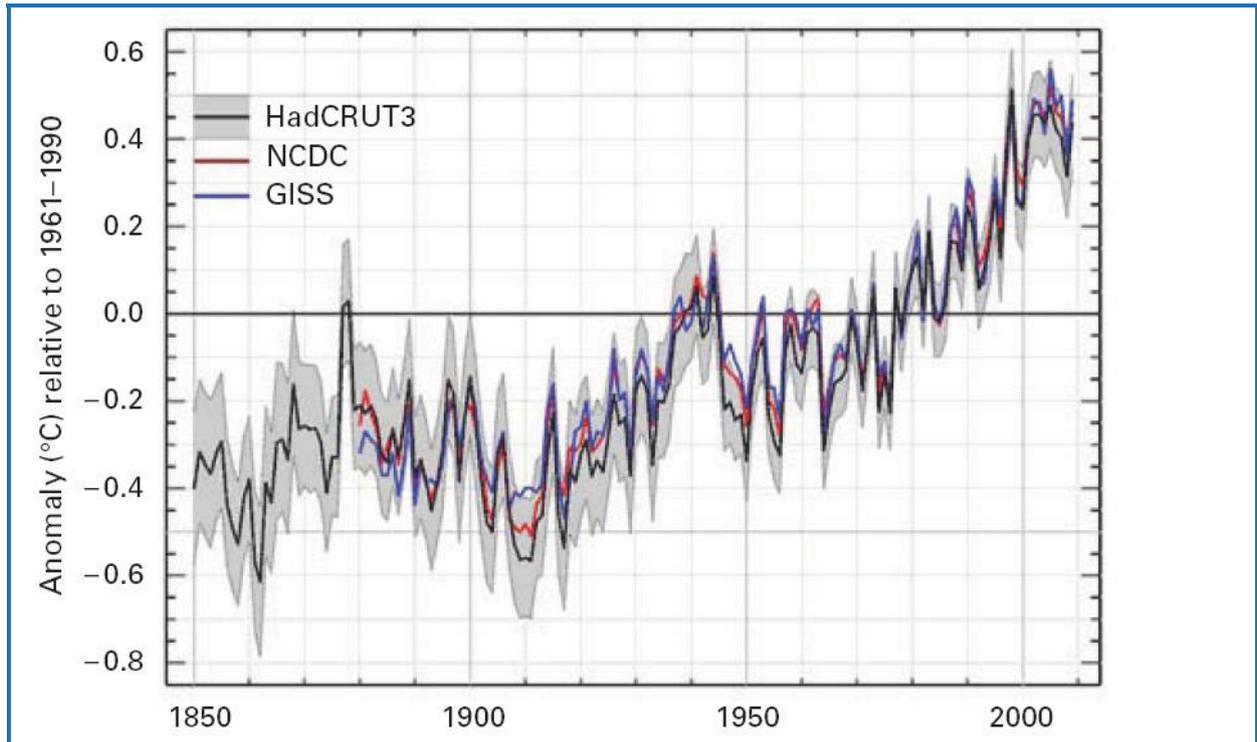


Abb. 2.1: Vergleich der Anomalien der globalen Jahresmitteltemperatur von 1850 bis 2009 (Referenzperiode 1961 – 1990) für drei unabhängige Datensätze (HadCRUT3, NCDC, GISS) (WMO 2010, S. 2)

Die Abb. 2.2 zeigt zusätzlich eine Auflistung der weltweit wärmsten 50 Jahre. Sie bestätigt die Aussage, dass die Erwärmung insbesondere in den letzten Jahrzehnten zu beobachten war. So stammen beispielsweise acht der zehn wärmsten Jahre aus der letzten Dekade (2000 bis 2009).

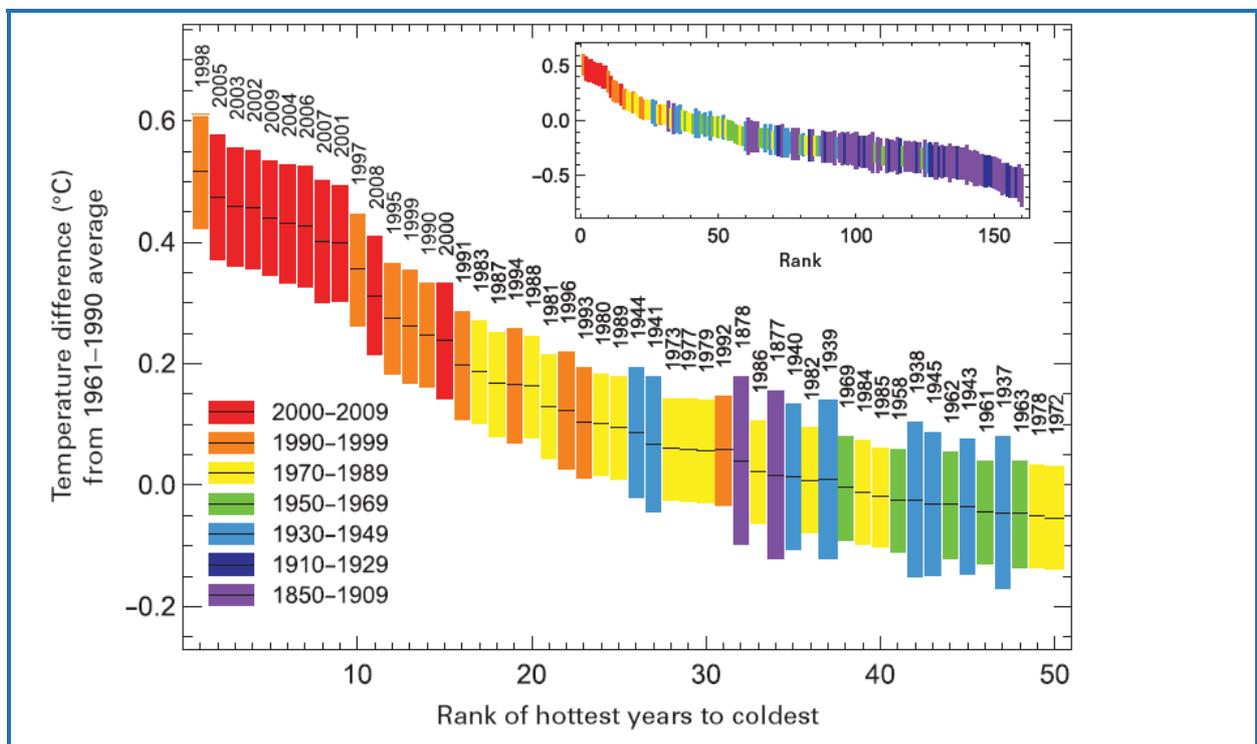
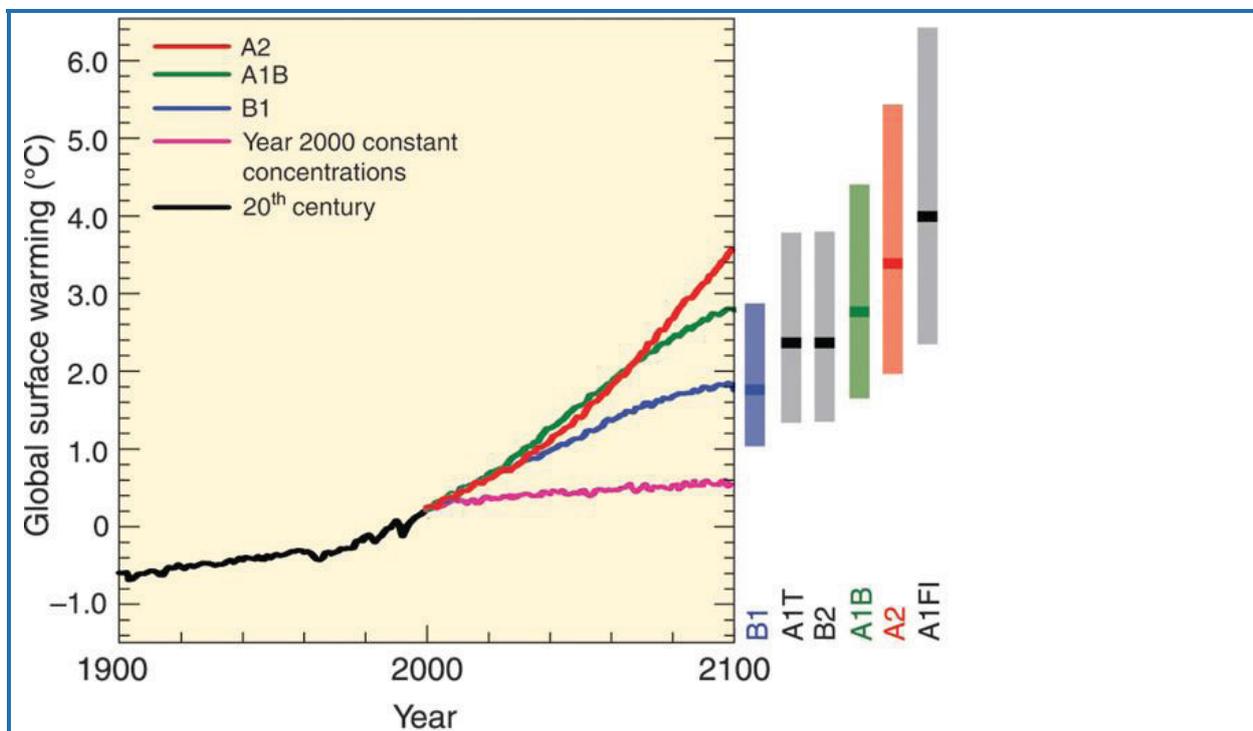


Abb. 2.2: Rangfolge der weltweit wärmsten 50 Jahre. Das kleine Bild zeigt die Reihenfolge für alle Jahre seit 1850. (WMO 2010, S. 2)

Die Erwärmung ist das wohl deutlichste Indiz für einen Klimawandel (Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009, MUNLV et al. 2009). Mit diesem Begriff wird die Zustandsänderung des Klimas bezeichnet, die über die Änderung von Mittelwerten und/oder der Variabilität seiner Eigenschaften identifiziert werden kann (z. B. mittels statistischer Verfahren), und die über einen längeren Zeitraum, typischerweise über Jahrzehnte oder länger, bestehen bleibt (IPCC 2007c). Der Begriff des Klimawandels bezieht sich im Gebrauch nach IPCC auf jegliche Klimaänderung, unabhängig davon, ob es sich um eine natürliche Schwankung handelt oder sie infolge anthropogener Einflüsse auftritt (IPCC 2007c).

Die seit Mitte des 19. Jahrhunderts vergleichsweise rasch stattfindende Erwärmung, ist nicht allein auf natürliche Veränderungen im Klimasystem zurückzuführen (IPCC 2007c). Hierfür werden anthropogene Einflüsse als Ursachen aufgeführt. Insbesondere die zunehmende Emission von Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) infolge menschlicher Aktivität seit der Industrialisierung und die damit einhergehende Zunahme ihrer atmosphärischen Konzentration bewirken eine verstärkte Erwärmung (IPCC 2007c).

Ein Fortgang der Erwärmung bis mindestens zum Jahr 2100 ist nach IPCC (2007c) wahrscheinlich. Dies verdeutlicht die Abb. 2.3.



**Abb. 2.3:** Globale Mittelwerte der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980 – 1999) für die Szenarien A2, A1B und B1 als Fortsetzungen für das 20. Jahrhundert. Die Balken zeigen die beste Schätzung und die abgeschätzte Bandbreite. (IPCC 2007c, S. 46)

Die obige Abbildung zeigt mögliche Pfade der globalen Temperaturzunahme. Diese Pfade basieren auf Emissionsszenarien, die im Jahr 2000 vom IPCC im Special Report on Emissions Scenarios (IPCC 2000) veröffentlicht wurden. Jedes der Szenarien beschreibt eine mögliche zukünftige Entwicklung der globalen Wirtschaft und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen (DWD 2011) und liefert somit Angaben über mögliche zukünftige Entwicklungen des globalen Klimas. Insgesamt gibt es vier zu unterscheidende Szenarienfamilien (A1, A2, B1, B2), die jeweils auf unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich demographischer, ökonomischer, gesellschaftlicher und technologischer Entwicklungen sowie der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen basieren (IPCC 2007c). Die Grundstruktur der Emissionsszenarien ist in Abb. 2.4 dargestellt.

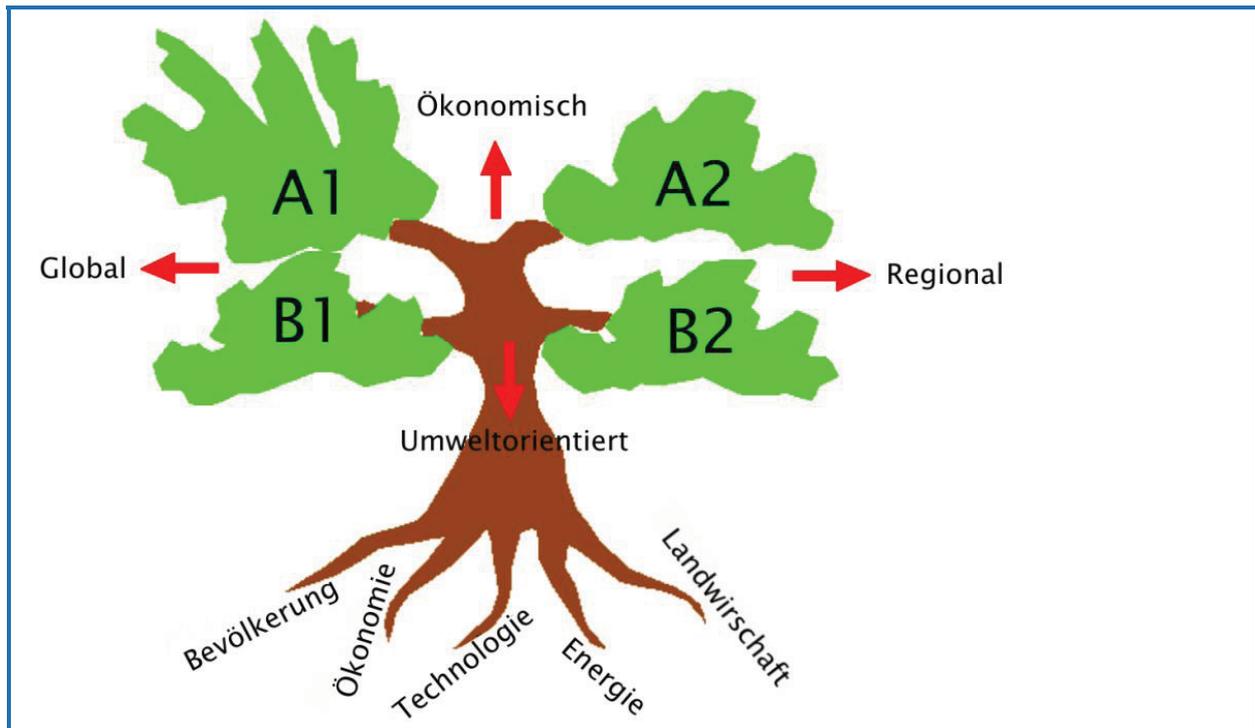
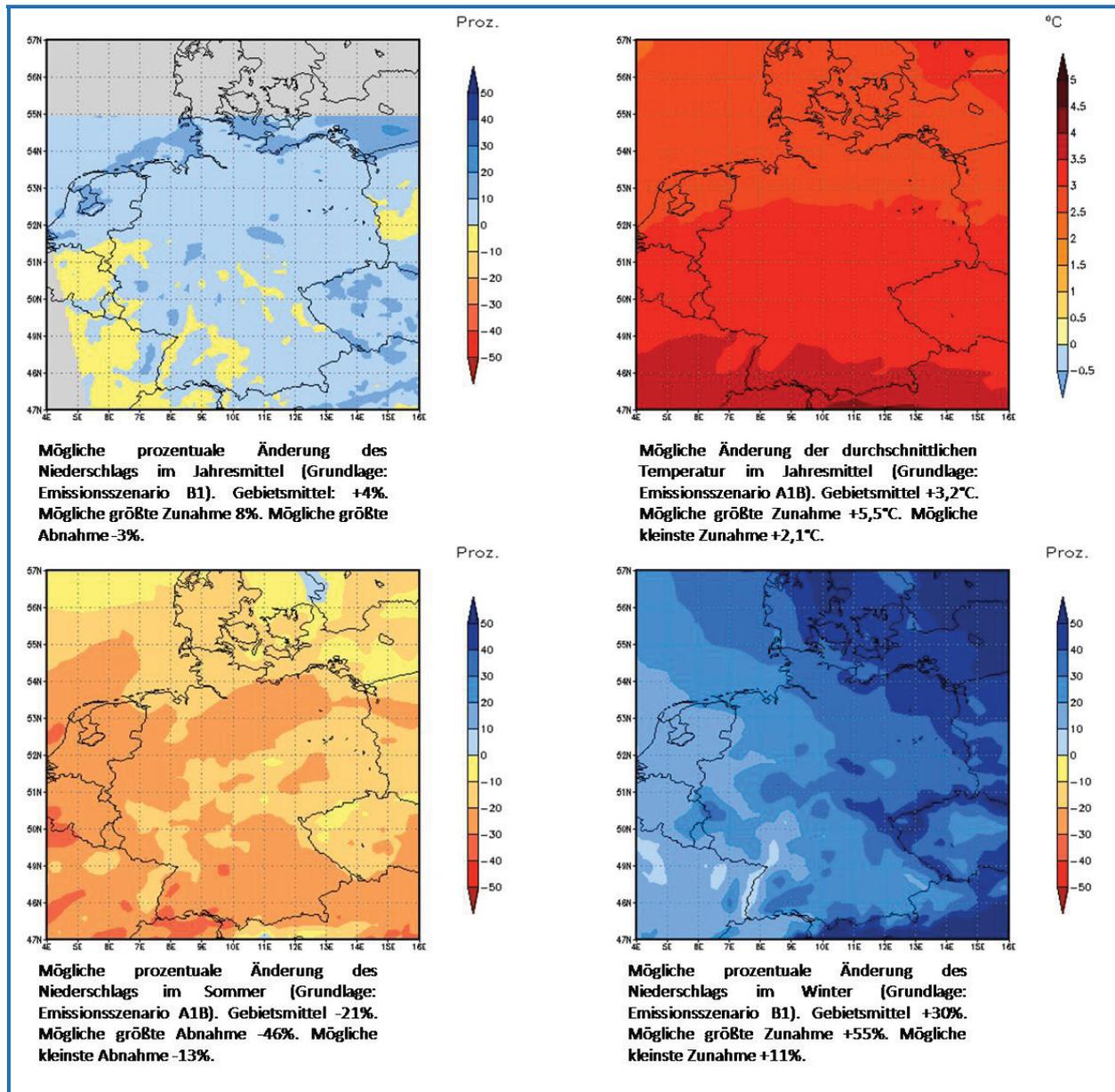


Abb. 2.4: Grundstruktur der IPCC-Emissionsszenarien (UBA 2007, S. 115)

Das Szenario A1 wird dabei in Abhängigkeit von der Nutzung fossiler und regenerativer Energieträger nochmals in die Szenarien A1B, A1FI und A1T differenziert (IPCC 2007c). Jedes der genannten Szenarien ist gleich wahrscheinlich (IPCC 2007c, Papadakis GmbH o. J.). Die Abb. 2.3 verdeutlicht zudem, dass unabhängig von einem bestimmten Szenario mit einer Verschärfung der Umstände zu rechnen ist. Für jedes Szenario wird eine fortschreitende Erwärmung projiziert. Selbst wenn im Jahr 2000 die Konzentrationen an Treibhausgasen konstant gehalten worden wären, hätte zunächst eine weitere Erwärmung stattgefunden.

Mit der Erwärmung gehen weitere Veränderungen einher. So sind zahlreiche Komponenten des Wasserkreislaufs mit ihr verbunden (IPCC 2008). Davon sind hinsichtlich der potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer insbesondere Veränderungen im Niederschlags- und Verdunstungsregime, mit den langzeitlichen Veränderungen des mittleren Zustands, der saisonalen Verteilung und des Extremverhaltens von Bedeutung (LAWA 2007, Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009, MUNLV et al. 2009). Niederschlag und Verdunstung stellen die zentralen Eingangs- und Verlustgrößen hydrologischer Systeme dar (BMU 2001). Für die Verdunstung wird aufgrund der Erwärmung und der damit einhergehenden Zunahme des potenziellen Wasserdampfgehalts der Atmosphäre ein Anstieg erwartet (European Communities 2009). Dies wiederum führt zur Intensivierung des Wasserkreislaufs und zu Veränderungen im Niederschlagsregime (European Communities 2009). Die Veränderungen im Niederschlagsregime werden sich regional unterschiedlich ausprägen.

Die Abb. 2.5 gibt einen Überblick über mögliche Niederschlagsentwicklungen für Deutschland. Es handelt sich dabei um Modellergebnisse, denen die o. g. Szenarien zugrunde liegen (siehe Bildunterschriften). Zusätzlich zum Niederschlag ist die Temperaturentwicklung aufgeführt.



**Abb. 2.5: Mögliche mittlere Änderungen beim Niederschlag und der Temperatur bis Ende des 21. Jh. (2071 – 2100) gegenüber dem Referenzzeitraum (1961 – 1990) (Datengrundlage: Meinke et al. 2010)**

Aus den Modellergebnissen lässt sich für die mögliche Niederschlagsentwicklung in Deutschland festhalten, dass die Veränderungen im Jahresmittel nur gering sind. Bedeutsamer ist die Zunahme in der Saisonalität der Niederschläge. So liegen die Gebietsmittel für eine Niederschlagsabnahme im Sommer bei -21 % und für eine Niederschlagszunahme im Winter bei +30 % bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Hinzu kommen Änderungen im Extremverhalten. In diesem Zusammenhang wurden bereits Veränderungen in der Auftretenshäufigkeit von Starkniederschlägen und Hitzeperioden beobachtet (IPCC 2008). Eine weitere Zunahme von Extremereignissen wird erwartet (IPCC 2007c, 2008, UBA 2008).

Zusammengefasst bedeutet das für Deutschland, dass mit mildereren und feuchteren Wintern sowie heißeren und trockeneren Sommern mit häufigeren Starkniederschlägen zu rechnen ist (UBA 2008, MUNLV et al. 2009, FiW 2010b).

Diese Entwicklungen werden sich auf die Fließgewässer auswirken (IPCC 2007b, 2007c, 2008). So verändert der Klimawandel direkt und indirekt die Faktoren Hydro-morphologie, Physiko-Chemie

und Biologie der Gewässer (KLIWA 2010b). Zu den direkten Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer zählen Veränderungen im Abfluss und der Wassertemperatur (MUNLV et al. 2009, KLIWA 2010a). Hieraus resultieren indirekte Auswirkungen, wie z. B. Veränderungen in den Stoffkonzentrationen und den Lebensgemeinschaften (MUNLV et al. 2009, KLIWA 2010a, 2010b).

Teilweise sind solche Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer bereits nachweisbar. So wurde innerhalb der letzten Jahre in vielen Gewässern ein Anstieg der Wassertemperatur festgestellt (IPCC 2007b, 2008). Die Veränderungen im Abfluss hängen mit den o. g. Niederschlagsentwicklungen zusammen (LAWA 2007, IPCC 2008, UBA 2008). Dementsprechend werden die mittleren Abflüsse der Gewässer in Deutschland im hydrologischen Winterhalbjahr tendenziell zunehmen und im Sommerhalbjahr abnehmen (LAWA 2007, MUNLV 2009a). Zudem entsteht dadurch ein erhöhtes Risiko für Hochwasserereignisse im Winter und für Niedrigwasserereignisse und Trockenphasen im Sommer (UBA 2008, MUNLV 2009a). Ein erhöhtes Risiko für Hochwässer entsteht zudem durch die Zunahme der Starkniederschläge und ihrer Intensitäten (IPCC 2007c, 2008, European Communities 2009), die darüber hinaus auch die Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen können (LAWA 2007, IPCC 2008).

Aus den Änderungen von Wassertemperatur und Abfluss resultieren, wie bereits beschrieben, weitere Veränderungen. In der Folge sollen einige dieser indirekten Auswirkungen exemplarisch aufgezählt werden: Ein Anstieg der Wassertemperatur hat beispielsweise Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung und die Häufigkeit von Organismen in einem Gewässer (IPCC 2008) und kann die Etablierung von Neozoen begünstigen (LAWA 2007, KLIWA 2010c). Die Niedrigwasserführung hat eine geringere Verdünnungsfähigkeit der Gewässer zur Folge (European Communities 2009). Dadurch steigt bei gleichbleibender Belastung, beispielsweise infolge punktueller Einleitungen, die Stoffkonzentration im Gewässer und die Güteverhältnisse können sich verschlechtern (LAWA 2007, IPCC 2008). Es wird deutlich, dass die Veränderung von Wasserführung und Temperatur in den Fließgewässern eine ganze Reihe von Prozessen zur Folge hat, die sich letztlich auf den Zustand von Pflanzen und Tieren in den Gewässern auswirken (KLIWA 2010a).

Die Tab. 2.1 bietet einen umfassenden Überblick über die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Eigenschaften und die Beschaffenheit der Fließgewässer. Sie sind den Faktoren Hydro-morphologie, Physiko-Chemie und Biologie zugeordnet. Neben den bereits erwähnten Veränderungen von Wassertemperatur und Abfluss sowie einigen daraus resultierenden Folgen sind weitere Veränderungen aufgeführt.

| <b>Faktoren</b>  | <b>Veränderungen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydromorphologie | Abfluss<br>Abflussregime<br>Hochwasser Abfluss (Intensität, Dauer, Häufigkeit)<br>Hochwasser Zeitpunkt<br>Niedrigwasser Abfluss (Intensität, Dauer, Häufigkeit)<br>Niedrigwasser Zeitpunkt<br>Mittlerer Abfluss (Volumen)<br>Austrocknung<br>Verdunstung<br>Schneeschmelze/Schneedecke<br>Erosion<br>Feinsedimenteintrag<br>Geschiebetransport<br>langzeitliche Flussbettveränderungen<br>Konnektivität von Altarmen<br>Habitatveränderungen infolge geomorphologischer Prozesse<br>Habitate in der Aue<br>Habitate im Fließgewässer<br>Gewässerrandstreifen<br>Beschattung<br>Interstitial |
| Physiko-Chemie   | Wassertemperatur<br>Sauerstoffgehalt<br>pH-Wert<br>Leitfähigkeit<br>Chlorid<br>Nährstoffe<br>Schadstoffe<br>Versauerung<br>Saprobie<br>Toxische Substanzen<br>Verdünnungsfähigkeit<br>diffuse Verschmutzung<br>Belastungsspitzen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Biologie         | Organismen (Phytoplankton, Phytobenthos/Makrophyten, Makrozoobenthos, Fische, andere Organismen, Indikatorarten)<br>Artenzusammensetzung<br>Verteilung /Streuung /Abdrift<br>Aussterben<br>Verdrängung<br>Neozoen<br>Produktivität und Biodiversität<br>Fischwanderungsmuster<br>Eutrophierung und Algenwachstum                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Tab. 2.1: Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Beschaffenheit und Eigenschaften von Fließgewässern (Datengrundlage: Wilby et al. 2006, KLIWA 2010b)

## 2.2 Die EG-Wasserrahmenrichtlinie und der Klimawandel

Die vollständige Bezeichnung der WRRL lautet „Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“. Sie ist am 22.12.2000 in Kraft getreten. Damit begann in Europa eine integrierte Gewässerschutzpolitik, die über politische Grenzen hinweg die koordinierte Bewirtschaftung in Flussgebietseinheiten ermöglicht (BMU 2007). Seither stellt sie das zentrale Instrument zum Schutz und zur Verbesserung der Gewässerökosysteme in Europa dar und zielt auf eine nachhaltige Wassernutzung ab (MUNLV 2003, European Communities 2009). Ihre Zielvorgaben bestehen darin, innerhalb von 15 Jahren den guten ökologischen und chemischen Zustand an Gewässern bzw. das gute ökologische Potenzial und den guten chemischen Zustand bei erheblich veränderten oder künstlichen Gewässern herzustellen (Wasserrahmenrichtlinie vom 22.12.2000). Zudem gilt ein Verschlechterungsverbot (Wasserrahmenrichtlinie vom 22.12.2000). Zurzeit läuft der erste Bewirtschaftungszeitraum, der im Dezember 2009 mit der Aufstellung und Veröffentlichung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme begann und im Dezember 2015 enden wird (BMU 2007). Dann sind erneut Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme zu erstellen.

Das Maßnahmenprogramm enthält dabei Maßnahmen, die zur Erreichung der im Bewirtschaftungsplan festgelegten Ziele umgesetzt werden sollen (MUNLV 2009b). Bei diesen Maßnahmen handelt es sich um Programmmaßnahmen, die nicht die Detailschärfe einer konkreten Ausführungsplanung haben (MUNLV 2009b, 2009c). Die konkrete Planung der Baumaßnahmen obliegt den jeweiligen Maßnahmenträgern und behördlichen Vollzugsentscheidungen (MUNLV 2009c). Das Maßnahmenprogramm stellt somit vielmehr den Rahmen für die fachlichen Ausführungsplanungen dar (MUNLV 2009b, 2009c).

Die zentralen Bezugselemente der WRRL sind die Wasserkörper (IT.NRW 2009). Das sind Gewässer bzw. Abschnitte von Gewässern, deren Einzugsgebiete größer als 10 km<sup>2</sup> sind (MUNLV 2009c). So beziehen sich beispielsweise die Daten der Maßnahmenplanung auf Wasserkörper oder Wasserkörpergruppen (IT.NRW 2009), und die Festlegung von Bewirtschaftungszielen erfolgt ebenfalls auf Ebene der Wasserkörper (Bezirksregierung Münster o. J.). Im Zuge einer pragmatischen und handhabbaren Vorgehensweise bei der Planung und Öffentlichkeitsbeteiligung werden die einzelnen Wasserkörper zu größeren Einheiten zusammengefasst. Dies sind zum einen die o. g. Wasserkörpergruppen und zum anderen sogenannte Planungseinheiten (Bezirksregierung Münster o. J.). Dabei handelt es sich um Einheiten in der Größenordnung von 200 bis 800 km<sup>2</sup>, die sich bezüglich ihrer Belastungen und der darauf auszurichtenden Maßnahmen vergleichsweise homogen darstellen (Bezirksregierung Münster o. J.).

In den Papieren der WRRL wird der Klimawandel nicht explizit erwähnt (Wilby et al. 2006, UBA 2008, European Communities 2009). Jedoch soll er bereits im laufenden ersten Bewirtschaftungszeitraum (2009 bis 2015) grundlegend berücksichtigt werden und in den folgenden Zeiträumen stärker miteinbezogen werden (MUNLV et al. 2009). Dies ist aus mehreren Gründen relevant: Zum einen hat der Klimawandel, wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, Auswirkungen auf die Eigenschaften und die Beschaffenheit der Gewässer (Tab. 2.1) und stellt dadurch eine zusätzliche Belastung dar (European Communities 2009, MUNLV et al. 2009). Das Erreichen der o. g. Zielvorgaben der WRRL kann hierdurch erschwert werden (MUNLV et al. 2009). Zum anderen kann die WRRL einen geeigneten Rahmen zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel darstellen (UBA 2008, European Communities 2009). Vorteile bietet die Richtlinie beispielsweise durch den zyklischen Ansatz (UBA 2008, European Communities 2009), wodurch ein stufenweiser Anpassungsprozess unterstützt wird und neue Erkenntnisse aus regionalen Klimamodellen in den jeweils aktuellen Bewirtschaftungszeiträumen berücksichtigt werden können (UBA 2008). Zudem kann durch die Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen der WRRL die Aufmerksamkeit auf den Klimawandel und die damit zusammenhängende Problematik gelenkt werden. Dies kann zu einer erhöhten Akzeptanz von Maßnahmen bei den verschiedenen Akteuren führen (UBA 2008, European Communities 2009).

Der Klimawandel wird darüber hinaus die Maßnahmen der WRRL beeinflussen (Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009). Ihre jeweiligen Wirkungen können durch den Klimawandel begünstigt oder gemindert werden. Zudem können die Maßnahmen auch einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten. Diese Aspekte werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht.

### 3. Untersuchungsgebiet

In der Folge wird das Einzugsgebiet der Emscher vorgestellt. Im ersten Teil des Kapitels werden hierfür u. a. die Lage der Emscher sowie die historische Entwicklung der Region und die damit zusammenhängenden Folgen für die Gewässer beschrieben. Im zweiten Teil wird auf den Klimawandel im Einzugsgebiet der Emscher eingegangen. Hierfür ist dem zweiten Teil des Kapitels ein Exkurs zu dem Thema „regionale Klimamodelle“ vorangestellt.

#### 3.1 Das Emscher-Einzugsgebiet

Die *dynaklim*-Projektregion erstreckt sich über die Einzugsgebiete von Emscher und Lippe (Abb. 3.1) und schließt damit u. a. die Städte Essen, Duisburg und Dortmund ein. Das Einzugsgebiet der Emscher dient als Untersuchungsgebiet für die vorliegende Arbeit.

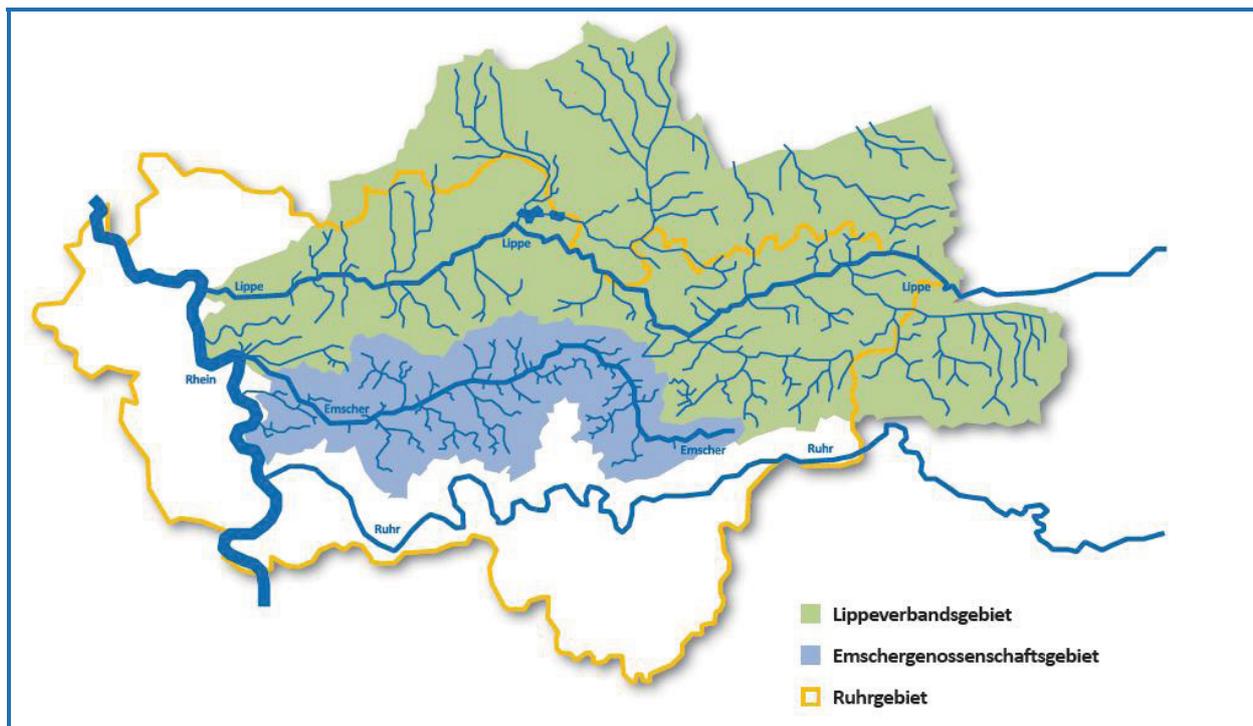


Abb. 3.1: Die *dynaklim*-Projektregion (FiW 2010c, Online unter <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/dynaklim/projekt/region.html>)

Die Emscher ist ein Nebenfluss des Rheins und liegt zwischen Lippe und Ruhr (Anlage 4). Sie entspringt auf einer Höhe von über 150 m ü. NN an den westlichen Ausläufern des Haarstrangs und mündet in einem künstlichen Delta im Bereich Duisburg und Dinslaken auf einer Höhe von 25 bis 30 m ü. NN in den Rhein (Emschergenossenschaft 2009).

Ihr Einzugsgebiet besitzt naturgemäß eine große gewässertypologische Vielfalt (Stemplewski & Sommerhäuser 2010). So kommen neben verschiedenen Fließgewässertypen des Tieflandes wie z. B. sand-, kies-, lösslehm- und organisch geprägten Gewässern in den Mittelgebirgsrandlagen des Ober-

laufs auch Gewässertypen des Grundgebirges und lokal Karstgewässer vor (Abb. 3.2). Die Emscher selbst entspricht dem Typ des sand- und lehmgeprägten Tieflandflusses (Emschergenossenschaft 2009).

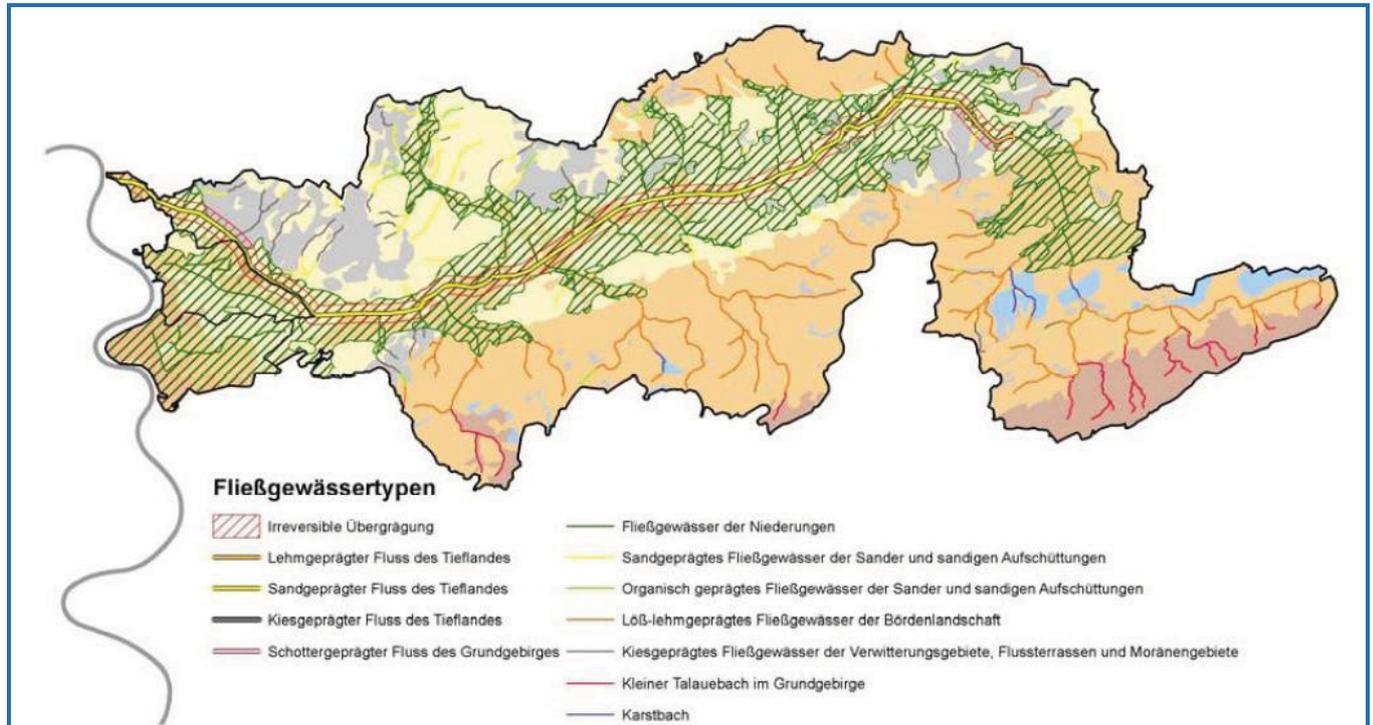


Abb. 3.2: Fließgewässertypen im Emscher-Einzugsgebiet (Emschergenossenschaft 2009, S. 34)

Die Emscher war bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts ein kleiner, mäandrierender Tieflandfluss (Emschergenossenschaft & Staatliches Umweltamt Herten 2005). Sie entsprang bei Holzwickede, floss von dort aus Richtung Westen und mündete nach 109 km bei Duisburg in den Rhein (Emschergenossenschaft 2009). Ihr Einzugsgebiet hatte zu dieser Zeit eine Größe von 784 km<sup>2</sup>. Heute umfasst es 865 km<sup>2</sup> (Emschergenossenschaft 2009). Die Emscher war bekannt für ihren Reichtum an Fischen und Flusskrebse (Stemplewski & Sommerhäuser 2010). Ihre Niederungen wurden bei Hochwasserereignissen regelmäßig überschwemmt (Emschergenossenschaft 2009).

Die Industrialisierung ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts führte zu bergbaulich bedingten Bodensenkungen, welche die Vorflutsituation veränderten (Emschergenossenschaft 2009). Zudem nahmen in Verbindung mit der Industrialisierung die Bevölkerung und die von ihr ausgehenden Gewässerbelastungen sowie die industriellen Abwässer zu. Es entstanden erhebliche hygienische Probleme im Einzugsgebiet der Emscher (Emschergenossenschaft 2009). Zur Verbesserung der Umstände kamen unterirdische Abwasserkanäle aufgrund der Bergsenkungen nicht infrage (Emschergenossenschaft & Staatliches Umweltamt Herten 2005). So entschloss man sich ein oberirdisches System technisch ausgebauter Schmutzabwasserläufe anzulegen. Dieses konnte an Bodenbewegungen angepasst werden und war zudem leistungsfähig genug, um die zunehmenden Hochwasserabflüsse infolge der höheren Oberflächenversiegelung abzuführen (Emschergenossenschaft 2009).

Nach dem Abklingen der bergbaulich bedingten Bodensenkungen beschlossen die Emschergenossenschaft und das Land Nordrhein-Westfalen im Jahr 1991, das System der oberirdischen Schmutzwasserläufe flächendeckend zurückzubauen (Emschergenossenschaft 2009). Für die Umsetzung des Emscherumbaus wurde ein Zeit- und Finanzierungsrahmen erstellt. Man ging von einer Gesamtdauer von 27 Jahren aus. Für die Gesamtkosten wurde eine Höhe von rund 4,4 Milliarden Euro veranschlagt (MUNLV 2009b). Darin sind Investitionen in Kläranlagen, in den Bau von Kanälen

und Regenwasserbehandlungsanlagen sowie in den Umbau von Schmutzwasserläufen zu ökologisch verbesserten Gewässern vorgesehen (Emschergenossenschaft 2009).

Nach Angaben der Emschergenossenschaft (2009) und des MUNLV (2009b) handelt es sich heute bei dem Großteil der Gewässer im Emschergebiet um erheblich veränderte Wasserkörper. Für sie soll somit nach den Zielen der WRRL das gute ökologische Potenzial hergestellt werden (Kapitel 2.2). Dafür ist der Emscherumbau von zentraler Bedeutung. Er schafft die Basis für das Erreichen der Zielvorgaben nach WRRL (Emschergenossenschaft 2009). Aufgrund dieser Umstände handelt es sich bei der Umsetzung der WRRL im Emschergebiet um einen Sonderfall (MUNLV 2009b).

Heute stellt das Emschergebiet mit rund 2,3 Millionen Einwohnern einen der am dichtesten besiedelten Räume in Europa dar (Emschergenossenschaft 2009). Von der Gesamtfläche ist rund die Hälfte überbaut. Zudem nehmen die landwirtschaftliche Nutzung und die natürlich bedeckte Fläche einschließlich der forstwirtschaftlichen Nutzung jeweils ein Fünftel des Gebietes ein (Stemplewski & Sommerhäuser 2010). Aufgrund der Bergsenkungen werden rund 38 % des Gebietes mittels Pumpwerken entwässert (Emschergenossenschaft 2009). Im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung nach WRRL stellt das Einzugsgebiet der Emscher die beiden Planungseinheiten Emscher-Mitte-West und Emscher-Ost dar (Abb. 3.3) und ist ein Teileinzugsgebiet des Niederrheins. Dieses Gebiet wiederum gehört zur Flussgebietseinheit Rhein (MUNLV 2008c).

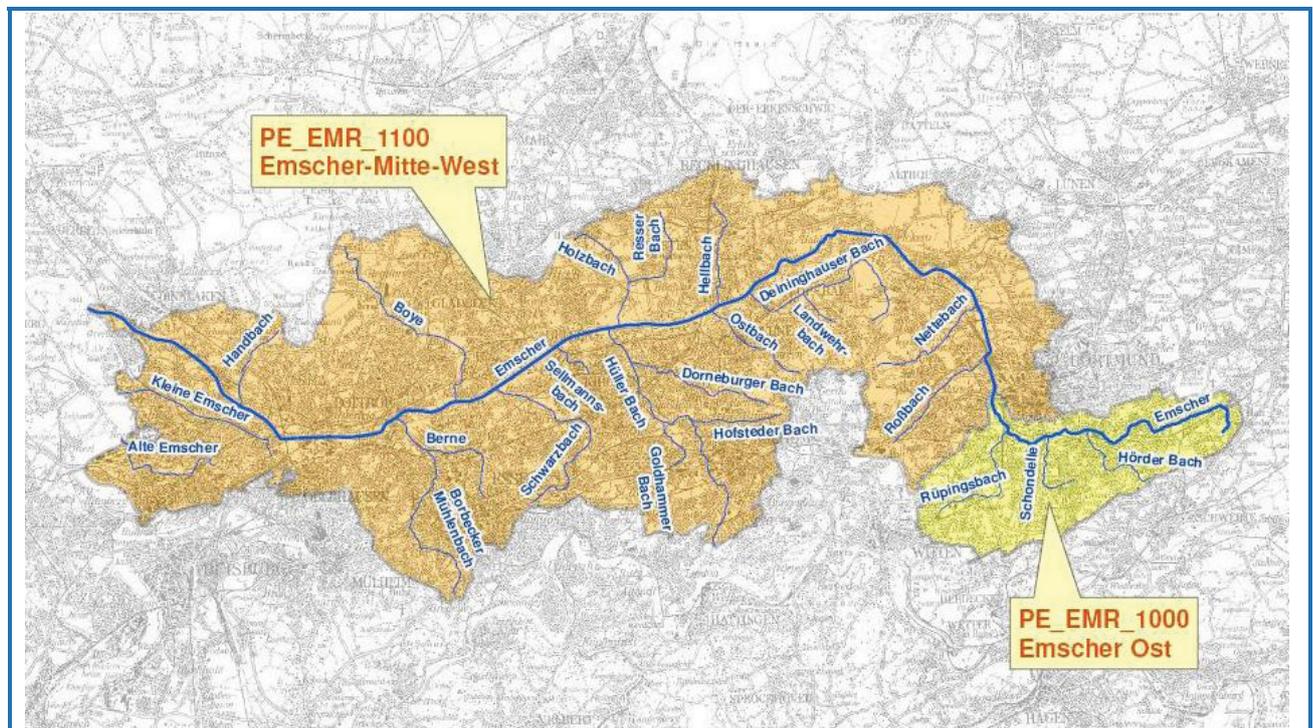


Abb. 3.3: Planungseinheiten im Teileinzugsgebiet der Emscher (Bezirksregierung Münster o. J.b, On-line unter [http://www.emscher.nrw.de/Gebietsbeschreibung/Abgrenzung/Emscher\\_Uebersicht.pdf](http://www.emscher.nrw.de/Gebietsbeschreibung/Abgrenzung/Emscher_Uebersicht.pdf))

## 3.2 Klimawandel im Emscher-Einzugsgebiet

### 3.2.1 Exkurs: Regionale Klimamodelle

Informationen über zukünftige Klimabedingungen können anhand von Zukunftsprojektionen ermittelt werden. Die Grundlage für diese Projektionen bilden die vom IPCC veröffentlichten Emissions-szenarien. Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, gibt es insgesamt vier zu unterscheidende Szenarienfamilien (A1, A2, B1, B2). Diese basieren jeweils auf unterschiedlichen Annahmen hinsicht-

lich demographischer, ökonomischer, gesellschaftlicher und technologischer Entwicklungen sowie der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen (IPCC 2007c). Das Szenario A1 wird dabei in Abhängigkeit von der Nutzung fossiler und regenerativer Energieträger nochmals in die Szenarien A1B, A1FI und A1T differenziert (IPCC 2007c). Jedes der genannten Szenarien ist gleich wahrscheinlich (IPCC 2007c, Papadakis GmbH o. J.).

Da im Rahmen von *dynaklim* in erster Linie mit dem Szenario A1B gearbeitet wird, soll dieses in der Folge detaillierter beschrieben werden. Die Szenariofamilie A1 unterliegt der Annahme, dass ein rasches Wachstum der globalen Wirtschaft stattfinden wird, die Weltbevölkerung bis zur Mitte des Jahrhunderts weiter ansteigt und sich danach rückläufig entwickelt, dass neue und effiziente Technologien eingeführt werden und die Globalisierung weiter fortschreitet. Das Szenario A1B grenzt sich innerhalb der Familie durch die Annahme einer ausgewogenen Nutzung fossiler und nichtfossiler Energieträger von den anderen ab (IPCC 2007c). Es kann auch als „Globaler Mittelweg“ bezeichnet werden (Papadakis GmbH o. J.).

Die Szenarien mit den jeweils assoziierten Emissionen werden in globale Klimamodelle eingespeist (PIK 2009). Dadurch entstehen recht grobe Klimaprojektionen. Für kleinräumigere Projektionen, beispielsweise für bestimmte Regionen, müssen regionale Klimamodelle verwendet werden. Dieser Prozess wird als „downscaling“ bezeichnet (PIK 2009). Die Abb. 3.4 zeigt schematisch das „downscaling“-Verfahren.

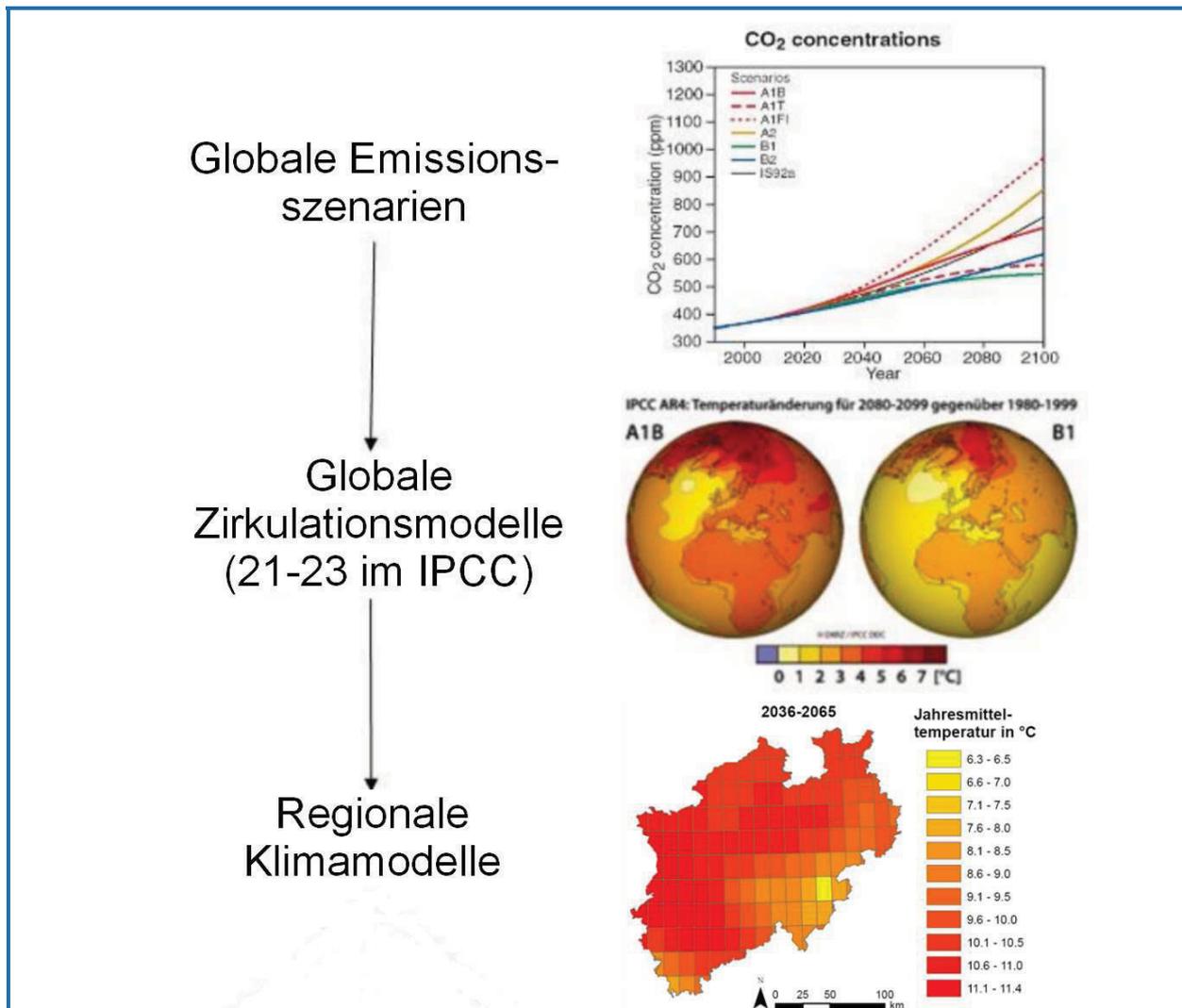


Abb. 3.4: Schematische Darstellung des "downscaling"-Verfahrens (Datengrundlage: PIK 2009)

Bei den regionalen Modellen wird im Wesentlichen zwischen statistischen und dynamischen Modellen unterschieden. In Deutschland werden davon hauptsächlich vier Modelle genutzt. Dabei handelt es sich um die statistischen Modelle WETTREG und STAR sowie die dynamischen Modelle REMO und CCLM (oftmals: CLM) (PIK 2009).

### **3.2.2 Klimaprojektionen für das Emschergebiet**

Erkenntnisse zu möglichen Klimaänderungen in der Emscher-Lippe-Region liegen aus der Anwendung des regionalen Klimamodells CLM für Nordrhein-Westfalen vor. Hiermit wurden die Klimakenngrößen für das Klimaszenario A1B mit zwei Realisierungen modelliert. Die Ergebnisse sind in der Tab. 3.1 dargestellt. Dabei werden insgesamt drei Zeiträume betrachtet:

| Kenngroße                                      | Modelllauf | Nahe Zukunft 2021-2050                 | Ferne Zukunft 2071-2100                 | Referenzzeitraum 1961-1990 |
|------------------------------------------------|------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| Mittlere Jahrestemperaturen                    | CLM Lauf 1 | + 1,0 bis + 1,3 °C<br>Mittel: + 1,1 °C | + 3,0 bis + 3,3 °C<br>Mittel: + 3,1 °C  | 8,9 °C                     |
|                                                | CLM Lauf 2 | + 1,0 bis + 1,5 °C<br>Mittel: + 1,3 °C | + 3,0 bis + 3,3 °C<br>Mittel: + 3,1 °C  |                            |
| Jahresniederschlagssummen                      | CLM Lauf 1 | + 1,3 bis + 4,0 %<br>Mittel: + 1,4 %   | - 1,33 bis + 1,3 %<br>Mittel: + 0,4 %   | 911 mm                     |
|                                                | CLM Lauf 2 | + 6,7 bis + 9,3 %<br>Mittel: + 7,7 %   | - 1,33 bis + 1,3 %<br>Mittel: + 0,7 %   |                            |
| Niederschlagssummen im meteorologischen Sommer | CLM Lauf 1 | - 11,3 bis + 3,8 %<br>Mittel: - 4,3 %  | - 26,4 bis - 11,3 %<br>Mittel: - 21,9 % | -                          |
|                                                | CLM Lauf 2 | - 3,8 bis + 3,8 %<br>Mittel: + 2,4 %   | - 34,0 bis - 18,9 %<br>Mittel: - 28,3 % |                            |
| Niederschlagssummen im meteorologischen Winter | CLM Lauf 1 | - 11,3 bis + 3,8 %<br>Mittel: + 0,4 %  | + 3,8 bis + 26,4 %<br>Mittel: + 19,6 %  | -                          |
|                                                | CLM Lauf 2 | + 3,8 bis + 18,9 %<br>Mittel: + 14,0 % | + 3,8 bis + 11,3 %<br>Mittel: + 17,3 %  |                            |

Tab. 3.1: Klimatische Veränderungen in Nordrhein-Westfalen auf Grundlage des Szenarios A1B gegenüber dem Referenzzeitraum (1961 – 1990) (Datengrundlage: Quirnbach 2010, PIK 2009)

Aus den Modellergebnissen lassen sich folgende prognostizierte Veränderungen festhalten: Die mittlere Jahrestemperatur wird um rund 3,1 °C bis zum Ende des Jahrhunderts gegenüber dem Referenzzeitraum zunehmen. Die Veränderung der Jahresniederschlagssummen liegt im Mittel bei +0,4 % für den Lauf CLM 1 und bei +0,7 % für den Lauf CLM 2 bis zum Jahr 2100. Die Abnahme der Niederschlagssummen im meteorologischen Sommer liegt im Mittel zwischen -21,9 % (CLM1) und -28,3 % (CLM2) für den Zeitraum 2071 bis 2100 gegenüber dem Referenzzeitraum. Die Niederschlagszunahme im meteorologischen Winter liegt im Mittel zwischen +19,6 % (CLM1) und +17,3 % (CLM2) für die ferne Zukunft gegenüber dem Referenzzeitraum. Die bereits in Kapitel 2.1 beschriebene Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter wird auch bei Betrachtung dieser Daten deutlich.

Die maximalen Veränderungen aus den Modellergebnissen sind in der Folge zusammengefasst:

- Zunahme der mittleren Jahrestemperatur um bis zu 3,3 °C bis 2100;
- Veränderung der Jahresniederschlagssummen zwischen -1,33 % und +1,3 % bis 2100;
- Abnahme der Niederschlagssummen im meteorologischen Sommer um bis zu -34,0 % bis 2100;
- Zunahme der Niederschlagssummen im meteorologischen Winter um bis zu +26,4 % bis 2100.

Aussagen zur Veränderung bei den Starkniederschlägen sind aufgrund natürlicher regionaler und klimatologischer Schwankungen unsicher. Jedoch ist eine Zunahme der Starkniederschläge und ihrer Intensitäten um bis zu +40 % möglich (*dynaklim* 2011).

## 4. Methodik

Nachfolgend ist die methodische Vorgehensweise beschrieben. Das Kapitel lässt sich grundlegend in drei Teile gliedern. Zunächst werden die Vorgehensweise zur Bewertung der Maßnahmen nach WRRL und die Erstellung der Bewertungsmatrix erläutert. Dafür werden Ausgangsmaterial und Datengrundlage, die Methodik bei der Bewertung der Maßnahmen sowie die Symbole für die Darstellung in der Matrix vorgestellt. Zudem wird die Anfertigung des Erläuterungsdokuments genannt. Im zweiten Teil werden die benötigten Unterlagen zum Abgleich der im Untersuchungsgebiet geplanten Maßnahmen mit der Bewertungsmatrix aufgeführt. Abschließend wird im dritten Teil das Vorgehen zur Bestimmung der Sensitivität von Gewässern gegenüber dem Klimawandel anhand eines Beispielgewässers beschrieben. Hierfür werden der Ansatz zur Bestimmung der Sensitivität, die Umsetzung und die Auswahl eines geeigneten Gewässers dargestellt.

### 4.1 Bewertung der Maßnahmen und Erstellung der Matrix

#### 4.1.1 Ausgangsmaterial und Datengrundlage

Als Ausgangsmaterial diente eine Einschätzung über die Klimarelevanz der Maßnahmen nach WRRL. Diese wurde auf Grundlage von Expertenwissen vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und vom Umweltbundesamt erstellt (Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009). Dabei wurde für jede Maßnahme eine Einschätzung zu folgenden zwei Kernfragen vorgenommen:

- „Kann die Wirkung der Maßnahme durch Klimaveränderungen positiv oder negativ beeinflusst werden? Welche Klimaveränderungen wirken sich dabei aus [...]?“ (Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009, S. 15).
- „Leistet die Maßnahme einen Beitrag zur Anpassung des Wasserhaushalts an die Wirkungen des Klimawandels?“ (Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009, S. 15).

Bei den Resultaten handelt es sich um Experteneinschätzungen. Es gibt keine Erläuterungen zu den jeweiligen Bewertungen der Maßnahmen (Hornemann 2010). Sie dienen vielmehr als Starthypothesen (Wechsung 2010) und sollten kritisch hinterfragt werden (Schulz 2010). Die Einschätzung diente im Rahmen dieser Arbeit als wesentliche Grundlage für die Erstellung der Bewertungsmatrix.

Basis der vorliegenden Auswertungen bildet der standardisierte Maßnahmenkatalog nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Die darin enthaltenen Maßnahmen dienen der Erreichung der in den Bewirtschaftungsplänen festgelegten Ziele (MUNLV 2009b). Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, handelt es sich bei den Maßnahmen um Programmmaßnahmen. Sie haben einen recht allgemeinen Charakter und nicht die Detailschärfe einer konkreten Umsetzungsplanung (MUNLV 2009b, 2009c). Da die Maßnahmen recht allgemein gehalten sind, fand die vorliegende Bewertung ebenfalls auf dieser allgemeinen Ebene statt.

Aus dem Maßnahmenkatalog nach LAWA wurden für die Bewertung alle Maßnahmen verwendet, die in Nordrhein-Westfalen umgesetzt werden sollen. Eine Liste mit den entsprechenden Maßnahmen diente somit als Datengrundlage (MUNLV 2008a). Sie ist unter [wiki.flussgebiete.nrw.de](http://wiki.flussgebiete.nrw.de) zu finden. Das Wiki bietet eine Dokumentationsplattform zur Begleitung der Umsetzung der WRRL in Nordrhein-Westfalen und ergänzt die Informationen unter [www.flussgebiete.nrw.de](http://www.flussgebiete.nrw.de) (MUNLV 2009d). Zusätzlich gibt es in der Liste zu jeder Maßnahme einen Steckbrief (MUNLV 2008b). Dieser enthält weitere Informationen, die für die Bewertung von Bedeutung waren. In der vorliegenden Arbeit erfolgte eine Bewertung hinsichtlich des Klimawandels ausschließlich für Umsetzungsmaßnahmen an Oberflächengewässern. Konzeptionelle Maßnahmen wie z. B. Beratungen oder Planungen (MUNLV 2009c) wurden in der Bewertung nicht berücksichtigt. Daraus ergab sich ein Umfang von 61 Maßnahmentypen für die Bewertung.

Für die Bewertung wurde für jede Maßnahme ihr Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel sowie ihre Klimasensitivität untersucht. Die angewendete Methodik wird in der Folge beschrieben.

### **4.1.2 Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel**

Für die Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur Anpassung an den Klimawandel wurde zunächst festgelegt, was Anpassung bedeutet. Nach IPCC (2007c, 2008), UBA (2008) und Denneborg (2010) verringert Anpassung die Verwundbarkeit und steigert die Robustheit eines Systems gegenüber dem Klimawandel und seinen Auswirkungen.

Die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer sind in Tab. 2.1 („Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Beschaffenheit und Eigenschaften von Fließgewässern“) zusammengefasst. Die darin aufgeführten möglichen Veränderungen stellen die Verwundbarkeit der Gewässer durch den Klimawandel dar. Die Tabelle dient als Grundlage für die Bewertung der Maßnahmen. Demnach leisten solche Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung von Fließgewässern, die die Verwundbarkeit im Hinblick auf die in Tab. 2.1 aufgeführten Veränderungen abmildern können (Verringerung der Verwundbarkeit) bzw. die Gewässer gegenüber diesen Veränderungen widerstandsfähiger machen (Steigerung der Robustheit).

Bei den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässer wurde für die Bewertung weiter differenziert. Hierfür erfolgte eine Unterteilung in direkte und indirekte Auswirkungen (Kapitel 2.1). Diese Unterteilung ist in Anlehnung an die Kategorisierung von Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer nach MUNLV et al. (2009) entstanden. Demnach sind direkte Auswirkungen solche, die unmittelbar vom Klimawandel hervorgerufen werden. Hierzu zählen beispielsweise die thermische Belastung der Gewässer infolge der Erwärmung oder Veränderungen im Abfluss aufgrund der Veränderungen im Niederschlagsregime (Kapitel 2.1). Bei indirekten Auswirkungen handelt es sich um solche, die aus den direkten Veränderungen resultieren (Kapitel 2.1). Exemplarisch soll hier der veränderte

Sauerstoffgehalt des Wassers durch erhöhte Wassertemperaturen infolge der allgemeinen Klimaerwärmung genannt werden.

Durch diese Differenzierung entstanden insgesamt vier Kategorien für eine Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur Anpassung an den Klimawandel. Die Kategorien sind in der Folge aufgeführt:

- kein signifikanter Beitrag zur Anpassung,
- Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen,
- Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen,
- keine Bewertung.

Die letzte Kategorie wurde auf Maßnahmen angewendet, bei denen eine Bewertung aufgrund zu geringer Informationen bzw. zu unspezifischer Angaben nicht erfolgen konnte.

Die Priorität bei der Bewertung lag auf dem Beitrag zur Anpassung der Gewässer an direkte Auswirkungen des Klimawandels. Leistet eine Maßnahme also einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen, wird ihr Beitrag zur Anpassung der Gewässer an indirekte Auswirkungen nicht immer separat aufgeführt.

Für die Darstellung der Bewertung in der Matrix wurde eine Symbolik entwickelt. Sie gewährleistet die einheitliche Gestaltung und übersichtliche Darstellung der Ergebnisse. Die Symbole sind in der Abb. 4.1 dargestellt.

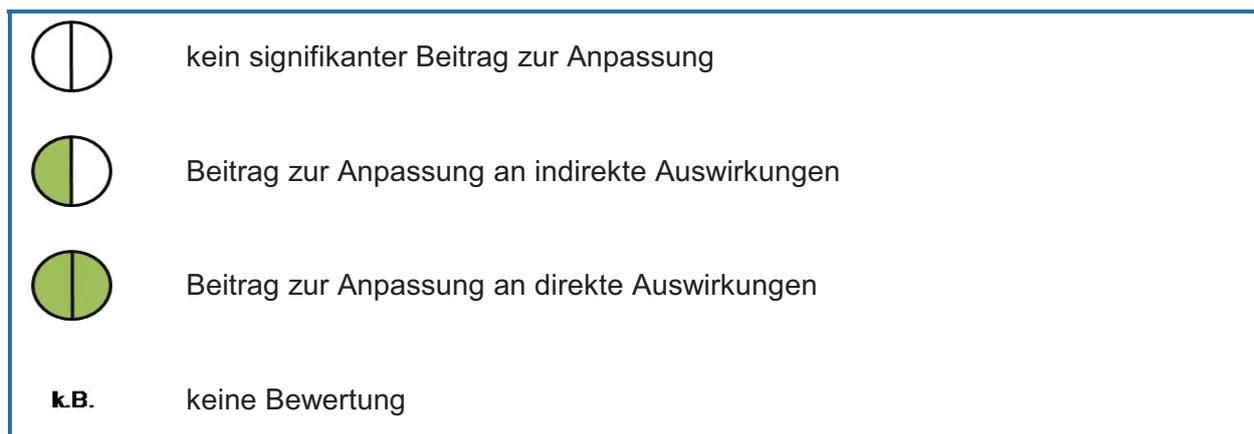


Abb. 4.1: Verwendete Symbolik für die Darstellung des Beitrags einer Maßnahme zur Anpassung des Gewässers an den Klimawandel

### 4.1.3 Klimasensitivität der Maßnahmen

Für die Bewertung der Klimasensitivität von Maßnahmen wurde der Einfluss des Klimawandels auf die Wirksamkeit der Maßnahmen abgeschätzt. Es wurde untersucht, ob die Wirkungen der einzelnen Maßnahmen klimasensitiv sind und wie sie auf den Klimawandel reagieren.

Die Bewertung erfolgte auf Grundlage von Informationen zu den Wirkungen der Maßnahmen und zu möglichen Veränderungen infolge des Klimawandels. Ein Großteil der Maßnahmensteckbriefe unter [wiki.flussgebiete.nrw.de](http://wiki.flussgebiete.nrw.de) (MUNLV 2008b) enthält beispielsweise Angaben zu den spezifischen Wirkungen der Maßnahmen im Hinblick auf den Gewässerzustand. Zudem wurden je nach Zugehörigkeit der Maßnahmen zu einer Belastungskombination weitere Informationen für die Bewertung herangezogen. Zur Untersuchung von Maßnahmen aus dem Bereich der Hydromorphologie wurde beispielsweise die Blaue Richtlinie (MUNLV 2010b) verwendet, die Erläuterungen zur Umsetzung der entsprechenden Maßnahmen enthält.



#### **4.1.4 Bewertungsmatrix und Erläuterungsdokument**

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt (Anlage 1). Es handelt sich hierbei um eine tabellarische Auflistung der Maßnahmen für Oberflächengewässer in Nordrhein-Westfalen mit den entsprechenden Bewertungen ihrer Klimasensitivität und ihres Beitrags zur Anpassung, dargestellt durch die o. g. Symbole. Ergänzend zu der Bewertungsmatrix wurde ein Erläuterungsdokument erarbeitet (Anlage 2). In diesem finden sich die Begründungen zu den Bewertungen der jeweiligen Maßnahmen. Ein Abgleich zwischen Matrix und Erläuterungen ist mittels ID-Nummern der Maßnahmen möglich.

## **4.2 Anwendung der Bewertungsmatrix auf das Emschergebiet**

Sämtliche Maßnahmen, die an den Wasserkörpern im Einzugsgebiet der Emscher umgesetzt werden sollen, wurden mit der Matrix bewertet. Hierbei war aufgrund der Ausrichtung des Projekts *dynaklim* insbesondere der Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel von Interesse. Informationen darüber, welche Maßnahmen im Untersuchungsgebiet geplant sind, lieferten die entsprechenden Wasserkörpersteckbriefe (MUNLV 2010a). Dabei handelt es sich um einen internen Bereich der in Kapitel 4.1.1 genannten Dokumentationsplattform [wiki.flussgebiete.nrw.de](http://wiki.flussgebiete.nrw.de). Dort finden sich auf hierarchischer Ebene Daten zu den Wasserkörpern in Nordrhein-Westfalen. Die Wasserkörpersteckbriefe dienten somit als Datengrundlage.

## **4.3 Ansatz zur Bestimmung der Klimasensitivität von Gewässern**

Anhand eines geeigneten Gewässers im Emscher-Einzugsgebiet wurde ein möglicher pragmatischer Ansatz für die Bestimmung der Sensitivität von Gewässern gegenüber dem Klimawandel angewendet.

Die grundlegende Annahme besteht darin, dass verschiedene Gewässer bzw. Gewässerabschnitte unterschiedlich klimasensitiv sind. Infolgedessen besitzen die Gewässer auch einen unterschiedlichen Anpassungsbedarf. Über einen entsprechenden Ansatz zur Erfassung der Klimasensitivität von Gewässern ließen sich somit künftig an klimasensitiveren Gewässern Maßnahmen bevorzugen, die gemäß der entwickelten Bewertungsmatrix einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten.

Der in dieser Arbeit verwendete Ansatz zur Bestimmung der Klimasensitivität von Gewässern basiert auf der Aussage, „[...] dass Fließgewässer mit kleinem Einzugsgebiet bei wärmeren und trockeneren Sommern – je nach geologischen Verhältnissen – häufiger trocken fallen können“ (LAWA 2007, S. 6). Für diesen Ansatz spricht zudem, dass kleine Gewässer hinsichtlich des Makrozoobenthos als besonders gefährdet eingeschätzt werden (KLIWA 2010d). Dementsprechend sind Gewässer mit kleinem Einzugsgebiet sensibler gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels und weisen einen höheren Anpassungsbedarf auf. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das Konzept von einzelnen Gewässern auf die Ebene der Wasserkörper übertragen. Somit wird davon ausgegangen, dass Wasserkörper mit kleinen Einzugsgebieten sensibler sind. Die Bestimmung der Sensitivität erfolgte dabei über die relativen Größen der Einzugsgebiete von Wasserkörpern zueinander.

Die Umsetzung erfolgte mit Hilfe der Daten aus ELWAS. Hierbei handelt es sich um das elektronische Wasserinformationssystem des Landes Nordrhein-Westfalen, in dem wasserwirtschaftlich relevante Datenbestände aufbereitet sind (IT.NRW 2010a). ELWAS setzt sich aus den zwei Komponenten ELWAS-IMS und ELWAS-GIS zusammen. ELWAS-IMS ist eine web-basierte Anwendung und kann unter <http://www.elwasims.nrw.de/ims/ELWAS-IMS/start.htm> abgerufen werden. Es schließt die Bereiche Abwasser, Oberflächenwasser und Gewässergüte für Nordrhein-Westfalen ein (IT.NRW 2010b). ELWAS-IMS ist frei zugänglich und wurde zur ersten Einschätzung der Einzugsgebietsgrößen von

Wasserkörpern im Untersuchungsgebiet genutzt. ELWAS-GIS kann als Erweiterung unter ArcMap an Arbeitsplatzrechnern der Landesverwaltung eingesetzt werden. Für die Anfertigung der Diplomarbeit stand ein solcher Arbeitsplatz über die Bezirksregierung Münster zur Verfügung. ELWAS-GIS beinhaltet diverse Layer zu den Themen kommunales Abwasser, industrielles Abwasser, Oberflächengewässer, Gewässergüte, Gewässer, Wasserkörper und Verwaltungsgrenzen (MKULNV 2010a). Im Rahmen der Sensitivitätsbestimmung wurde es für die Kartenerstellung und die Ermittlung der absoluten Einzugsgebietsgrößen genutzt.

Für die Auswahl eines geeigneten Beispielgewässers wurden die folgenden Kriterien erstellt:

- Ein möglichst breites Spektrum an Maßnahmenarten soll durch das Gewässer abgedeckt werden.
- Die Maßnahmen sollen charakteristisch für das Untersuchungsgebiet sein.
- Die aus den Planungseinheiten-Steckbriefen (MUNLV 2009c) ersichtlichen Monitoringergebnisse und Bewirtschaftungsziele für das Beispielgewässer sollen charakteristisch für das Untersuchungsgebiet sein.
- Die Siedlungsdichten entlang der Gewässer sind zu beachten.

Grundlage für die Erstellung und Auswertung der Kriterien waren die Wasserkörpersteckbriefe (MUNLV 2010a) und die Steckbriefe der Planungseinheiten (MUNLV 2009c). Hieraus ergab sich im Einzugsgebiet der Emscher eine Vorauswahl an Gewässern auf Ebene der Wasserkörpergruppen (WKG). Sie sind im Folgenden aufgeführt:

- WKG\_EMR\_1113: Boye-System
- WKG\_EMR\_1122: Berne-System
- WKG\_EMR\_1001: Obere Emscher und Nebenläufe
- WKG\_EMR\_1114: Handbach-System
- WKG\_EMR\_1119 Hüllerbach-System

In Absprache mit der Emschergenossenschaft fiel die endgültige Entscheidung auf das Boye-System (WKG\_EMR\_1113).

## 5. Ergebnisse und Erläuterungen

Nachfolgend werden die Ergebnisse vorgestellt. Im ersten Teil des Kapitels wird die Matrix mit den Bewertungen der Einzelmaßnahmen beschrieben. Hierbei werden zunächst grundlegende Informationen zum Aufbau der Bewertungsmatrix gegeben. Anschließend erfolgt eine zusammenfassende Beschreibung der Resultate aus der Bewertungsmatrix (Anlage 1) einschließlich einiger Erläuterungen. Für eine ausführliche Erläuterung der Bewertung jeder Einzelmaßnahme wird auf das Erläuterungsdokument verwiesen (Anlage 2).

Die Erkenntnisse aus dem Abgleich der Maßnahmen des Untersuchungsgebietes mit der Bewertungsmatrix sowie aus der Sensitivitätsbestimmung der Wasserkörper an der Boye sind im zweiten und dritten Teil des Kapitels dargestellt.

## 5.1 Bewertungsmatrix

### 5.1.1 Aufbau der Bewertungsmatrix

Die Bewertungsmatrix stellt eine systematische Auflistung aller Maßnahmen nach WRRL dar, die an Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen umgesetzt werden sollen und dementsprechend für die Bewertung im Rahmen der vorliegenden Arbeit relevant waren (Kapitel 4.1.1). Die Bewertungsmatrix besteht aus insgesamt sechs Spalten (Anlage 1). Die ersten vier Spalten dienen der Zuordnung, Charakterisierung und Beschreibung der Maßnahmen. In den Spalten fünf und sechs sind die in Kapitel 4.1.2 und Kapitel 4.1.3 vorgestellten Symbole für die Darstellung des Beitrags der Maßnahmen zur Anpassung von Gewässern an den Klimawandel sowie für die Darstellung der Klimasensitivität der Maßnahmen aufgeführt. Die Spaltenbezeichnungen der Bewertungsmatrix lauten wie folgt:

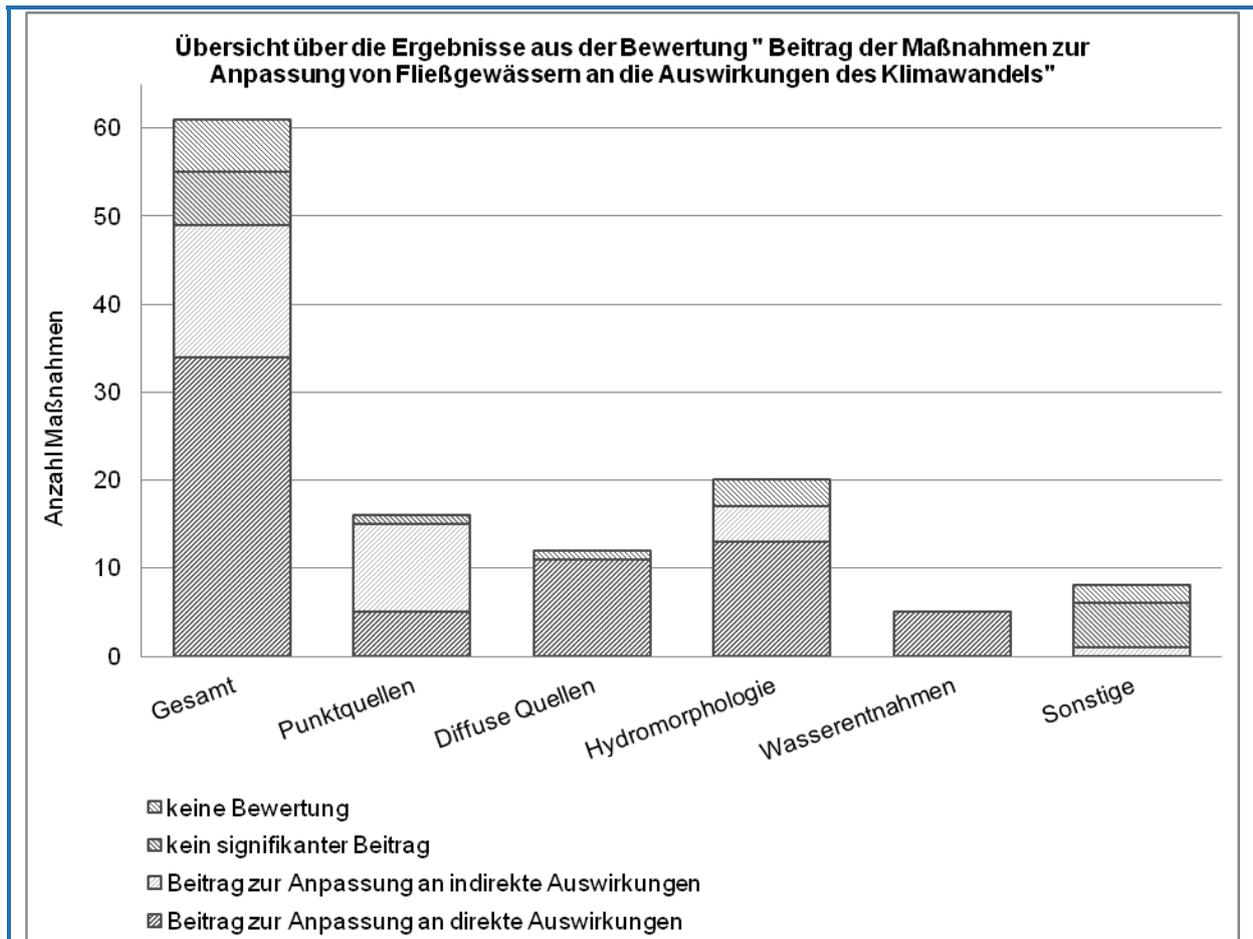
- Belastungskombination,
- Bezeichnung,
- ID,
- Code NRW,
- Klimasensitivität der Maßnahmen,
  - • Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung.

Jede der insgesamt 61 untersuchten Maßnahmen lässt sich somit einer Belastungskombination zuordnen. Die Belastungen lassen sich grob in Punktquellen, diffuse Quellen, Hydromorphologie, Wasserentnahmen und Sonstige unterteilen. Durch die Maßnahmenbezeichnung erfolgt bereits eine kurze Beschreibung. Für detaillierte Angaben zu den Maßnahmen ist der Code NRW aufgeführt, über den sich die Maßnahmen den entsprechenden Maßnahmensteckbriefen unter [wiki.flussgebiete.nrw.de](http://wiki.flussgebiete.nrw.de) (MUNLV 2008b) zuordnen lassen. Zudem können hierüber einige Informationen über die Maßnahmen abgeleitet werden. Beispielsweise bedeutet „DQ\_OW\_U23“, dass zur Minderung von Belastungen der Oberflächenwasserkörper (OW) aus Diffusen Quellen (DQ) eine Umsetzungsmaßnahme (U) des Typs 23 durchgeführt wird (MUNLV 2009c). In der digitalen Version der Bewertungsmatrix ist dieser Code ein Hyperlink und ermöglicht online die direkte Verbindung mit dem entsprechenden Steckbrief einer Maßnahme. Durch die genannten Spalten lässt sich die Bewertungsmatrix leicht auf die Maßnahmenprogramme bestimmter Gewässer anwenden. Die ID-Nummern der Maßnahmen wurden aus organisatorischen Gründen eingeführt. Sie vereinfachen den Abgleich der Maßnahmen zwischen Bewertungsmatrix (Anlage 1) und Erläuterungsdokument (Anlage 2).

### 5.1.2 Ergebnisse und Erläuterungen

Die Bewertungsmatrix zeigt, dass ein Großteil der Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel leisten kann (Anlage 1, Abb. 5.1). Hierbei ist die Unterteilung in direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels zu beachten. Nur wenige Maßnahmen leisten keinen signifikanten Beitrag. Diese finden sich insbesondere unter der Belastungskombination „Sonstige“.

Die Abb. 5.1 verdeutlicht, dass der Großteil der Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel leisten kann. Demnach leisten 34 der insgesamt 61 untersuchten Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer und 15 Maßnahmen leisten einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Lediglich 6 Maßnahmen leisten keinen signifikanten Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel. Die Abb. 5.1 zeigt zusätzlich, wie die Verteilung der Kategorien „Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen“, „Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen“, „kein signifikanter Beitrag“ und „keine Bewertung“ auf die Maßnahmen in den jeweiligen Belastungsgruppen („Punktquellen“, „diffuse Quellen“; „Hydromorphologie“, „Wasserentnahmen“ und „Sonstige“) ausfällt.



**Abb. 5.1:** Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Bewertung der untersuchten Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur Anpassung von Gewässern an den Klimawandel

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Bewertungen nach Punktquellen, diffusen Quellen, Hydromorphologie, Wasserentnahmen und Sonstige unterteilt.

### Punktquellen

Ein Großteil der Maßnahmen zur Minderung der Belastung durch Punktquellen leistet einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Abb. 5.1).

Einige der Maßnahmen zur Minderung der Belastungen durch Punktquellen lassen sich aufgrund ihrer einheitlichen Bewertung von Klimasensitivität und Beitrag zur Anpassung in Gruppen zusammenfassen (Anlage 1). Zu der ersten Gruppe gehören Maßnahmen zur Reduzierung von kommunalen bzw. industriellen Stoffeinträgen wie der Bau und die Optimierung von Kläranlagen (IDs 2 bis 6, 12 und 13). Die Maßnahmen der ersten Gruppe leisten – wie die Mehrheit der Maßnahmen im Bereich der Punktquellen – einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Die Reduzierung der Stoffeinträge stellt eine Anpassung an die geringere Verdünnungsfähigkeit (Tab. 2.1) eines Gewässers dar (Anlage 2). Da die geringere Verdünnungsfähigkeit eine Folge der niedrigeren Niedrigwasserabflüsse ist (Kapitel 2.1), handelt es sich um einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Anlage 2).

Bei der Klimasensitivität dieser Maßnahmen ist der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung positiv zu bewerten. Die positive Bewertung beruht auf dem verstärkten Abbau durch Organismen in Kläranlagen infolge des Temperaturanstiegs. Gemäß MUNLV et al. (2009) nimmt die reinigende Wirkung eines Klärsumpfes unter höheren Temperaturen zu. Eine höhere Temperatur beschleunigt somit die Zersetzung (Imhoff & Imhoff 1999). Eine Niederschlagszunahme infolge des Klimawandels

kann dazu führen, dass die gewählte Verdünnung oder kritische Regenspende einer Kläranlage überschritten wird (Imhoff & Imhoff 1999). So müsste Niederschlagswasser beispielsweise unmittelbar in Gewässer entlastet werden. Der Einfluss einer Niederschlagszunahme auf die Wirkung der Maßnahme ist somit negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen ist positiv zu bewerten, da höhere Substratkonzentrationen in der Kläranlage insbesondere biologische Reinigungsverfahren begünstigen (Imhoff & Imhoff 1999).

Die zweite Gruppe setzt sich aus Maßnahmen zusammen, die dem Bereich Misch- und Niederschlagswasser zugeordnet sind (IDs 8 bis 11). Die Maßnahmen leisten einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Anlage 1). Durch den Rückhalt von Misch- und Niederschlagswasser erfolgt eine Verringerung der Verwundbarkeit von Gewässern gegenüber Hochwasserereignissen. Die Maßnahmen tragen somit zur Anpassung an Veränderungen im Hochwasserabfluss (Intensität, Dauer, Häufigkeit) bei (Tab. 2.1). Insbesondere die Reduzierung von Abflussspitzen infolge von Starkniederschlägen ist zu nennen. Die in den Maßnahmensteckbriefen (MUNLV 2008b) genannte Behandlung der Wässer leistet zudem einen Beitrag zur Minderung der stofflichen Belastung (Anlage 2).

Die Wirkung von Maßnahmen der zweiten Gruppe (IDs 8 bis 11) liegt insbesondere im Rückhalt von Misch- und Niederschlagswasser (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme kann zur Überlastung der Kapazitäten von Rückhaltebecken führen. Der Rückhalt der Wässer kann in diesen Fällen nicht gewährleistet werden. Somit wird die Wirkung der Maßnahmen negativ beeinflusst. Dies gilt insbesondere bei Spitzenbelastungen infolge zunehmender Starkniederschlagsereignisse. Temperaturzunahme und Niederschlagsabnahme haben keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme.

Neben den Maßnahmen, die sich aufgrund ihrer einheitlichen Bewertung von Klimasensitivität und Beitrag zur Anpassung in Gruppen zusammenfassen lassen, gibt es vereinzelte Maßnahmen zur Minderung der Belastung durch Punktquellen, die sich keiner Gruppe zuordnen lassen (IDs 1, 7, 14 bis 16). Von diesen Maßnahmen sind aufgrund der Bewertung ihres Beitrags zur Anpassung insbesondere ID 7 und ID 15 von Interesse. Die Zusammenschließung und Stilllegung vorhandener Kläranlagen (ID 7) leistet keinen signifikanten Beitrag zur Anpassung von Gewässern an den Klimawandel. Die Bewertung begründet sich in den Folgewirkungen, die gemäß ihres Maßnahmensteckbriefes für das ursprünglich aufnehmende Gewässer und das zukünftig aufnehmende Gewässer entstehen können (Anlage 2). Die dort aufgeführten hydraulischen und stofflichen Veränderungen an beiden Gewässern (MUNLV 2008b) können ebenso negativ sein. Die Maßnahme ist deshalb nicht als Anpassung zu bewerten. Die Reduzierung der Belastungen durch Wärmeeinleitungen (ID 15) leistet einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Durch sie kann die Erhöhung der Wassertemperatur aufgrund des Klimawandels gemindert oder ausgeglichen werden (Anlage 2).

### Diffuse Quellen

Veränderungen der Belastungen aus diffusen Quellen sind als direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer eingestuft. Grund dafür ist der direkte Zusammenhang zwischen der Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschlägen) und der Erhöhung der Einträge. So sind Gewässer gemäß Blume (2004) unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder langanhaltender Winterniederschläge gefährdet. Die Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen aus diffusen Quellen können damit die Verwundbarkeit der Gewässer gegenüber einer erhöhten Verschmutzung infolge des Klimawandels verringern und so einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen leisten (Anlage 1).

Die Wirkung der Maßnahmen liegt in der Reduzierung der Frachten (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels kann die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer jedoch erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahmen mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten (Anlage 1, Anlage 2). Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten

und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung einer Maßnahme ist davon abhängig, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt. Bei oberflächlichen Einträgen, wie beispielsweise Erosion oder Abschwemmung, hat die Temperaturzunahme keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit einer Maßnahme (IDs 20 bis 22). Handelt es sich jedoch um auswaschungsbedingte Einträge, spielt die biochemische Bodenaktivität eine Rolle. Sie kann durch die Temperaturzunahme steigen (Blume 2004). In der Folge wird der Stoffabbau in der Bodenzone gefördert und die Wirkung der Maßnahme erhöht. Die Temperaturzunahme hat somit einen positiven Einfluss auf die Wirkung solcher Maßnahmen (IDs 23 und 24).

Die Bewertung der Temperaturzunahme lässt sich nicht bei allen Maßnahmen eindeutig als „positiv“, „negativ“ oder „nicht signifikant“ bewerten. Für solche Fälle wurde die in Kapitel 4.1.3 vorgestellte Kategorie des „variablen“ Einflusses entwickelt. Kann der diffuse Eintrag ins Gewässer sowohl oberflächlich als auch durch Auswaschung erfolgen, wie dies bei den Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen von bebauten Gebieten (ID 19) und zur Reduzierung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft (ID 25) der Fall ist (Anlage 2), ist der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung der Maßnahmen als variabel (positiv und nicht signifikant) zu bewerten (Anlage 1).

Bei der Maßnahme zur Minderung diffuser Belastungen aus Altlasten (ID 18) ist der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung der Maßnahme ebenfalls variabel zu bewerten. Die Temperaturzunahme kann die Wirkung der genannten Maßnahmen sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Der positive Einfluss ist, wie bereits oben beschrieben, durch den Anstieg der biochemischen Bodenaktivität zu erklären. Die negative Bewertung kommt durch die mögliche erhöhte Stofffreisetzung aus den Altlasten infolge der Temperaturzunahme zustande (Höke 2010).

Die Reduzierung diffuser Belastungen infolge einer Bodenversauerung (ID 26) kann mittels Bodenkalkung erfolgen (MUNLV 2008b). Zum einen fällt die Löslichkeit von Carbonaten mit zunehmender Temperatur (Scheffer et al. 2002). Somit würde die Entkalkung der Böden langsamer verlaufen. Zum anderen gehen Carbonate in warmen Böden zumeist trotzdem stärker in Lösung als in kühlen, da der CO<sub>2</sub>-Partialdruck der Bodenluft infolge höherer biologischer Aktivität höher ist (Scheffer et al. 2002). Somit liegen zwei gegenläufige Reaktionen vor. Vermutlich hat die Temperaturzunahme deshalb kaum Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme. Ihr Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme ist als nicht signifikant zu bewerten (Anlage 2).

### Hydromorphologie

Der Großteil von Maßnahmen im Bereich der Hydromorphologie kann die Robustheit von Gewässern steigern und somit einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten (Anlage 1, Anlage 2). So leisten 17 der insgesamt 20 Maßnahmen, die dem Bereich der Hydromorphologie zugeordnet sind, einen Beitrag zur Anpassung an direkte oder indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Abb. 5.1). Der Beitrag dieser Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels setzt auf verschiedenen Ebenen an. So geht es mit Ausnahme der ID 37 (Maßnahme zur Verbesserung von Habitaten im Uferbereich) bei allen Maßnahmen, die einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen leisten, um Anpassungen an Abflussveränderungen. Hierunter fallen beispielsweise Veränderungen im Hochwasser- und Niedrigwasserabfluss (Tab. 2.1).

Die IDs 29 bis 33 sind durch ihre Belastungskombination direkt dem Wasserhaushalt zugeordnet und leisten einen Beitrag zur Anpassung an Abflussveränderungen. Sie gewährleisten beispielsweise den erforderlichen Mindestabfluss (ID 29), reduzieren Abflussspitzen (ID 31), sorgen für die Wiederherstellung des gewässertypischen Abflussverhaltens (ID 30) und fördern den natürlichen Rückhalt (ID 32) (MUNLV 2008b). Andere Maßnahmen sind nicht direkt dem Wasserhaushalt zugeordnet, sorgen jedoch durch morphologische Veränderungen im und am Gewässer für Anpassungen im Abfluss. Durch das Initiieren einer eigendynamischen Gewässerentwicklung (IDs 34 bis 36), den Anschluss von Seitengewässern und Altarmen (ID 39), die Einbeziehung der Aue (ID 38) und Optimierungen in der

Gewässerunterhaltung (ID 43) können Beiträge zur Anpassung an Abflussveränderungen entstehen (Anlage 2).

Die bereits erwähnte Maßnahme zur Verbesserung von Habitaten im Uferbereich (ID 37) leistet ebenfalls einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Jedoch geht es dabei nicht um Abflussveränderungen. Durch die Beschattung der Gewässer infolge von Gehölzentwicklungen (MUNLV 2008b) wird die Verwundbarkeit gegenüber Erhöhungen der Wassertemperatur verringert (Anlage 2). Die Maßnahme zur Anpassung und Optimierung der Gewässerunterhaltung (ID 43) kann durch die Entwicklung von Ufervegetation (MUNLV 2008b) zusätzlich zu dem o. g. Beitrag zur Anpassung an Abflussveränderungen zur Beschattung eines Gewässers beitragen. Hierdurch kann eine Verbesserung der Temperaturbedingungen im Gewässer entstehen und somit eine Anpassung an die thermische Belastung infolge des Klimawandels stattfinden

Neben dem o. g. Beitrag zur Anpassung an die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer, wie Abflussveränderungen und die Erhöhung der Wassertemperatur, dienen viele der hydromorphologischen Maßnahmen auch der Verbesserung, Wiederherstellung und Entwicklung von Habitaten mit entsprechender Besiedlung (Anlage 2). Hierzu gehören die Maßnahmen ID 34 bis 39 und 43 (MUNLV 2008b). Die Habitate bilden Rückzugsräume für die Organismen und ermöglichen so eine schnelle Wiederbesiedlung nach Extremereignissen (LAWA 2007).

Andere Maßnahmen im Bereich der Hydromorphologie leisten einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen. Hierunter fallen beispielsweise Veränderungen im Geschiebetransport infolge der Abflussveränderungen (Tab. 2.1). Somit können die Verbesserung des Geschiebehaushaltes (ID 41) und die Reduzierung der Belastungen durch Geschiebeentnahmen (ID 42) zur Anpassung des Gewässers an den Klimawandel beitragen (Anlage 2).

Die Herstellung der linearen Durchgängigkeit (IDs 45 und 46) vereinfacht die Wiederbesiedlung bestimmter Gewässerabschnitte nach Hochwasserereignissen. Da die Maßnahmen keinen Beitrag zur Anpassung an das Hochwasserereignis selbst leisten, sondern an die daraus resultierende Drift von Organismen, tragen sie ebenfalls zur Anpassung an indirekte Auswirkungen bei (Anlage 1, Anlage 2). Bei einigen Maßnahmen (IDs 44, 47, 48) konnte aufgrund zu unspezifischer Angaben in den Maßnahmensteckbriefen keine Bewertung erfolgen (Anlage 1, Anlage 2).

In ihrer Klimasensitivität unterscheiden sich die hydromorphologischen Maßnahmen auffällig (Anlage 1). Bei einigen ist der Einfluss der Klimaveränderungen auf die Wirksamkeit eindeutig. Beispielsweise haben Niederschlagszunahme und -abnahme einen positiven Einfluss auf die Auenentwicklung (ID 38), da sie den steten Wechsel zwischen Überflutung und Trockenfallen fördern. Dieser ist gemäß MUNLV (2010b) für die Auenentwicklung wichtig. Bei anderen Maßnahmen ist die Bewertung nicht eindeutig. So können Niederschlagszunahme und -abnahme bei der eigendynamischen Gewässerentwicklung (ID 34) und ihren Vollzugsmaßnahmen (IDs 35 und 36) (MUNLV 2008b) sowohl einen positiven als auch negativen Einfluss auf die Wirkung der Maßnahmen haben (Anlage 1, Anlage 2). Der positive Einfluss entsteht dadurch, dass mit den Veränderungen in den Niederschlägen ein Wechsel der Strömungsverhältnisse einhergeht. Das kann förderlich für die strukturelle Entwicklung eines Gewässers sein (z. B. Laufveränderungen oder Ausbildung eines asymmetrischen Querprofils) (MUNLV 2010b). Auch erosive Prozesse infolge einer Niederschlagszunahme sind vorteilhaft für die morphologische Verbesserung des Gewässers (MUNLV 2010b). Gleichwohl können Niederschlagszunahme, gekoppelt mit Starkniederschlägen, und Niederschlagsabnahme die Wirksamkeit der Maßnahmen mindern. So wirken insbesondere Starkniederschläge und verstärkte Abflüsse zerstörerisch auf Initialmaßnahmen. Abnehmende Niederschläge und geringere Abflüsse schwächen die Eigendynamik des Gewässers. Der Einfluss von Niederschlagszunahme und -abnahme ist dementsprechend als variabel zu bewerten (Anlage 1).

Die Temperaturzunahme infolge des Klimawandels hat einen Einfluss auf die Maßnahme ID 37 (Verbesserung der Temperaturbedingungen im Gewässer durch Beschattung mittels Gehölzentwicklung) (Anlage 1). Sie mindert die Wirkung der Maßnahme und hat somit einen negativen Einfluss.

Einige der Maßnahmen (IDs 33, 40, 42 bis 44 sowie 47 und 48) konnten nicht auf ihre Klimasensitivität hin bewertet werden, da die Angaben in den Steckbriefen zu unspezifisch waren (Anlage 1).

### Wasserentnahmen

Bei den Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen durch Wasserentnahmen (IDs 49 bis 53) ist die Bewertung einheitlich (Anlage 1, Abb. 5.1). Sie leisten einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an Niedrigwasserabflüsse. Die Reduzierung der Wasserentnahmen aus den Flüssen kann insbesondere während Niedrigwasserereignissen zu einer Aufhöhung des Niedrigwassers führen. Bei den Niedrigwasserabflüssen handelt es sich, wie bei allen Abflussveränderungen, um eine direkte Auswirkung des Klimawandels auf Gewässer (Kapitel 2.1). Die Maßnahmen sind dementsprechend als Beitrag zur Anpassung der Gewässer an direkte Auswirkungen des Klimawandels zu bewerten.

Die Bewertung der Klimasensitivität dieser Maßnahmenart ist ebenfalls einheitlich (Anlage 1). Die Wirkung der Maßnahmen besteht in der Gewährleistung einer gewissen Abflussmenge im Gewässer. Dies soll durch die Reduzierung der Wasserentnahmen erreicht werden. Eine Niederschlagszunahme wirkt positiv, weil dem Gewässer dadurch mehr Wasser zur Verfügung steht. Die Niederschlagsabnahme hat somit einen negativen Einfluss auf die Wirkung. Sie reduziert die Abflussmenge im Gewässer und verschlechtert damit die Verhältnisse. Eine Temperaturzunahme hat keinen signifikanten Einfluss.

### Sonstige

Der Großteil dieser Maßnahmen trägt nicht signifikant zur Anpassung bei (IDs 54 bis 58). Eine Ausnahme stellt die Maßnahme zur Eindämmung eingeschleppter Spezies dar (ID 60). Sie kann die Verwundbarkeit der Gewässer gegenüber Neozoen verringern und somit der Verdrängung heimischer Arten entgegenwirken. Da die Einwanderung von Neozoen insbesondere aus den steigenden Wassertemperaturen resultiert (LAWA 2007, KLIWA 2010c), leistet die Maßnahme folgerichtig einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen (Anlage 1).

Die Klimasensitivität der meisten sonstigen Maßnahmen konnte aufgrund zu unspezifischer Angaben in den Maßnahmensteckbriefen (MUNLV 2008b) nicht bewertet werden (Anlage 1).

## 5.2 Anwendung der Bewertungsmatrix auf das Emschergebiet

Die Auswertung der Wasserkörpersteckbriefe der beiden Planungseinheiten Emscher-Mitte-West und Emscher-Ost zeigt, dass im Emscher-Einzugsgebiet insgesamt 17 Maßnahmentypen des standardisierten Maßnahmenkatalogs nach LAWA umgesetzt werden sollen (MUNLV 2010a). Die entsprechenden Maßnahmen des Untersuchungsgebietes sowie die jeweilige Bewertung ihres Beitrags zur Anpassung gemäß der Bewertungsmatrix sind in Tab. 5.1 dargestellt. Aus der Tabelle wird auch deutlich, wie sich die Maßnahmen in den Planungseinheiten verteilen.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass es sich hauptsächlich um Maßnahmen aus den Bereichen der Punktquellen und der Hydromorphologie handelt. Hinzu kommen einige Maßnahmen zur Minderung der Belastungen durch diffuse Quellen. Maßnahmen zur Minderung der Belastung durch Wasserentnahmen und Maßnahmen zur Reduzierung der sonstigen Belastungen sind im ersten Bewirtschaftungszeitraum im Emscher-Einzugsgebiet nicht geplant (MUNLV 2010a). Der Abgleich der Maßnahmen des Untersuchungsgebietes mit der Bewertungsmatrix zeigt, dass sie zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel beitragen können (Tab. 5.1). Von den insgesamt 17 geplanten Maßnahmentypen leisten 11 Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung an direkte und 6 Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels. Die Maßnahmen sind somit für die Anpassung der Gewässer von Bedeutung. Begründungen darüber, warum die einzelnen Maßnahmen gemäß der Bewertungsmatrix einen Beitrag zur Anpassung leisten, sind im Erläuterungsdokument zur Matrix aufgeführt (Anlage 2).

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| Code Belastung                           | Maßnahmenbezeichnung                                                                                                        | Planungseinheit<br>Emscher-Mitte West | Planungseinheit<br>Emscher Ost | Beitrag der Maßnahmen zur<br>Anpassung |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| PQ_OW_U07_Kommune/Haushalte              | Fremdwasserbeseitigung zur Reduzierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge                                                 | x                                     |                                |                                        |
| PQ_OW_U04_Kommunen/Haushalte             | Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Stoffeinträge                                                             | x                                     |                                |                                        |
| PQ_OW_U46_Misch- und Niederschlagswasser | Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Niederschlagswasser in Trennsystemen        | x                                     | x                              |                                        |
| PQ_OW_U45_Misch- und Niederschlagswasser | Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Mischwasser                                 | x                                     | x                              |                                        |
| PQ_OW_U47_Industrie/Gewerbe              | Neubau und Anpassung von Kläranlagen                                                                                        | x                                     |                                |                                        |
| PQ_OW_U50_Industrie/Gewerbe              | Optimierung der Betriebsweise von Kläranlagen                                                                               | x                                     |                                |                                        |
| PQ_OW_U37_Bergbau                        | Maßnahmen zur Reduzierung punktueller Stoffeinträge (ausgenommen Abwasser, Niederschlagswasser und Kühlwasser)              | x                                     |                                |                                        |
| DQ_OW_U36_Bergbau                        | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                              | x                                     |                                |                                        |
| DQ_OW_U36_Altlasten/Altstandorte         | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                              | x                                     | x                              |                                        |
| DQ_OW_U36_Bebaute Gebiete                | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                              | x                                     | x                              |                                        |
| HY_OW_U38_Wasserhaushalt                 | Maßnahmen zur Reduzierung von nutzungsbedingten Abflussspitzen                                                              | x                                     |                                |                                        |
| HY_OW_U11_Morphologie                    | Maßnahmen zum Initiieren/ Zulassen einer eigen dynamischen Gewässerentwicklung inkl. begleitender Maßnahmen                 | x                                     | x                              |                                        |
| HY_OW_U17_Morphologie                    | Maßnahmen zur Habitatverbesserung im Gewässer durch Laufveränderung, Ufer- oder Sohlgestaltung inkl. begleitender Maßnahmen | x                                     | x                              |                                        |
| HY_OW_U44_Morphologie                    | Maßnahmen zur Vitalisierung des Gewässers (u.a. Sohle, Varianz, Substrat) innerhalb des vorhandenen Profils                 | x                                     | x                              |                                        |
| HY_OW_U43_Morphologie                    | Maßnahmen zur Verbesserung von Habitaten im Uferbereich (z.B. Gehölzentwicklung)                                            | x                                     | x                              |                                        |
| HY_OW_U42_Morphologie                    | Maßnahmen zur Verbesserung von Habitaten im Gewässerentwicklungskorridor einschließlich der Auenentwicklung                 | x                                     | x                              |                                        |
| HY_OW_U19_Durchgängigkeit                | Maßnahmen zur Herstellung der linearen Durchgängigkeit an sonstigen wasserbaulichen Anlagen                                 | x                                     | x                              |                                        |

**Tab. 5.1: Beitrag der Maßnahmen im Emscher-Einzugsgebiet zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel**

### 5.3 Ansatz zur Bestimmung der Klimasensitivität von Gewässern

In der vorliegenden Arbeit sollte ein Ansatz zur Erfassung der Klimasensitivität von Gewässern erprobt werden. Wie in Kapitel 4.3 beschrieben erfolgt die Bestimmung der Klimasensitivität über die Größe des Einzugsgebietes von Wasserkörpern. Der Ansatz sollte anhand eines geeigneten Beispielgewässers im Untersuchungsgebiet vorgestellt werden. Als Beispielgewässer dient die Boye (Kapitel 4.3).

Das Boye-System liegt im Bereich der Städte Bottrop und Gladbeck (Anlage 3, Anlage 3a). Mit einer Einzugsgebietsgröße von etwa 75 km<sup>2</sup> ist es eines der größten Bachsysteme, das der Emscher zufließt (EmscherGenossenschaft & Staatliches Umweltamt Herten 2005). In dem Gebiet der Boye leben rund 185.000 Menschen. Nach EmscherGenossenschaft & Staatliches Umweltamt Herten (2005) ist die Boye ein für das Emschergebiet charakteristisches Gewässer. Ihre Quellbäche entspringen in naturnahen Regionen. Anschließend durchfließt sie landwirtschaftliche Flächen. Ihr Mittel- und Unterlauf ist begradigt und betoniert und dient als Schmutzwasserlauf (EmscherGenossenschaft & Staatliches Umweltamt Herten 2005).

Auswertungen des Boye-Systems durch die Nutzung von ELWAS-IMS haben gezeigt, dass es sich aus drei Wasserkörpern mit unterschiedlich großen Einzugsgebieten zusammensetzt (MKULNV 2010b). Die Einzugsgebiete der Wasserkörper wurden mittels ELWAS-GIS visualisiert. Sie sind in den Anlagen 3 und 3a dargestellt. Das kleinste Einzugsgebiet liegt im Quellbereich der Boye (Oberlauf). Das größte Einzugsgebiet befindet sich im Mündungsbereich der Boye in die Emscher. Die absoluten Einzugsgebietsgrößen sind in Tab. 5.2 aufgeführt.

Entsprechend dem zu Grunde gelegten Ansatz, dass Wasserkörper mit kleinen Einzugsgebieten klimasensitiver sind (Kapitel 4.3), sollten demnach im Oberlauf der Boye Maßnahmen bevorzugt werden, die gemäß der Bewertungsmatrix für die Anpassung von Gewässern an den Klimawandel von Bedeutung sind.

| Gewässername | Bezeichnung | Kennung            | Einzugsgebietsgröße [km <sup>2</sup> ] |
|--------------|-------------|--------------------|----------------------------------------|
| Boye         | Oberlauf    | DE_NRW_27726_10887 | 3,25                                   |
| Boye         | Mittellauf  | DE_NRW_27726_8000  | 23,62                                  |
| Boye         | Unterlauf   | DE_NRW_27726_0     | 47,49                                  |

Tab. 5.2: Einzugsgebietsgrößen der Wasserkörper an der Boye

## 6. Diskussion

### Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war es, eine Bewertungsmatrix zu erstellen, mit der man Aussagen über die Bedeutung von Maßnahmen nach WRRL für die Anpassung von Fließgewässern an die Auswirkungen des Klimawandels treffen kann. Die entwickelte Matrix gibt einen Überblick über den Beitrag der einzelnen Maßnahmen zur Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel sowie über deren Klimasensitivität. Für die Zielerreichung ist insbesondere die Bewertung des Beitrags zur Anpassung der Gewässer relevant. Demnach sind solche Maßnahmen von besonderer Bedeutung, die einen Beitrag zur Anpassung an direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer leisten. Hier-

bei kann von „win-win“-Situationen bzw. von „no-regret“-Maßnahmen gesprochen werden. Dies sind Maßnahmen, die bereits ohne den Klimawandel nützlich wären, jedoch durch dessen Auswirkungen auf Gewässer noch einen zusätzlichen Vorteil bieten (UBA 2008). Die Bewertung der Klimasensitivität der Maßnahmen gibt darüber hinaus Hinweise auf den Einfluss des Klimawandels auf die Wirkung der Maßnahmen selbst. Dies kann bei der Planung bestimmter Maßnahmen als Entscheidungshilfe dienen. So sollte der negative Einfluss des Klimawandels auf die Wirksamkeit insbesondere bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen bedacht werden, die eine lange Laufzeit haben bzw. deren Umsetzung kostenintensiv ist (European Communities 2009).

Die zwei zusätzlichen Forschungsfragen wurden im Laufe der Arbeit ebenfalls bearbeitet. Sie sind in der Folge noch einmal aufgeführt:

- Leisten die Maßnahmen, die im Emscher-Einzugsgebiet umgesetzt werden sollen, gemäß der entwickelten Bewertungsmatrix einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel?
- Wie kann die Sensitivität von Gewässern bzw. Gewässerabschnitten gegenüber dem Klimawandel bestimmt werden?

### Matrix und Vorgehensweise

Der Aufbau der Bewertungsmatrix mit der Zuordnung einzelner Maßnahmen zu verschiedenen Belastungskombinationen gewährleistet die Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Die Nutzung farbiger Symbole für die Bewertung dient zudem der unmittelbaren Verständlichkeit der Ergebnisse für den Betrachter. Diese Eigenschaften vereinfachen die Anwendung der Matrix in der Praxis. So ist beispielsweise ein schneller Abgleich zwischen geplanten Maßnahmen an Wasserkörpern mit der Bewertungsmatrix möglich. Dies wiederum lässt Rückschlüsse auf den Beitrag von den in Flussgebieten umzusetzenden Maßnahmen zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel zu.

Das Erläuterungsdokument stellt eine wichtige Ergänzung zur Matrix dar. Die darin zusammengestellten Begründungen gewährleisten die Nachvollziehbarkeit der Bewertungen. Die Auflistung der Begründungen folgt dabei systematisch der Abfolge der Maßnahmen in der Matrix. Die ID-Nummern vereinfachen die Zuordnung der Begründungen zu den Maßnahmen zusätzlich.

Durch die Nutzung des Erläuterungsdokuments lassen sich zudem nicht nur Aussagen darüber treffen, ob einzelne Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung leisten. Es lässt sich darüber hinaus auch feststellen, an welche Veränderungen die einzelnen Maßnahmen eine Anpassung darstellen können.

Die Differenzierung des Beitrags zur Anpassung in die Kategorien

- Anpassung an direkte Auswirkungen und
- Anpassung an indirekte Auswirkungen

bietet folgenden Vorteil: Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, resultieren die indirekten aus den direkten Auswirkungen. Die Umsetzung einer Maßnahme, die einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen leistet, kann demnach auch die Verwundbarkeit durch indirekte Veränderungen reduzieren. Die Unterteilung kann dementsprechend eine weitere Hilfe beim Entscheidungsprozess zur Umsetzung bestimmter Maßnahmen bieten. Dies kann nicht zuletzt auch aus wirtschaftlicher Sicht von Interesse sein, da sich durch die Umsetzung von Maßnahmen, die einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen leisten, spezielle Maßnahmen zur Anpassung an indirekte Auswirkungen einsparen lassen. Ein Nachteil dieser Unterteilung kann darin liegen, dass hierdurch zunächst immer geschaut wurde, ob eine Anpassung an direkte Veränderungen stattfindet. War dies der Fall, wurden Anpassungen an indirekte Auswirkungen nicht immer explizit erwähnt.

Insgesamt ist die Vorgehensweise bei der Bewertung auch durch die Auflistung potenzieller Auswirkungen des Klimawandels auf die Fließgewässer in Tab. 2.1 nachvollziehbar.

Die Beschreibung des Klimawandels durch die drei Parameter Temperaturzunahme, Niederschlagszunahme und Niederschlagsabnahme ermöglicht die Untersuchung der Klimasensitivität von Maßnahmen. Sie stellen auch die für die Auswirkungen auf Gewässer maßgeblichen Klimaveränderungen dar (Kapitel 2). Die Untersuchung der Klimasensitivität hat sich im Laufe der Arbeit als recht komplex herausgestellt. Dies zeigt zum einen die Einführung der Kategorie des „variablen Einflusses“. Der Einfluss des Klimawandels auf die Wirkung solcher Maßnahmen ist ungewiss und kann nicht eindeutig als positiv, negativ oder nicht signifikant bewertet werden (Kapitel 4.3.1). Für eine genauere Bestimmung müssten künftig detaillierte Untersuchungen erfolgen.

Eine weitere Problematik entstand durch die verschiedenen Wirkungsketten und die möglichen Folgewirkungen, die durch den Einfluss des Klimawandels initiiert werden können. Um bei der Bewertung der Klimasensitivität von Maßnahmen nicht zu abstrakt zu werden, war es deshalb notwendig, Grenzen bei der Bewertung zu ziehen. Aus diesem Grund sind die Folgewirkungen in der Bewertungsmatrix nicht berücksichtigt. Um die Problematik zu verdeutlichen, werden in der Folge exemplarisch einige dieser Wirkungsketten beschrieben:

- Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die diffusen Einträge aus der Landwirtschaft.

In der Bewertungsmatrix wurde der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung der entsprechenden Maßnahmen positiv bzw. nicht signifikant bewertet (Anlage 1). Die Bewertung erfolgte in Abhängigkeit davon, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt (Kapitel 5, Anlage 2).

Durch den Anstieg der Lufttemperatur kann es darüber hinaus zu einer erhöhten Fruchtfolge kommen (auch in Abhängigkeit vom Wasserangebot) (IPCC 2007c). Dies kann wiederum eine erhöhte Düngung durch die Landwirte bewirken. Somit würden infolge der Temperaturzunahme mehr Stoffe zur Auswaschung und Abschwemmung zur Verfügung stehen. Die Einträge in die Gewässer könnten zunehmen und der Einfluss der Temperaturzunahme wäre negativ zu bewerten.

- Einfluss der Niederschlagsabnahme auf die diffusen Einträge aus der Landwirtschaft.

In der Bewertungsmatrix wurde der Einfluss einer Niederschlagsabnahme auf die Wirkung der entsprechenden Maßnahmen positiv bewertet (Anlage 1). Die Abnahme der Niederschläge führt jedoch auch zur Austrocknung der Flächen. Dies könnte wiederum die Einträge ins Gewässer mittels Winderosion begünstigen. Der Einfluss der Niederschlagsabnahme auf die Wirkung der Maßnahmen wäre somit negativ zu bewerten.

- Einfluss der Temperaturzunahme auf das Abflussregime von Fließgewässern.

Die Temperaturzunahme ist bei dem Großteil der hydromorphologischen Maßnahmen als nicht signifikant bewertet.

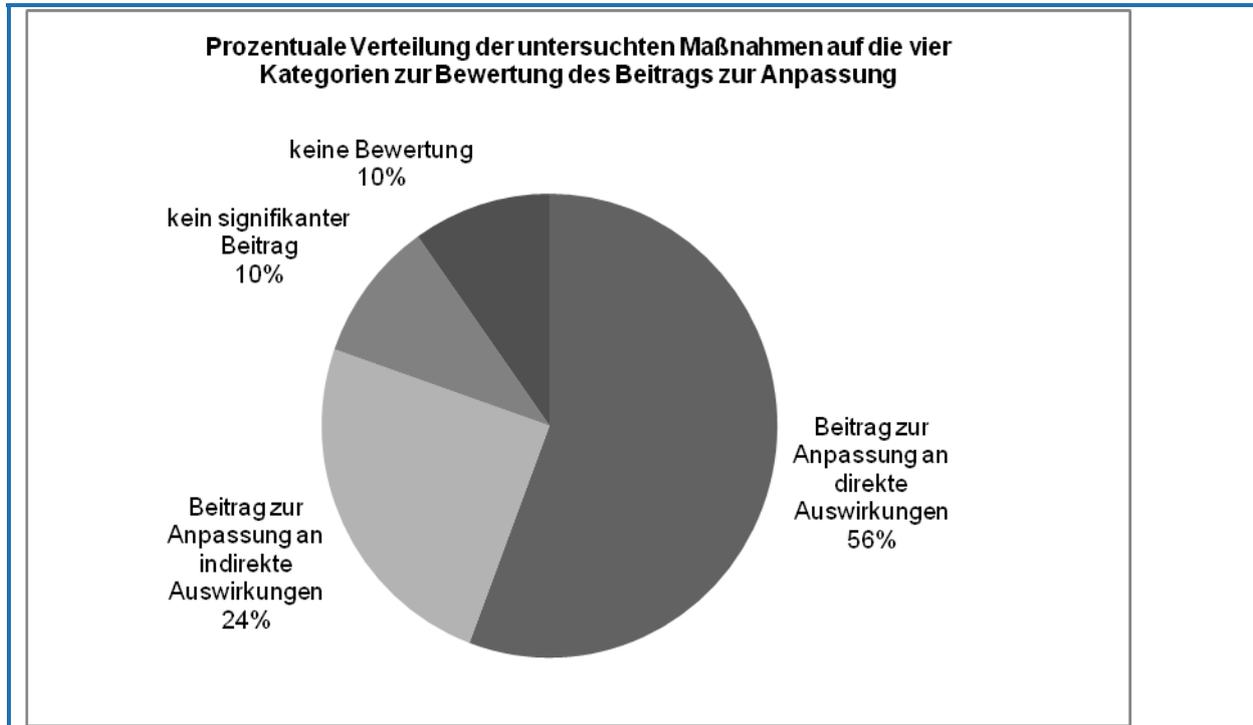
Durch den Anstieg der Lufttemperatur wird jedoch weniger Niederschlag in Form von Schnee fallen (IPCC 2008). Somit wäre weniger Wasser in Form von Schnee zwischengespeichert, was direkte Auswirkungen auf das Abflussregime der Flüsse hätte. Dies kann verschiedene Einflüsse auf die Wirkung von Maßnahmen im Bereich der Hydromorphologie haben.

Die Bewertungen zur Klimasensitivität von Maßnahmen würden sich bei konkreter Verortung an Gewässern leichter durchführen lassen, da dort die jeweiligen Verhältnisse vor Ort bekannt wären und berücksichtigt werden könnten.

### Ergebnisdiskussion

Die Bewertungsmatrix zeigt, dass ein Großteil der Maßnahmen, die im Rahmen der WRRL umgesetzt werden, für die Anpassung der Gewässer an den Klimawandel von Bedeutung sein kann (Anlage 1). Die Abb. 6.1 verdeutlicht dies. Sie gibt einen Überblick über die prozentuale Verteilung der insgesamt 61 untersuchten Maßnahmen auf die Kategorien „Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen“, „Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen“, „kein signifikanter Beitrag“ und „keine Bewer-

tung“. Durch ihren Beitrag zur Anpassung mindern die Maßnahmen die Verwundbarkeit bzw. steigern die Robustheit der Gewässer gegenüber den Veränderungen, die mit dem Klimawandel einhergehen (Anlage 2).



**Abb. 6.1:** Prozentuale Verteilung der insgesamt 61 bewerteten Maßnahmen auf die Kategorien „Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen“, „Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen“, „kein signifikanter Beitrag“ und „keine Bewertung“

Ein Vergleich der Bewertungsmatrix mit den Einschätzungen der Klimarelevanz von Maßnahmen gemäß dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und dem Umweltbundesamt (Flussgebietsgemeinschaft Elbe 2009) zeigt einige Unterschiede. Beim Beitrag zur Anpassung sind insbesondere die Einstufungen im Bereich der Punktquellen verschieden. Hier leisten die Maßnahmen, die in der Bewertungsmatrix mit einem Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen bewertet wurden, gemäß den Einschätzungen des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung und des Umweltbundesamtes keinen Beitrag zur Anpassung. Auch bei der Bewertung einiger Maßnahmen im Bereich der Hydromorphologie zeigen sich Unterschiede. Die Einschätzungen zur Klimasensitivität der Maßnahmen in der Bewertungsmatrix und in dem Dokument des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung und des Umweltbundesamtes unterscheiden sich größtenteils. Die Unterschiede zwischen den beiden Dokumenten können auf verschiedenen Vorgehensweisen beruhen. Klären lässt sich dies jedoch nicht, da es zu den Einstufungen nach Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und Umweltbundesamt keine Erläuterungen gibt (Hornemann 2010). Neben den genannten Unterschieden gibt es jedoch auch zahlreiche Gemeinsamkeiten zwischen der Bewertungsmatrix und den Einschätzungen zur Klimarelevanz. Beispielsweise zeigen einige Maßnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen diffusen Quellen, Wasserentnahmen und Hydromorphologie Gemeinsamkeiten in der Bewertung ihres Beitrags zur Anpassung.

Ein Abgleich der in den beiden Planungseinheiten des Emscher-Einzugsgebietes geplanten Maßnahmen mit der Bewertungsmatrix hat gezeigt, dass sie einen Beitrag zur Anpassung an direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer leisten. Sie sind somit für die Anpassung der Gewässer an den Klimawandel von Bedeutung (Kapitel 5.2). Die Umsetzung der geplanten Maßnahmen kann dementsprechend zur späteren Gesamtanpassung der Region beitragen. Ob die geplanten Maßnahmen hierfür jedoch ausreichen oder ob weitere Maßnahmen notwendig sind, muss künftig geklärt werden. Für die spezifischere Anpassung der Fließgewässer im Emscher-Einzugsgebiet könnte

einer der nächsten Schritte somit darin bestehen, die Sensitivität der Gewässer gegenüber dem Klimawandel zu bestimmen. Entsprechend der bestimmten Sensitivität ließe sich der Bedarf an Anpassungsmaßnahmen feststellen. Somit könnten an klimasensitiveren Gewässern bzw. Gewässerabschnitten gezielt solche Maßnahmen geplant werden, die gemäß der Bewertungsmatrix für die Anpassung an den Klimawandel von Bedeutung sind.

Eine Grundlage zur Bestimmung der Sensitivität von Gewässern gegenüber dem Klimawandel bietet der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz auf Basis der Einzugsgebietsgrößen von Wasserkörpern (Kapitel 4.3 und 5.3). Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass er sich in der Praxis recht leicht umsetzen lässt. Über das frei zugängliche ELWAS-IMS können die benötigten Informationen visualisiert werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass über die Bestimmung der Sensitivität auf Ebene der Wasserkörper ein direkter Vergleich zwischen Bedarf und geplanten Maßnahmen möglich ist. Auf diese Weise lassen sich Defizite aufdecken und beheben. Für die künftige Anwendung des beschriebenen Ansatzes auf das gesamte Emschergebiet empfiehlt sich anstelle der Analyse der Relationen der Einzugsgebietsgrößen zueinander eine klassifizierte Bewertung, d. h. eine Zuordnung der verschiedenen Einzugsgebiete zu vorab definierten Größenklassen.

Diese Art der Bedarfsanalyse ist jedoch noch recht grob. Vorteilhaft wäre es, nicht nur den generellen Bedarf von Wasserkörpern an Anpassungsmaßnahmen aufzuzeigen, sondern diesen auch auf konkrete Bereiche, wie beispielsweise den Abfluss, die Wassertemperatur oder stoffliche und biologische Veränderungen zu beziehen. Hierdurch ließe sich eine spezifischere Zuordnung von Maßnahmen ermöglichen. Ein weiterer Nachteil dieses Ansatzes besteht darin, dass er sich nicht generell auf alle Gewässer übertragen lässt. Wie bereits in Kapitel 4.3 erläutert, hängt das häufigere Trockenfallen von Fließgewässern mit kleinem Einzugsgebiet bei wärmeren und trockeneren Sommern auch von den geologischen Verhältnissen ab (LAWA 2007). Eine Ausnahme können beispielsweise Karstgewässer darstellen. Aufgrund der hohen Grundwasserneubildungsrate von Karst-Grundwasserleitern und der starken Schüttung ihrer Quellen (Hölting & Coldewey 2009) können die Oberläufe mit kleinen Einzugsgebieten nach Sommerniederschlägen bereits wieder Wasser führen, auch wenn die Unterläufe mit großen Einzugsgebieten noch trocken liegen. Zudem können die kleinen Einzugsgebiete in den Oberläufen von Fließgewässern bewaldet sein. Diese Bereiche wären somit beschattet und weniger empfindlich als die häufig unbeschatteten Unterläufe.

Eine Alternative könnte die Bestimmung der Klimasensitivität auf Ebene von Fließgewässertypen darstellen. Da in Deutschland in der hydrobiologischen Praxis auf Basis von Fließgewässertypen gearbeitet wird (Pottgiesser & Sommerhäuser 2008), würde es sich anbieten, diese Typologie als Basis zu nehmen und zu untersuchen, wie sensibel jeder einzelne Typ auf eine Temperaturerhöhung und Niederschlagsveränderungen infolge des Klimawandels reagiert. Entsprechend der bestimmten Sensitivität könnten den Fließgewässertypen dann Maßnahmen zugeordnet werden, die für sie in Bezug auf die Anpassung an den Klimawandel relevant sind. Voraussetzung hierfür wäre eine Erweiterung der Typensteckbriefe im Bereich der Hydrologie, um die Veränderungen im Abfluss infolge des Klimawandels ausreichend berücksichtigen zu können.

Ein anderer Ansatz könnte durch aktuell laufende Untersuchungen zu den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels aus hydrobiologischer Sicht im Rahmen von *dynaklim* entstehen. Hierfür werden Gewässer mit Klimawandel-ähnlicher Degradation sowie gering beeinflusste Gewässer untersucht (Sommerhäuser & Korte 2010). Ein Ziel ist es u. a., Klimaindikatoren für permanente Gewässer zu finden und ein Bewertungsverfahren für temporäre Gewässer zu entwickeln (Sommerhäuser & Korte 2010). Die Indikatoren könnten Hinweise geben, ob eine Lebensgemeinschaft in einem Gewässer durch den Klimawandel beeinflusst ist. Darüber ließe sich wiederum die Sensitivität eines Gewässers bestimmen und der entsprechende Bedarf an Maßnahmen zur Anpassung ermitteln.

### Synergien und Konfliktpotenzial

In Kapitel 2.2 wurden bereits Gründe dafür aufgeführt, weshalb der Anpassung von Gewässern an den Klimawandel im Rahmen der WRRL eine besondere Bedeutung zukommt. Die WRRL kann somit,

vorausgesetzt die Auswirkungen des Klimawandels und die Anpassung daran werden künftig stärker berücksichtigt, ein Instrument darstellen, um Anpassungsstrategien auf nationaler und regionaler Ebene zu unterstützen und um Anpassungsmaßnahmen bei den Flussgebietsplanungen zu integrieren (UBA 2008). Dies würde auch der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (BMU 2009) und der Anpassungsstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV 2009a) entsprechen, da die Einbeziehung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme in die Entwicklung regionaler Anpassungsstrategien ein wesentlicher Bestandteil der Strategien ist (*dynaklim* 2008).

Durch die Umsetzung von Maßnahmen, die gemäß der Bewertungsmatrix einen Beitrag zur Anpassung leisten, können Synergien zu anderen Bereichen entstehen. Dies kann das Gewässerumfeld mit einbeziehen. Beispielsweise kann die Anpassung an Veränderungen der Hochwasserabflüsse (Intensität, Dauer und Häufigkeit des Abflusses) (Tab. 2.1) zum Hochwasserschutz beitragen und dadurch die Arbeiten zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie begünstigen. Exemplarisch sollen hier die Maßnahmen zur Reduzierung von nutzungsbedingten Abflussspitzen (ID 31), zur Förderung des natürlichen Rückhalts (ID 32) und zum Rückhalt von Niederschlagswasser (IDs 8 bis 11) genannt werden. Sektorübergreifende Vorteile können auch durch die Umsetzung von Maßnahmen im Bereich der Hydromorphologie entstehen. Naturnah entwickelte Fließgewässer können als Frischluftschneisen dienen. Dies ist insbesondere in Ballungsgebieten wie dem Ruhrgebiet oder städtischen Einzugsgebieten ein wichtiger Aspekt. Die Gewässer können in solchen Fällen eine Rolle bei der Verbesserung des Stadtklimas spielen (UBA 2008). Sie dienen somit auch als Präventivmaßnahmen hinsichtlich der gesundheitlichen Risiken für Menschen (UBA 2008), die infolge der prognostizierten Zunahme an Hitzewellen (IPCC 2007c, 2008) auftreten können. Zudem dienen die naturnahen Gewässer als Naherholungsgebiete und gestalten die Einzugsgebiete attraktiver für den Tourismus.

Die Verschärfung einiger Umstände infolge des Klimawandels kann jedoch auch Konfliktpotenziale entstehen lassen. Der Energiesektor ist beispielsweise stark vom Wasser aus Flüssen abhängig (UBA 2008). Das Wasser ist wichtig für die Kühlung von Kraftwerken (PIK 2009). Zunehmende Trockenperioden und erhöhte Wassertemperaturen können die Produktion bereits negativ beeinträchtigen (UBA 2008). Änderungen der Auflagen für die Wasserentnahmen und -einleitungen für den Energiesektor können die Bedingungen zusätzlich verschärfen.

### Übertragung auf die quantitative Ebene

In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer sowie die Bewertung hinsichtlich des Beitrags der Maßnahmen zur Anpassung auf qualitativer Ebene betrachtet. Dadurch sind die Aussagen hierüber recht allgemeingültig und die Bewertungsmatrix ist gut auf andere Regionen übertragbar. Der tatsächliche Beitrag einzelner Maßnahmen ist jedoch auch von dem Ausmaß des regional auftretenden Klimawandels und dem Umfang der geplanten Maßnahmen abhängig. Ein künftiger Schritt könnte deshalb darin bestehen, die Arbeiten auf die quantitative Ebene zu verlagern und dabei die Erkenntnisse der Bewertungsmatrix zu nutzen. Auf der quantitativen Ebene geht es um das Ausmaß und das zeitliche Auftreten der Auswirkungen des Klimawandels in bestimmten Flussgebieten, Einzugsgebieten oder an Gewässern (European Communities 2009). Hierdurch könnten Maßnahmen, die gemäß der Matrix einen Beitrag zur Anpassung leisten, effektiver und zielgerichteter geplant werden. Sie könnten beispielsweise auf Grundlage entsprechender Berechnungen und Modellierungen in ihrem Umfang erweitert werden. Dies würde die Arbeit im Bereich der Anpassung verbessern. Für solche quantitativen Angaben bietet sich die Verwendung von Wasserhaushaltsmodellen an. Sie ermöglichen Aussagen zu Abflüssen in den Gewässern, zur Grundwasserneubildung und zur Verdunstung (LAWA 2007). Als Eingangsgröße für die Wasserhaushaltsmodelle könnten regionale Prognosedaten des Klimas dienen. Derzeit reicht jedoch die Güte der Klimamodelle nicht aus, um Absolutwerte mit entsprechender Sicherheit zu erzeugen. Gesichert sind nur die Tendenzen für die Entwicklungen von Temperatur, Niederschlag etc. Jede darüber hinausgehende Konkretisierung (zeitlich und räumlich) vergrößert die Unsicherheiten und stellt derzeit keine Planungsgrundlage mit ausreichender Sicherheit dar (Quirnbach 2010).

### Fazit und Ausblick

Die Bewertungsmatrix stellt einen Versuch dar, die Bedeutung einzelner Maßnahmen nach WRRL für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel aufzuzeigen. Es wird deutlich, welche Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung leisten und welche Maßnahmen durch den Einfluss des Klimawandels positiv oder negativ in ihrer Wirkung beeinflusst werden können. Die Matrix kann somit eine gute Hilfe bei der jetzt notwendigen Konkretisierung des Maßnahmenprogramms sein. Bei der Anwendung auf spezifische Gewässer sollte bedacht werden, dass der Beitrag einzelner Maßnahmen zur Anpassung auch von den regionalen klimatischen Gegebenheiten, d. h. dem Ausmaß der Klimaänderungen und dem tatsächlichen Umfang der umzusetzenden Maßnahme abhängig ist. Zudem muss berücksichtigt werden, dass es sich aufgrund der oben beschriebenen Problematik bei der Bewertung der Klimasensitivität von Maßnahmen eher um Einschätzungen handelt, die einer detaillierteren Untersuchung bedürfen.

Innerhalb des Forschungsprojektes *dynaklim* wird ein Expertensystem (BiS Klima) aufgebaut, in dessen Rahmen auch die entwickelte Bewertungsmatrix umgesetzt wird. Zusätzlich sollen Auswertungen zur Klimasensitivität von Gewässern möglich sein. Hierbei wird es sich um ein GIS-gestütztes Auskunftssystem handeln. Durch die Bestimmung der Klimasensitivität von Gewässern können in der Folge Maßnahmen geplant werden, die gemäß der Bewertungsmatrix einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel leisten und deshalb für die Anpassung von Bedeutung sind. Der beschriebene Ansatz zur Bestimmung der Klimasensitivität von Gewässern über die Einzugsgebietsgrößen der Wasserkörper kann hierfür eine Grundlage darstellen. Künftig sollte dieser Ansatz weiterentwickelt werden, um genauere Analysen durchführen zu können. Darüber hinaus sollten auch andere Ansätze in Erwägung gezogen werden. Die Arbeit auf der quantitativen Ebene kann in Zukunft ein wichtiger Schritt zur spezifischen Anpassung von Gewässern sein und sollte, sobald die erforderlichen Daten mit ausreichender Sicherheit durch die Klimamodelle dargestellt werden können, ebenfalls Berücksichtigung finden. Die hierfür genannte Arbeit mit Wasserhaushaltsmodellen kann dafür eine Grundlage darstellen.

Die in dieser Arbeit entwickelte Methodik wird in der Folge über das Einzugsgebiet der Emscher hinaus auf die gesamte Projektregion übertragen.

Durch die beschriebene Einheitlichkeit der Maßnahmen (gemäß LAWA) und der Arbeit auf qualitativer Ebene können die Bewertungen in der Matrix auch über die Projektregion hinaus genutzt werden. Jedoch sollte auch hierbei bedacht werden, dass sich die Veränderungen der klimatischen Bedingungen regional unterschiedlich stark ausprägen können.

## 7. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Netzwerk- und Forschungsprojekts *dynaklim* (Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region) verfasst.

Klimaprognosen zeigen für Deutschland neben einer fortschreitenden Erwärmung auch mögliche Veränderungen im Niederschlagsregime. Dies betrifft den mittleren Zustand, die saisonale Verteilung und das Extremverhalten. Diese Entwicklungen werden die Eigenschaften und die Beschaffenheit von Gewässern direkt und indirekt beeinflussen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer müssen bei der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), dem zentralen Instrument zum Schutz und zur Verbesserung der Gewässerökosysteme in Europa, berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Maßnahmen nach WRRL im Hinblick auf den Klimawandel untersucht. Ziel war es, eine Bewertungsmatrix zu erstellen, anhand derer Aussagen über die Bedeutung einzelner Maßnahmen für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel möglich sind. Hierfür wurde eine Methodik entwickelt, auf deren Grundlage die Maßnahmen auf die folgenden Punkte hin bewertet wurden:

- Beitrag der Maßnahme nach WRRL zur Anpassung von Fließgewässern an die Auswirkungen des Klimawandels,
- Klimasensitivität der Maßnahme nach WRRL (Einfluss des Klimawandels auf die Wirksamkeit der Maßnahme).

Bei der Bewertung wurden alle Maßnahmen betrachtet, die auf Basis des standardisierten Maßnahmenkatalogs nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) an Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen umgesetzt werden.

Die entwickelte Matrix wurde anschließend auf das Maßnahmenprogramm des Emscher-Einzugsgebietes angewendet. Zusätzlich ist anhand eines Beispielgewässers innerhalb des Untersuchungsgebietes ein Ansatz zur Erfassung klimasensitiver Gewässer über die Größe der Einzugsgebiete von Wasserkörpern erprobt worden.

Die Bewertungsmatrix zeigt, dass ein Großteil der bewerteten Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung an direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer leisten kann und somit für die Anpassung von Bedeutung ist. Die Untersuchung der Klimasensitivität hat ergeben, dass sich die Maßnahmen in diesem Punkt stark unterscheiden. Teils wird ihre Wirkung durch die Klimaveränderungen (Temperaturzunahme, Niederschlagszunahme inkl. Starkniederschlägen und Niederschlagsabnahme) verstärkt, teils wird sie gemindert. In einigen Fällen ist der Einfluss der Klimaveränderungen auf die Wirkung der Maßnahmen nicht signifikant.

Die Anwendung der entwickelten Bewertungsmatrix auf das Untersuchungsgebiet zeigt, dass die insgesamt 17 geplanten Maßnahmen im Emschergebiet alle einen Beitrag zur Anpassung leisten können. So leisten 11 der insgesamt 17 Maßnahmen einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer, wie Abflussveränderungen, die Erhöhung der Wassertemperatur oder die Zunahme der diffusen Stoffeinträge. Die sechs restlichen Maßnahmen leisten einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an indirekte Auswirkungen des Klimawandels. Der Ansatz zur Bestimmung der Sensitivität von Gewässern gegenüber dem Klimawandel wurde exemplarisch anhand der Boye durchgeführt. Die Boye ist ein für das Emschergebiet charakteristisches Gewässer. Es zeigt sich, dass ihr Oberlauf infolge des kleineren Einzugsgebietes sensibler gegenüber dem Klimawandel ist und somit einen höheren Bedarf an Anpassung aufweist. Maßnahmen, die gemäß der Bewertungsmatrix einen Beitrag zur Anpassung leisten, sollten hier bevorzugt umgesetzt werden. Dieser Ansatz stellt eine erste grobe Annäherung zur Erfassung klimasensitiver Gewässer dar.

## 8. Danksagung

Für ihre engagierte und gute Betreuung während meiner gesamten Diplomarbeit danke ich Herrn Prof. Dr. Tillmann Buttschardt und Herrn Frank Müller von der ahu AG.

Herrn Müller danke ich zudem für die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zum Verfassen meiner Arbeit innerhalb von *dynaklim* sowie für die Herstellung vieler hilfreicher Kontakte innerhalb des Projektes.

In diesem Zusammenhang bedanke ich mich auch bei allen Mitarbeitern der ahu AG für die anregende Arbeitsatmosphäre während meines Aufenthaltes in Aachen.

Für die Unterstützung bei fachlichen Fragen und die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes danke ich Herrn Dr. Hannes Schimmer von der Bezirksregierung Münster. Bei der Ermöglichung geeigneter Arbeitsbedingungen bei der Bezirksregierung Münster danke ich zudem Herrn Thomas Spieker und Frau Gundel Jansen.

Für ihre Hilfsbereitschaft und den fachlichen Austausch im Rahmen meiner Arbeit danke ich Herrn Dr. Frehmann, Herrn Dr. Sommerhäuser, Herrn Dr. Korte und Frau Semrau von der Emschergenossenschaft.

Einen großen Dank an meine Eltern!

## 9. LITERATUR

Abwassertechnische Vereinigung (1999): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt - ATV-A 118. Stand: November 1999. Ges. zur Förderung der Abwassertechnik. St. Augustin.

Bezirksregierung Münster (Hrsg.) (o. J.): Emscher-Planungseinheiten und Wasserkörpergruppen. Online verfügbar unter [http://www.emscher.nrw.de/Gebietsbeschreibung/PE\\_WKG/index.jsp](http://www.emscher.nrw.de/Gebietsbeschreibung/PE_WKG/index.jsp) (abgerufen am 12.01.2011).

Bezirksregierung Münster (Hrsg.) (o. J.): Planungseinheiten im Teileinzugsgebiet Emscher. Online verfügbar unter [http://www.emscher.nrw.de/Gebietsbeschreibung/Abgrenzung/Emscher\\_Uebersicht.pdf](http://www.emscher.nrw.de/Gebietsbeschreibung/Abgrenzung/Emscher_Uebersicht.pdf) (abgerufen am 12.01.2011).

Blume, H.-P. (Hrsg.) (2004): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 3. Aufl. ecomed Verl. Landsberg am Lech.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2001): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Bonn, Berlin.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007): Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in Deutschland. Online verfügbar unter [http://www.bmu.de/gewaesserschutz/fb/gewaesserschutzpolitik\\_d\\_eu\\_int/doc/3063.php](http://www.bmu.de/gewaesserschutz/fb/gewaesserschutzpolitik_d_eu_int/doc/3063.php) (abgerufen am 22.02.2010).

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2009): Dem Klimawandel begegnen. Die Deutsche Anpassungsstrategie. Berlin.

Denneborg, M. (ahu AG) (05.02.2010): Anpassung im Rahmen des Projektes *dynaklim*. Aachen. Gespräch mit B. Kupilas.

DIN EN 1085 (2007): Abwasserbehandlung - Wörterbuch. Beuth Verl. Berlin.

DWD - Deutscher Wetterdienst (2011): Klimaszenarien - Einblicke in unser zukünftiges Klima. Online verfügbar unter [http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P27200165321293012986287&T176000265321293013118776gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel\\_\\_neu\\_\\_Klimaszenarien\\_\\_node.html%3F\\_\\_nnn%3Dtrue](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=P27200165321293012986287&T176000265321293013118776gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel__neu__Klimaszenarien__node.html%3F__nnn%3Dtrue) (abgerufen am 14.01.2011).

*dynaklim* (2008): Antrag an das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet) - *dynaklim*. unveröffentlicht. o.O.

*dynaklim* (2011): Fakten zum Klimawandel in der Emscher-Lippe-Region. o.O.

Emschergenossenschaft (Hrsg.) (2009): Flussgebietsplan Emscher. Essen.

Emschergenossenschaft & Staatliches Umweltamt Herten (Hrsg.) (2005): Fließgewässer im Emscherraum. Biologie - Beschaffenheit - Bachsysteme. Essen, Herten.

Europäische Gemeinschaft (2000): RICHTLINIE 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie), vom 22.12.2000. Fundstelle: ABl. L 327.

European Communities (2009): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 24 - River Basin Management in a changing Climate. Technical Report - 2009 - 040. o.O.

FiW - Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (Hrsg.) (2010a): *dynaklim* - Ziel und Aktivitäten. Online verfügbar unter <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/dynaklim/projekt/ziele.html> (abgerufen am 17.11.2010).

FiW - Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (Hrsg.) (2010b): *dynaklim* - Hintergrund. Online verfügbar unter <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/dynaklim/projekt/hintergrund.html> (abgerufen am 17.11.2010).

FiW - Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (Hrsg.) (2010c): *dynaklim* – Die Projektregion Emscher-Lippe. Online verfügbar unter <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/dynaklim/projekt/region.html> (abgerufen am 17.11.2010).

Flussgebietsgemeinschaft Elbe (Hrsg.) (2009): Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 Richtlinie 2000/60/EG bzw. § 36 WHG der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. Magdeburg.

Hoffmann, T. G., Mehl, D., Weiland, M. & Mühlner, C. (2010): HYDREG - ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß Europäischer Wasserrahmenrichtlinie Teil 2: Methodik und Ergebnisse. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, Jg. 3, H. 9, S. 474–484.

Höke, S. (ahu AG) (23.09.2010): Wirkung der Temperatur in Altlasten. Aachen. Gespräch mit B. Kupilas.

Hölting, B. & Coldewey, W. G. (2009): Hydrogeologie. Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. 7. Aufl. Spektrum Akad. Verl. Heidelberg.

Hornemann, C. (UBA) (01.02.2010): Dokument zur Einschätzung der Klimarelevanz von Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs nach PIK/UBA. Dessau-Roßlau. Telefonat mit B. Kupilas.

Imhoff, K. & Imhoff, K. R. (1999): Taschenbuch der Stadtentwässerung. 29. Aufl. Oldenbourg Verl. München.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press. Cambridge.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, New York.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007b): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007c): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2008): Climate Change and Water Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.

IT.NRW - Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2009): Kurzbeschreibung der Anwendung Wasserkörper-Steckbriefe – WKSb. Intranetangebot. Online verfügbar unter <http://lv.elwas.nrw.de/> (abgerufen am 14.12.2010).

IT.NRW - Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010a): ELWAS - Elektronisches Wasserinformationssystem. Online verfügbar unter [http://www.it.nrw.de/informationstechnik/Anwendungen\\_Entwicklungen/Anwendungen/ELWAS.html](http://www.it.nrw.de/informationstechnik/Anwendungen_Entwicklungen/Anwendungen/ELWAS.html) (abgerufen am 19.12.2010).

IT.NRW - Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010b): ELWAS-IMS. Intranetangebot. Online verfügbar unter <http://lv.elwas.nrw.de/> (abgerufen am 14.12.2010).

KLIWA - Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2010a): Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässerqualität. Online verfügbar unter <http://www.kliwa.de/index.php?pos=ergebnisse/projerg/gewaesseroekologie/> (abgerufen am 07.01.2011).

KLIWA - Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2010b): Fließgewässerbiologie und Klimawandel – Wirkungsbeziehungen. Online verfügbar unter <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de/indikatoren/wirkungsbeziehungen/> (abgerufen am 22.12.2010).

KLIWA - Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2010c): Fließgewässerbiologie und Klimawandel – Organismengruppen. Online verfügbar unter <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de/indikatoren/organismengruppen> (abgerufen am 22.12.2010).

KLIWA - Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2010d): Makrozoobenthos. Online verfügbar unter <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de/indikatoren/organismengruppen/makrozoobenthos/> (abgerufen am 22.12.2010).

LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2007): 1. Entwurf eines LAWA-Strategiepapiers "Klimawandel - Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft". gem. Beschluss Nr. 2 zu TOP 6.2 a zur 133. LAWA-VV in Trier. o.O.

Meinke, I., Gerstner, E. M., Storch, H. von, Marx, A. & Schipper, H. et al. (2010): Regionaler Klimaatlas Deutschland der Helmholtz-Gemeinschaft informiert im Internet über möglichen künftigen Klimawandel. In: DMG Mitteilungen, H. 2, S. 5–7.

Merkel, W., Frehmann, T. & Hasse, J. (2010): Dynamische Anpassung an den Klimawandel in der Emscher-Lippe-Region. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, Jg. 3, H. 10, S. 522–525.

MKULNV - Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2010a): ELWAS-GIS Handbuch. o.O.

MKULNV - Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2010b): ELWAS-IMS. Version 2.1.5. Online verfügbar unter <http://www.elwasims.nrw.de/ims/ELWAS-IMS/viewer.htm> (abgerufen am 14.12.2010).

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2003): Wasserwirtschaft Nordrhein-Westfalen. Handbuch zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern. Düsseldorf.

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2008a): Maßnahmenübersicht. Online verfügbar unter <http://wiki.flussgebiete.nrw.de/index.php/Ma%C3%9Fnahmen/%C3%9Cbbersicht> (abgerufen am 29.07.2010).

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2008b): Maßnahmen/Katalog. Maßnahmensteckbriefe. Online verfügbar unter <http://wiki.flussgebiete.nrw.de/index.php/Ma%C3%9Fnahmen/Katalog> (abgerufen am 29.07.2010).

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2008c): Der Emscherumbau als Generationenaufgabe. Die Bäche und das Grundwasser im Emschergebiet – Zustand, Ursachen von Belastungen und Maßnahmen. Düsseldorf.

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting & Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer et al. (2009): Internationaler Bewirtschaftungsplan. Bearbeitungsgebiet Deltarhein. o.O.

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2009a): Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2009b): Maßnahmenprogramm für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas 2010 - 2015. Düsseldorf.

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2009c): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas. Oberflächengewässer und Grundwasser Teileinzugsgebiet Rhein/ Emscher. Düsseldorf.

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2009d): WRRL in NRW: Hauptseite. Online verfügbar unter <http://wiki.flussgebiete.nrw.de/index.php/Hauptseite> (abgerufen am 03.11.2010).

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010a): Wasserkörpersteckbriefe. Interner Bereich von [wiki.flussgebiete.nrw.de](http://wiki.flussgebiete.nrw.de). Online verfügbar unter <http://wiki.flussgebiete.nrw.de/index.php/Wasserk%C3%B6rpersteckbriefe> (abgerufen am 06.05.2010).

MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010b): Blaue Richtlinie. Richtlinie für die Entwicklung naturnaher Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. Ausbau und Unterhaltung. Düsseldorf.

Papadakis GmbH (o. J.): Informationen zu regionalen Klimamodellen. Internes Papier. Hattingen.

PIK - Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2009): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen. Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren. Abschlussbericht. Potsdam.

Pottgiesser, T. & Sommerhäuser, M. (2008): Beschreibung und Bewertung der deutschen Fließgewässertypen - Steckbriefe und Anhang. Essen.

Quirnbach, M. (2010): Prognosen zum regionalen Klimawandel - Vorläufige Auswertungen. Vortrag zur Veranstaltung vom 01.06.2010. Essen. Veranstalter: *dynaklim*. Online verfügbar unter <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/service/klima/klimafolgen.html> (abgerufen am 19.10.2010).

Rahmstorf, S. (2010): Globale Temperatur 2010. Online verfügbar unter <http://www.wissenslogs.de/wblogs/blog/klimalounge/klimadaten/2010-12-19/globale-temperatur-2010> (abgerufen am 06.01.2011).

Rahmstorf, S. (2011): 2010 wärmstes und nassestes Jahr weltweit seit Beginn der Aufzeichnungen. Online verfügbar unter <http://www.wissenslogs.de/wblogs/blog/klimalounge/klimadaten/2011-01-13/2010-waermstes-und-nassestes-jahr-weltweit-seit-beginn-der-aufzeichnungen> (abgerufen am 28.01.2011).

Scheffer, F., Schachtschabel, P. & Blume, H.-P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Aufl. Spektrum Akad. Verl. Heidelberg.

Schulz, S. (FGG Elbe) (01.02.2010): Dokument zur Einschätzung der Klimarelevanz von Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs nach PIK/UBA. Magdeburg. Telefonat mit B. Kupilas.

Sommerhäuser, M. (Emschergenossenschaft) & Korte, T. (Emschergenossenschaft) (15.11.2010): Ziele des Arbeitspakets 3.3.4 in *dynaklim*. Essen. Gespräch mit F. Müller und B. Kupilas.

Stemplewski, J. & Sommerhäuser, M. (2010): Neue Artenvielfalt in Emschergewässern. Ein Beitrag zur Biodiversität der Ballungsräume. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, Jg. 3, H. 12, S. 649–655.

UBA - Umweltbundesamt (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulatio-

nen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138. Dessau-Roßlau.

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2008): Impacts of climate change on water resources - adaptation strategies for Europe. Dessau-Roßlau.

Wechsung, F. (PIK) (10.03.2010): Dokument zur Einschätzung der Klimarelevanz von Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs nach PIK/UBA. Potsdam. Telefonat mit B. Kupilas.

Wilby, R. L., Orr, H. G., Hedger, M., Forrow, D. & Blackmore, M. (2006): Risks posed by climate change to the delivery of Water Framework Directive objectives in the UK. In: Environmental International, Jg. 32, H. 8, S. 1043–1055.

WMO - World Meteorological Organisation (2010): WMO-Bericht zum Zustand des globalen Klimas 2009. Geneva.

## 10. Anlagen

### Anlage 1: Bewertungsmatrix

| Legende                                                                               |                                                                                     | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                |                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Klimasensitivität der Maßnahmen</b>                                                |                                                                                     |                                                                                    |                                                 |
| Temperaturzunahme                                                                     | Niederschlagszunahme<br>inkl. Sturmschläge                                          | Niederschlagsabnahme                                                               |                                                 |
|    | kein signifikanter Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme                        |   | kein signifikanter Beitrag zur Anpassung        |
|    | positiver Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme                                 |   | Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen |
|    | negativer Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme                                 |  | Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen   |
|  | Variabler Einfluss (nicht signifikant und positiv) auf die Wirksamkeit der Maßnahme | k.B.                                                                               | keine Bewertung                                 |
|  | variabler Einfluss (positiv und negativ) auf die Wirksamkeit der Maßnahme           |                                                                                    |                                                 |
| k.B.                                                                                  | keine Bewertung                                                                     |                                                                                    |                                                 |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| Belastungskombinationen        | Bezeichnung                                                                                                                   | ID | Code NRW  | Klimasensitivität der Maßnahmen *) | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung *) |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------|------------------------------------|----------------------------------------|
| Punktquellen                   | Fremdwasserbeseitigung zur Reduzierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge                                                   | 1  | PQ_OW_U07 |                                    |                                        |
|                                | Neubau und Anpassung von Kläranlagen                                                                                          | 2  | PQ_OW_U47 |                                    |                                        |
|                                | Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Stickstoffeinträge                                                          | 3  | PQ_OW_U04 |                                    |                                        |
|                                | Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Phosphoreinträge                                                            | 4  | PQ_OW_U03 |                                    |                                        |
|                                | Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung sonstiger Stoffeinträge                                                         | 5  | PQ_OW_U05 |                                    |                                        |
|                                | Optimierung der Betriebsweise von Kläranlagen                                                                                 | 6  | PQ_OW_U50 |                                    |                                        |
|                                | Interkommunale Zusammenschlüsse und Stilllegung vorhandener Kläranlagen                                                       | 7  | PQ_OW_U08 |                                    |                                        |
| Misch- und Niederschlagswasser | Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Niederschlagswasser in Trennsystemen          | 8  | PQ_OW_U46 |                                    |                                        |
|                                | Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Mischwasser                                   | 9  | PQ_OW_U45 |                                    |                                        |
|                                | Optimierung der Betriebsweise von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Niederschlagswasser in Trennsystemen | 10 | PQ_OW_U48 |                                    |                                        |
| Industrie/ Gewerbe             | Optimierung der Betriebsweise von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Mischwasser                          | 11 | PQ_OW_U49 |                                    |                                        |
|                                | Neubau und Anpassung von Kläranlagen                                                                                          | 12 | PQ_OW_U47 |                                    |                                        |
|                                | Optimierung der Betriebsweise von Kläranlagen                                                                                 | 13 | PQ_OW_U50 |                                    |                                        |
| Bergbau                        | Maßnahmen zur Reduzierung punktueller Stoffeinträge (ausgenommen Abwasser, Niederschlagswasser und Kühlwasser)                | 14 | PQ_OW_U37 |                                    |                                        |
|                                | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen durch Wärmeeinleitungen                                                             | 15 | PQ_OW_U24 |                                    |                                        |
| Sonstige Punktquellen          | Maßnahmen zur Reduzierung punktueller Stoffeinträge (ausgenommen Abwasser, Niederschlagswasser und Kühlwasser)                | 16 | PQ_OW_U37 |                                    |                                        |

\*) siehe Legende auf S. 61

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| Belastungskombinationen | Bezeichnung              | ID                                                                                                                               | Code NRW  | Klimasensitivität der Maßnahmen *) | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung *) |      |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|----------------------------------------|------|
| Diffuse Quellen         | Bergbau                  | 17                                                                                                                               | DQ_OW_U36 | k.B.                               |                                        |      |
|                         | Altlasten/ Altstandorte  | 18                                                                                                                               | DQ_OW_U36 |                                    |                                        |      |
|                         | bebaute Gebiete          | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                                   | 19        | DQ_OW_U36                          |                                        |      |
|                         |                          | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                                   | 20        | DQ_OW_U31                          |                                        |      |
|                         |                          | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                                   | 21        | DQ_OW_U01                          |                                        |      |
|                         | Landwirtschaft           | Anlage von Gewässerschutzstreifen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge                                                          | 22        | DQ_OW_U52                          |                                        |      |
|                         |                          | Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoff- und Feinmaterialeinträge durch Erosion und Abschwemmung aus der Landwirtschaft | 23        | DQ_OW_U23                          |                                        |      |
|                         |                          | Maßnahmen zur Reduzierung der auswaschungsbedingten Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft                                     | 24        | DQ_OW_U33                          |                                        |      |
|                         |                          | Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge durch Drainagen aus der Landwirtschaft                                           | 25        | DQ_OW_U32                          |                                        |      |
|                         |                          | Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft                                          | 26        | DQ_OW_U36                          |                                        |      |
|                         | Bodenversauerung         | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                                   | 27        | DQ_OW_U36                          |                                        | k.B. |
|                         | unfallbedingte Einträge  | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                                   | 28        | DQ_OW_U36                          | k.B.                                   |      |
|                         | sonstige diffuse Quellen | Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Belastungen                                                                                   |           |                                    | k.B.                                   |      |

\*) siehe Legende auf S. 61

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| Belastungskombinationen                                                   | Bezeichnung                                                                                                                 | ID        | Code NRW    | Klimasensitivität der Maßnahmen *) | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung *) |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| Hydromorphologie                                                          | Maßnahmen zur Gewährleistung des erforderlichen Mindestabflusses                                                            | 29        | HY_OW_U15   |                                    |                                        |
|                                                                           | Sonstige Maßnahmen zur Wiederherstellung des gewässertypischen Abflussverhaltens                                            | 30        | HY_OW_U53   |                                    |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zur Reduzierung von nutzungsbedingten Abflussspitzen                                                              | 31        | HY_OW_U38   |                                    |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zur Förderung des natürlichen Rückhalts (einschließlich Rückverlegung von Deichen und Dämmen)                     | 32        | HY_OW_U14   |                                    |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushalts an stehenden Gewässern                                                       | 33        | HY_OW_U41   | <b>k.B.</b>                        |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zum Initiieren/ Zulassen einer eigendynamischen Gewässerentwicklung inkl. begleitender Maßnahmen                  | 34        | HY_OW_U11   |                                    |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zur Habitatverbesserung im Gewässer durch Laufveränderung, Ufer- oder Sohlgestaltung inkl. begleitender Maßnahmen | 35        | HY_OW_U17   |                                    |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zur Vitalisierung des Gewässers (u.a. Sohle, Varianz, Substrat) innerhalb des vorhandenen Profils                 | 36        | HY_OW_U44   |                                    |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zur Verbesserung von Habitaten im Uferbereich (z.B. Gehölzentwicklung)                                            | 37        | HY_OW_U43   |                                    |                                        |
|                                                                           | Maßnahmen zur Verbesserung von Habitaten im Gewässerentwicklungskorridor einschließlich der Auenentwicklung                 | 38        | HY_OW_U42   |                                    |                                        |
|                                                                           | Anschluss von Seitengewässern, Altarmen (Quervernetzung)                                                                    | 39        | HY_OW_U02   |                                    |                                        |
|                                                                           | Beseitigung von/Verbesserungsmaßnahmen an wasserbaulichen Anlagen                                                           | 40        | HY_OW_U06   | <b>k.B.</b>                        |                                        |
| Maßnahmen zur Verbesserung des Geschiebehaushalts bzw. Sedimentmanagement | 41                                                                                                                          | HY_OW_U40 |             |                                    |                                        |
| Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge von Geschiebeentnahmen  | 42                                                                                                                          | HY_OW_U50 | <b>k.B.</b> |                                    |                                        |
| Maßnahmen zur Anpassung/ Optimierung der Gewässerunterhaltung             | 43                                                                                                                          | HY_OW_U12 | <b>k.B.</b> |                                    |                                        |
| Maßnahmen zur Verbesserung der Morphologie an stehenden Gewässern         | 44                                                                                                                          | HY_OW_U39 | <b>k.B.</b> | <b>k.B.</b>                        |                                        |

\*) siehe Legende auf S. 61

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| Belastungskombinationen           | Bezeichnung                                                                              | ID                                                                            | Code NRW  | Klimasensitivität der Maßnahmen *) | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung *) |  |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|----------------------------------------|--|
| Hydromorphologie                  | Durchgängigkeit                                                                          | 45                                                                            | HY_OW_U18 |                                    |                                        |  |
|                                   |                                                                                          | 46                                                                            | HY_OW_U19 |                                    |                                        |  |
|                                   | Sonstige hydromorphologische Veränderungen                                               | 47                                                                            | HY_OW_U21 | <b>k.B.</b>                        | <b>k.B.</b>                            |  |
|                                   |                                                                                          | 48                                                                            | HY_OW_U22 | <b>k.B.</b>                        | <b>k.B.</b>                            |  |
| Wasserentnahmen                   | Industrie/ Gewerbe                                                                       | 49                                                                            | WE_OW_U35 |                                    |                                        |  |
|                                   | Landwirtschaft                                                                           | 50                                                                            | WE_OW_U35 |                                    |                                        |  |
|                                   | Fischereiwirtschaft                                                                      | 51                                                                            | WE_OW_U35 |                                    |                                        |  |
|                                   | Wasserversorgung                                                                         | 52                                                                            | WE_OW_U35 |                                    |                                        |  |
|                                   | Sonstige Wasserentnahmen                                                                 | 53                                                                            | WE_OW_U35 |                                    |                                        |  |
|                                   | Fischereiwirtschaft                                                                      | Maßnahmen zum Initialbesatz bzw. zur Besatzstützung                           | 54        | SO_OW_U10                          |                                        |  |
|                                   |                                                                                          | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Fischerei in Fließgewässern | 55        | SO_OW_U25                          | <b>k.B.</b>                            |  |
| Sonstige                          | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Fischerei in stehenden Gewässern       | 56                                                                            | SO_OW_U26 | <b>k.B.</b>                        |                                        |  |
|                                   | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Fischereibewirtschaftung               | 57                                                                            | SO_OW_U27 | <b>k.B.</b>                        |                                        |  |
|                                   | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge von Freizeit- und Erholungsaktivitäten | 58                                                                            | SO_OW_U29 | <b>k.B.</b>                        |                                        |  |
|                                   | Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen infolge Landentwässerung                       | 59                                                                            | SO_OW_U28 | <b>k.B.</b>                        | <b>k.B.</b>                            |  |
|                                   | Eingeschleppte Spezies                                                                   | 60                                                                            | SO_OW_U13 |                                    |                                        |  |
| Sonstige anthropogene Belastungen | Maßnahmen zur Reduzierung anderer anthropogener Belastungen                              | 61                                                                            | SO_OW_U20 | <b>k.B.</b>                        | <b>k.B.</b>                            |  |

\*) siehe Legende auf S. 61

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

Anlage 2: Erläuterungsdokument zur Bewertungsmatrix

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <u>PQ_OW_U07</u> | Keine signifikante Sensitivität, da Sanierungen am Kanalnetz unabhängig vom Klimawandel sind. Die Wirkung der Maßnahme bleibt vom Klimawandel unbeeinträchtigt. Bei Fremdwasser handelt es sich um unerwünschten Abfluss in einem Entwässerungssystem (Abwassertechnische Vereinigung 1999).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Reduzierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge.</b> Gemäß MUNLV (2008b) werden N- und P-Reduzierungen (Fracht) erwartet. Die Reduzierung der Stoffeinträge ins Gewässer leistet einen Beitrag zur Anpassung an geringere Verdünnungsfähigkeiten. Diese resultieren aus der vermehrten Niedrigwasserführung im Gewässer (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergütereigenschaften verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008). |
| 2  | <u>PQ_OW_U47</u> | Die Wirkung besteht in der Reduzierung von Stoffeinträgen ins Gewässer (MUNLV 2008b). Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung ist positiv zu bewerten. Die positive Bewertung beruht auf dem verstärkten Abbau durch Organismen in Kläranlagen in Folge des Temperaturanstiegs. Gemäß MUNLV et al. (2009) nimmt die reinigende Wirkung eines Klärsumpfes unter höheren Temperaturen zu. Eine höhere Temperatur beschleunigt somit die Zersetzung (Imhoff & Imhoff 1999). Eine Niederschlagszunahme kann dazu führen, dass die gewählte Verdünnung oder kritische Regenspende einer Kläranlage überschritten wird (Imhoff & Imhoff 1999). So müsste Niederschlagswasser beispielsweise unmittelbar in Gewässer entlastet werden. Der Einfluss einer Niederschlagszunahme auf die Wirkung der Maßnahme ist somit negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme ist im Gegensatz dazu positiv zu bewerten, da höhere Substratkonzentrationen in der Kläranlage insbesondere biologische Reinigungsverfahren begünstigen (Imhoff & Imhoff 1999). | <b>Neubau und Anpassung von Kläranlagen</b> reduzieren die Stofffrachten (MUNLV 2008b). Die Reduzierung der Stofffrachten leistet einen Beitrag zur Anpassung an die geringeren Verdünnungsfähigkeiten. Diese resultieren aus der vermehrten Niedrigwasserführung im Gewässer (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergütereigenschaften verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008).                                               |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | <u>PQ_OW_U04</u> | siehe ID 2                      | <b>Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Stickstoffeinträge (MUNLV 2008b).</b> Die Reduzierung der Stoffeinträge ins Gewässer leistet einen Beitrag zur Anpassung an geringere Verdünnungsfähigkeiten. Diese resultieren aus der niedrigeren Niedrigwasserführung im Gewässer (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergüteverhältnisse verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008). |
| 4  | <u>PQ_OW_U03</u> | siehe ID 2                      | <b>Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Phosphoreinträge (MUNLV 2008b).</b> Die Reduzierung der Stoffeinträge ins Gewässer leistet einen Beitrag zur Anpassung an geringere Verdünnungsfähigkeiten. Diese resultieren aus der Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergüteverhältnisse verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008).                           |
| 5  | <u>PQ_OW_U05</u> | siehe ID 2                      | <b>Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung sonstiger Stoffeinträge (MUNLV 2008b).</b> Die Reduzierung der Stoffeinträge ins Gewässer leistet einen Beitrag zur Anpassung an geringere Verdünnungsfähigkeiten. Diese resultieren aus der Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergüteverhältnisse verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008).                        |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6  | <u>PQ_OW_U50</u> | siehe ID 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Durch die <b>Optimierung der Betriebsweise von Kläranlagen</b> wird eine Verbesserung der Ablaufwerte erzielt (MUNLV 2008b). Hierdurch werden geringere Stoffkonzentrationen erreicht. Es handelt sich also um einen Beitrag zur Anpassung an die geringere Verdünnungsfähigkeit der Gewässer. Diese resultieren aus der Niedrigwasserführung im Gewässer (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer.                                                                                     |
| 7  | <u>PQ_OW_U08</u> | Keine signifikante Sensitivität.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Interkommunale Zusammenschlüsse und Stilllegung vorhandener Kläranlagen</b> werden keinen signifikanten Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten. Die nach MUNLV (2008b) genannten Folgewirkungen für das ursprüngliche Gewässer (Veränderung der Wasserführung) und das zukünftig aufnehmende Gewässer (stofflich/hydraulisch) können ebenso negative Folgen nach sich ziehen. Somit ist die Maßnahme nicht als Beitrag zur Anpassung zu bewerten. Eine weitergehende Untersuchung wäre erforderlich.                                                                                |
| 8  | <u>PQ_OW_U46</u> | Die Wirkung der Maßnahme liegt u. a. im Rückhalt von Niederschlagswasser (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme infolge des Klimawandels kann zur Überlastung der Kapazitäten von Rückhaltebecken führen. Der Rückhalt der Wässer kann in diesen Fällen nicht gewährleistet werden. Somit wird die Wirkung der Maßnahmen negativ beeinflusst. Dies gilt insbesondere bei Spitzenbelastungen infolge zunehmender Starkniederschlagsereignisse. Temperaturzunahme und Niederschlagsabnahme haben keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme. | <b>Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Niederschlagswasser in Trennsystemen</b> (MUNLV 2008b). Die Maßnahme leistet einen Beitrag zur Anpassung an Veränderungen im Abfluss. Somit also an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Kapitel 2.1). Durch den Rückhalt von Niederschlagswasser verringert sie die Verwundbarkeit von Gewässern gegenüber Hochwasserabflüssen. Insbesondere Abflussspitzen infolge von Starkniederschlägen sind zu nennen. Die Behandlung der Wässer leistet zudem eine Minderung der stofflichen Belastung. |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9  | <u>PQ_OW_U45</u> | Die Wirkung der Maßnahme liegt u. a. im Rückhalt von Mischwasser (MUNLV 2008b). Mischwasser setzt sich gemäß DIN EN 1085 (2007) aus verschiedenen Wasserarten zusammen. Hierzu zählt auch Niederschlagswasser. Eine Niederschlagszunahme infolge des Klimawandels kann zur Überlastung der Kapazitäten von Rückhaltebecken führen. Der Rückhalt der Wasser kann in diesen Fällen nicht gewährleistet werden. Somit wird die Wirkung der Maßnahmen negativ beeinflusst. Dies gilt insbesondere bei Spitzenbelastungen infolge zunehmender Starkniederschlagsereignisse. Temperaturzunahme und Niederschlagsabnahme haben keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme. | <b>Neubau und Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Mischwasser</b> (MUNLV 2008b). Mischwasser setzt sich gemäß DIN EN 1085 (2007) aus verschiedenen Wasserarten zusammen. Dazu zählt auch Niederschlagswasser. Die Maßnahme leistet somit einen Beitrag zur Anpassung im Bereich des Abflusses. Es handelt sich also um einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Kapitel 2.1). Durch den Rückhalt von Mischwasser verringert sie die Verwundbarkeit von Gewässern gegenüber Hochwasserabflüssen. Insbesondere Abflussspitzen infolge von Starkniederschlägen sind zu nennen. Die Behandlung der Wasser leistet zudem eine Minderung der stofflichen Belastung.          |
| 10 | <u>PQ_OW_U48</u> | siehe ID 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Optimierung der Betriebsweise von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Niederschlagswasser in Trennsystemen</b> (MUNLV 2008b). Die Maßnahme leistet einen Beitrag zur Anpassung an Abflussveränderungen. Es handelt sich also um einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Kapitel 2.1). Durch den Rückhalt von Niederschlagswasser verringert sie die Verwundbarkeit von Gewässern gegenüber Hochwasserabflüssen. Insbesondere Abflussspitzen infolge von Starkniederschlägen sind zu nennen. Die Behandlung der Wasser leistet zudem eine Minderung der stofflichen Belastung.                                                                                                    |
| 11 | <u>PQ_OW_U49</u> | siehe ID 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Optimierung der Betriebsweise von Anlagen zur Ableitung, Behandlung und zum Rückhalt von Mischwasser</b> (MUNLV 2008b). Mischwasser setzt sich gemäß DIN EN 1085 (2007) aus verschiedenen Wasserarten zusammen. Dazu zählt auch Niederschlagswasser. Die Maßnahme leistet somit einen Beitrag zur Anpassung im Bereich des Abflusses. Es handelt sich also um einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Kapitel 2.1). Durch den Rückhalt von Mischwasser verringert sie die Verwundbarkeit von Gewässern gegenüber Hochwasserabflüssen. Insbesondere Abflussspitzen infolge von Starkniederschlägen sind zu nennen. Die Behandlung der Wasser leistet zudem eine Minderung der stofflichen Belastung. |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                  | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 | <u>PQ_OW_U47</u> | siehe ID 2                                                                                                                                                                                       | <b>Neubau und Anpassung von Kläranlagen</b> reduzieren die Stofffrachten (MUNLV 2008b). Die Reduzierung der Stofffrachten leistet einen Beitrag zur Anpassung an die geringere Verdünnungsfähigkeit des Gewässers. Diese resultiert aus der vermehrten Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergüteverhältnisse verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 13 | <u>PQ_OW_U50</u> | siehe ID 2                                                                                                                                                                                       | Durch die <b>Optimierung der Betriebsweise von Kläranlagen</b> wird eine Verbesserung der Ablaufwerte erzielt (MUNLV 2008b). Hierdurch werden geringere Stoffkonzentrationen erreicht. Es handelt sich also um einen Beitrag zur Anpassung an die geringere Verdünnungsfähigkeit der Gewässer. Diese resultieren aus der Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 14 | <u>PQ_OW_U37</u> | Keine signifikante Sensitivität, da es sich bei <b>Maßnahmen zur Reduzierung punktueller Stoffeinträge aus dem Bergbau</b> insbesondere um Minderungsmaßnahmen unter Tage handelt (MUNLV 2008b). | <b>Reduzierung bergbaubürdiger Stoffeinträge ins Gewässer</b> (MUNLV 2008b). Die Reduzierung der Stoffeinträge ins Gewässer leistet einen Beitrag zur Anpassung an geringere Verdünnungsfähigkeiten der Gewässer. Diese resultieren aus der vermehrten Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergüteverhältnisse verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008). Nach MUNLV (2008b) könnte zudem gegebenenfalls auch eine Reduzierung der Temperatur des eingeleiteten Wassers erfolgen. Sollte sich dies als zutreffend herausstellen, würde es sich um einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer handeln (Erhöhung der Wassertemperatur). Die Zunahme der Wassertemperatur in Folge des Klimawandels könnte ausgeglichen werden. |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15 | <u>PQ_OW_U24</u> | <p>Die Wirkung liegt in der Reduzierung der thermischen Belastung eines Gewässers durch <b>Wärmeeinleitungen</b> (MUNLV 2008b). Die thermische Belastung steigt jedoch durch die Temperaturzunahme infolge des Klimawandels. Die Wirkung der Maßnahme wird somit gemindert. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme führt zu einer geringeren Wasserführung im Gewässer (Kapitel 2.1). Infolge einer möglichen Durchlichtung bis auf den Gewässerboden hat sie den gleichen Einfluss wie die Temperaturzunahme. Eine Niederschlagszunahme kann die Wirkung im Gegenzug durch eine höhere Wasserführung positiv beeinflussen.</p> | <p><b>Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen durch Wärmeeinleitungen</b> (MUNLV 2008b). Die Maßnahme leistet einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an die Erhöhung der Wassertemperatur infolge des Klimawandels. Durch sie kann die Erhöhung der Wassertemperatur ausgeglichen werden. Es handelt sich also um eine Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer (Kapitel 2.1).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 16 | <u>PQ_OW_U37</u> | Keine signifikante Sensitivität.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p><b>Reduzierung sonstiger punktueller Stoffeinträge</b> (MUNLV 2008b). Die Reduzierung der Stoffeinträge ins Gewässer leistet einen Beitrag zur Anpassung an geringere Verdünnungsfähigkeiten der Gewässer. Diese resultieren aus der Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergüteverhältnisse verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008).</p>                                                                                                                                                        |
| 17 | <u>DQ_OW_U36</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>Reduzierung der diffusen Belastungen</b> (MUNLV 2008b). Veränderungen der diffusen Belastungen sind als direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer eingestuft (Kapitel 5.1.2). Dies begründet sich durch den direkten Zusammenhang zwischen einer Niederschlagszunahme (inkl. Starkniederschlägen) und der Erhöhung der Einträge. So sind Gewässer gemäß Blume (2004) unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder lange anhaltender Winterniederschläge gefährdet. Die Maßnahmen zur Reduzierung dieser Belastungen können damit die Verwundbarkeit der Gewässer gegenüber den zunehmenden Niederschlägen verringern und leisten deshalb einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen.</p> |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW  | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung |
|----|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 18 | DQ_OW_U36 | <p>Die Wirkung besteht in der <b>Reduzierung der diffusen Belastung durch Altlasten/Altstandorte</b> (MUNLV 2008b). Nach Blume (2004) sind Gewässer unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder langanhaltender Winterniederschläge gefährdet. Somit kann eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung der Maßnahme ist variabel zu bewerten. Die Bewertung kommt wie folgt zustande: Da der Eintrag ins Gewässer durch Auswaschung erfolgt und eine Temperaturzunahme die biochemische Bodenaktivität steigert (Blume 2004) und damit den Abbau von Nährstoffen in der Bodenzone fördert, ist der Einfluss der Temperaturzunahme bei der Auswaschung positiv zu bewerten. Jedoch kann durch eine Temperaturerhöhung die Freisetzung von Stoffen in der Altlast erhöht werden (Höke 2010). Der Einfluss der Temperaturzunahme wäre gleichsam negativ zu bewerten. Es entsteht also eine variable Bewertung beim Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme.</p> | siehe ID 17                         |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 19 | <u>DQ_OW_U36</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme besteht in der <b>Reduzierung diffuser Belastungen von bebauten Gebieten</b> (MUNLV 2008b). Nach Blume (2004) sind Gewässer un-mittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder lange anhaltender Winterniederschläge gefährdet. Somit kann eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung der Maßnahme ist variabel zu bewerten, da die Belastung der Gewässer auf zwei Wegen erfolgt: zum einen durch Auswaschung und zum anderen durch die Abführung in Kanalsystemen (MUNLV 2008b). Da die Temperaturzunahme die biochemische Bodenaktivität steigert (Blume 2004) und damit den Abbau von Nährstoffen in der Bodenzone fördert, ist der Einfluss der Temperaturzunahme bei der Auswaschung positiv zu bewerten. Bei der Abführung im Kanalsystem hat eine Temperaturzunahme keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme.</p> | <p><b>Reduzierung der diffusen Belastungen</b> (MUNLV 2008b). Veränderungen der diffusen Belastungen sind als direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer eingestuft (Kapitel 5.1.2). Dies begründet sich durch den direkten Zusammenhang zwischen einer Niederschlagszunahme (inkl. Starkniederschlägen) und der Erhöhung der Einträge ins Gewässer. So sind Gewässer gemäß Blume (2004) unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder lange anhaltender Winterniederschläge gefährdet. Die Maßnahmen zur Reduzierung dieser Belastungen können damit die Verwundbarkeit der Gewässer gegenüber den zunehmenden Niederschlägen verringern und leisten deshalb einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels. Unter MUNLV (2008b) wird die Maßnahme PQ OW U 46 als Vollzugsmaßnahme aufgeführt. Diese leistet ebenfalls einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen.</p> |
| 20 | <u>DQ_OW_U31</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme liegt in der Reduzierung der Frachten (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels kann die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung einer Maßnahme ist davon abhängig, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt. Bei der <b>Maßnahme zur Reduzierung der direkten Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft</b> (MUNLV 2008b) handelt es sich um oberflächliche Einträge. Die Temperaturzunahme hat somit keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>siehe ID 17</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 | <u>DQ_OW_U01</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme liegt in der Reduzierung der Frachten (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels kann die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Beispielsweise könnte die Breite der Gewässerstreifen vor dem Hintergrund einer Niederschlagszunahme nicht ausreichend sein. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung einer Maßnahme ist davon abhängig, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt. Die <b>Anlage von Gewässerschutzstreifen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge</b> (MUNLV 2008b) soll oberflächliche Einträge reduzieren. Die Temperaturzunahme hat somit keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme.</p> | <p><b>Reduzierung der diffusen Belastungen</b> (MUNLV 2008b). Veränderungen der diffusen Belastungen sind als direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer eingestuft (Kapitel 5.1.2). Dies begründet sich in dem direkten Zusammenhang zwischen einer Niederschlagszunahme (inkl. Starkniederschlägen) und der Erhöhung der Einträge. So sind Gewässer gemäß Blume (2004) unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder lange anhaltender Winterniederschläge gefährdet. Die Maßnahmen zur Reduzierung dieser Belastungen können damit die Verwundbarkeit der Gewässer gegenüber den zunehmenden Niederschlägen verringern und leisten deshalb einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen. Die Gewässerrandstreifen können zudem durch den Pflanzenbewuchs entlang der Ufer und die damit zusammenhängende Beschattung positiv auf die thermische Belastung wirken, den flächenhaften Bodenabtrag mindern, Rückzugsräume für Organismen darstellen, das Wasser länger in der Landschaft zurückhalten und damit das Abflussgeschehen vergleichmäßigen und Abflussspitzen bei Hochwasser dämpfen (MUNLV 2010b).</p> |
| 22 | <u>DQ_OW_U52</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme liegt in der Reduzierung der Frachten (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels kann die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung einer Maßnahme ist davon abhängig, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt. Die <b>sonstigen Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoff- und Feinmaterialeinträge durch Erosion und Abschwemmung aus der Landwirtschaft</b> (MUNLV 2008b) sollen oberflächliche Einträge reduzieren. Die Temperaturzunahme hat somit keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme.</p>                                                                  | <p><b>Reduzierung der diffusen Belastungen</b> (MUNLV 2008b). Veränderungen der diffusen Belastungen sind als direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer eingestuft (Kapitel 5.1.2). Dies begründet sich in dem direkten Zusammenhang zwischen einer Niederschlagszunahme (inkl. Starkniederschlägen) und der Erhöhung der Einträge. So sind Gewässer gemäß Blume (2004) unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder lange anhaltender Winterniederschläge gefährdet. Die Maßnahmen zur Reduzierung dieser Belastungen können damit die Verwundbarkeit der Gewässer gegenüber den zunehmenden Niederschlägen verringern und leisten deshalb einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen. Unter MUNLV (2008b) werden u. a. Gewässerrandstreifen als Vollzugsmaßnahmen genannt. Diese können auch hinsichtlich weiterer Aspekte einen Beitrag zur Anpassung leisten (vgl. ID 21).</p>                                                                                                                                                                                                                             |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung |
|----|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 23 | <u>DQ_OW_U23</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme liegt in der Reduzierung der Einträge ins Gewässer (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels kann die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen (höhere Auswaschung) und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung einer Maßnahme ist davon abhängig, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt. Die Temperaturzunahme steigert die biochemische Bodenaktivität (Blume 2004) und fördert damit den Abbau von Nährstoffen in der Bodenzone. Da es sich hierbei um <b>Maßnahmen zur Reduzierung der auswaschungsbedingten Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft</b> handelt (MUNLV 2008b), hat die Temperaturzunahme einen positiven Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme.</p> | <p>siehe ID 17</p>                  |
| 24 | <u>DQ_OW_U33</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme liegt in der Reduzierung der Einträge ins Gewässer (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels kann die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Einträge und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung einer Maßnahme ist davon abhängig, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt. Die Temperaturzunahme steigert die biochemische Bodenaktivität (Blume 2004) und fördert damit den Abbau von Nährstoffen in der Bodenzone. Die Temperaturzunahme begünstigt somit die <b>Reduzierung der Nährstoffeinträge durch Drainagen aus der Landwirtschaft</b> (MUNLV 2008b). Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist somit positiv zu bewerten.</p>               | <p>siehe ID 17</p>                  |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung |
|----|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 25 | <u>DQ_OW_U32</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme liegt in der Reduzierung der Einträge ins Gewässer (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels kann die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirkung einer Maßnahme ist davon abhängig, ob es sich um oberflächliche oder auswaschungsbedingte Einträge handelt. Bei den <b>Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft</b> (MUNLV 2008b) kann der Eintrag sowohl über oberflächliche Eintragspfade als auch durch Auswaschung erfolgen. Der Einfluss der Temperaturzunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist somit variabel zu bewerten (bei oberflächlichen Einträgen ist der Einfluss nicht signifikant, bei einer Auswaschung ist der Einfluss infolge der höheren biochemischen Bodenaktivität positiv).</p> | siehe ID 17                         |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                             |
|----|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 26 | <u>DQ_OW_U36</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme liegt in der <b>Reduzierung diffuser Belastungen in Folge einer Bodenversauerung</b>. Gemäß MUNLV (2008b) kann die Minderung durch Bodenkalkung erreicht werden. Zum einen fällt die Löslichkeit von Carbonaten mit zunehmender Temperatur (Scheffer et al. 2002). Somit würde die Entkalkung der Böden langsamer verlaufen, was einen positiven Einfluss zur Folge hätte; zum anderen gehen Carbonate in warmen Böden zumeist trotzdem stärker in Lösung als in kühlen Böden, da der CO<sub>2</sub>-Partialdruck der Bodenluft infolge höherer biologischer Aktivität höher ist (Scheffer et al. 2002). Somit liegen zwei gegenläufige Reaktionen vor. Vermutlich hat die Temperaturzunahme deshalb kaum Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme. Ihr Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme ist als nicht signifikant zu bewerten. Nach Blume (2004) sind Gewässer unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder lange anhaltender Winterniederschläge gefährdet. Somit kann eine Niederschlagszunahme (inklusive Starkniederschläge) im Rahmen des Klimawandels die diffusen Stoffeinträge in die Gewässer erhöhen und damit die Wirkung der Maßnahme mindern. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme hingegen führt zu einer Verringerung der Frachten und verstärkt somit die Wirksamkeit der Maßnahme. Der Einfluss ist positiv zu bewerten.</p> | siehe ID 17                                                     |
| 27 | <u>DQ_OW_U36</u> | Keine signifikante Sensitivität.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich. |
| 28 | <u>DQ_OW_U36</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | siehe ID 17                                                     |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 29 | <u>HY_OW_U15</u> | Die Maßnahme dient der <b>Gewährleistung des erforderlichen Mindestabflusses</b> (MUNLV 2008b). Eine Temperaturzunahme hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme. Die Niederschlagszunahme begünstigt die Wirkung der Maßnahme, durch den Eintrag von Wasser. Der Einfluss der Niederschlagszunahme ist positiv zu bewerten. Die Niederschlagsabnahme erschwert die Gewährleistung des Mindestabflusses. Sie ist negativ zu bewerten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Gewährleistung des erforderlichen Mindestabflusses</b> (MUNLV 2008b). Anpassung an direkte Veränderungen im Abflussgeschehen. In diesem Fall erfolgt eine Minimierung der Verwundbarkeit durch zunehmende Niedrigwasserereignisse bzw. das Trockenfallen von Gewässern/Gewässerabschnitten aufgrund der prognostizierten Veränderungen im Niederschlagsregime (Kapitel 2.1). |
| 30 | <u>HY_OW_U53</u> | Die Wirkung liegt in der <b>Wiederherstellung des gewässertypischen Abflussverhaltens</b> (MUNLV 2008b). Eine Temperaturzunahme hat hierauf keinen signifikanten Einfluss. Sowohl Niederschlagszunahme als auch -abnahme können die Wiederherstellung des als gewässertypisch eingestuften Abflussverhaltens erschweren. Ihr Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist negativ zu bewerten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Wiederherstellung des gewässertypischen Abflussverhaltens</b> (MUNLV 2008b) als Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf den Abfluss, wie Veränderungen im Hochwasserabfluss, Niedrigwasserabfluss und mittleren Abfluss (Tab. 2.1). Die Maßnahme trägt dazu bei, das Gewässer gegenüber den o.g. Auswirkungen robuster zu machen.                 |
| 31 | <u>HY_OW_U38</u> | Die Wirkung besteht in der <b>Reduzierung von Abflussspitzen</b> im Gewässer (MUNLV 2008b). Durch die Profilanpassung (Aufweitung) soll der hydraulische Stress mit einhergehender Katastrophendrift vermindert werden (MUNLV 2008b). Eine Temperaturzunahme hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme. Eine Niederschlagszunahme (hierbei insbesondere die Zunahme von Starkniederschlägen) wirkt der Reduzierung von Abflussspitzen negativ entgegen. Hierdurch kommt es zu vermehrten und höheren Abflussspitzen und die durchgeführten Maßnahmen am Gewässer können nicht ausreichend sein. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist negativ zu bewerten. Eine Niederschlagsabnahme begünstigt im Gegenzug die Reduzierung der Abflussspitzen. Ihr Einfluss ist positiv zu bewerten. | Die <b>Reduzierung von Abflussspitzen</b> (MUNLV 2008b) leistet einen Beitrag zur Anpassung an vermehrte Hochwasserereignisse und an die Abflussspitzen infolge der zunehmenden Niederschläge im Winter bzw. der Starkniederschläge (Kapitel 2.1).                                                                                                                              |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 32 | <u>HY_OW_U14</u> | <p>Die Wirkung besteht im Hochwasserschutz durch die <b>Förderung des natürlichen Rückhalts</b> (MUNLV 2008b). Sowohl Temperaturzunahme, als auch Niederschlagsabnahme haben keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme. Eine Niederschlagszunahme infolge des Klimawandels kann jedoch die Kapazitäten der geplanten Retentionsflächen übersteigen und somit die Wirksamkeit der Maßnahme negativ beeinflussen. Der Einfluss der Niederschlagszunahme ist negativ zu bewerten.</p> | <p>Die <b>Förderung des natürlichen Rückhalts</b> (MUNLV 2008b) leistet einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an die Veränderungen im Abfluss, hierbei insbesondere an die Zunahme der Hochwasserereignisse (Kapitel 2.1). Die Maßnahme stellt somit eine Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels dar. Zudem wird durch die Vergrößerung der Retentionsflächen erreicht, dass keine Flächen überflutet werden, von denen Nähr- und/oder Schadstoffe ausgewaschen werden können. Dies kann durch entsprechende Verordnungen für diese Flächen erreicht werden (MUNLV 2008b). Die Maßnahme trägt zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts bei und kann damit nach PIK (2009) durch den Rückhalt von Wasser im Winter eventuelle Wassermangelsituationen im Sommer vermeiden. Die Maßnahme kann somit auch einen Beitrag zur Anpassung an die vermehrten Niedrigwasserereignisse darstellen.</p> |
| 33 | <u>HY_OW_U41</u> | <p>Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Da es sich um <b>Verbesserung des Wasserhaushalts an stehenden Gewässern</b> handelt (MUNLV 2008b), erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 34 | <u>HY_OW_U11</u> | <p>Diese Bewertung gilt für die IDs 34 bis 36, da sie auch gemäß MUNLV (2008b) zusammengefasst sind. Die Temperaturzunahme hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahmen. Niederschlagszunahme und -abnahme können bei den <b>Maßnahmen zum Initiieren/Zulassen einer eigendynamischen Gewässerentwicklung</b> (ID 34) und ihren Vollzugsmaßnahmen (IDs 35 und 36) sowohl einen positiven als auch negativen Einfluss auf die Wirkung der Maßnahmen haben. Der positive Einfluss entsteht dadurch, dass mit den Veränderungen in den Niederschlägen ein Wechsel der Strömungsverhältnisse einhergeht. Das kann förderlich für die strukturelle Entwicklung eines Gewässers sein (z.B. Laufveränderungen oder Ausbildung eines asymmetrischen Querprofils) (MUNLV 2010b). Auch erosive Prozesse infolge einer Niederschlagszunahme sind vorteilhaft für die morphologische Verbesserung des Gewässers (MUNLV 2010b). Gleichwohl können Niederschlagszunahme, gekoppelt mit Starkniederschlägen, und Niederschlagsabnahme jedoch die Wirksamkeit der Maßnahmen mindern. So wirken insbesondere Starkniederschläge und verstärkte Abflüsse zerstörerisch auf Initialmaßnahmen. Abnehmende Niederschläge und geringere Abflüsse schwächen die Eigendynamik des Gewässers. Der Einfluss von Niederschlagszunahme und -abnahme ist dementsprechend als variabel zu bewerten.</p> | <p>Die Maßnahmen mit den ID-Nummern 34 bis 36 können zusammengefasst werden, da die IDs 35 und 36 nach MUNLV (2008b) als Vollzugsmaßnahmen für die eigendynamische Gewässerentwicklung (ID 34) aufgeführt sind. Die Maßnahmen leisten einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer, da die eigendynamische Gewässerentwicklung (ID 34) u. a. durch die Aufhebung von Sohl- und Uferverbau zum gewässertypischen Abflussverhalten beitragen kann. Dadurch ist die Ausbildung eines natürlichen Gewässerverlaufs mit Maßnahmen innerhalb des Entwicklungskorridors möglich. Zudem kann gemäß Hoffmann et al. (2010) die Konnektivität eines Fließgewässers mit dem Grundwasser durch unterschiedliche anthropogene Prozesse wie zum Beispiel eine teilweise oder vollständige Versiegelung der Sohle oder des Ufers beeinträchtigt sein. Somit kann die Entfernung des Ufer- und Sohlverbau im Hinblick auf Zeiten mit geringeren Niederschlägen wichtig für die Gewährleistung einer Mindestwasserführung sein. Das Zulassen einer eigendynamischen Gewässerentwicklung kann zudem Anpassungen in weiteren Bereichen darstellen. Dies sind neben dem Abfluss auch Anpassungen in den Bereichen Aue und Besiedlung. So dienen die Maßnahmen ID 35 und 36 in erster Linie der Verbesserung, Wiederherstellung und Entwicklung von Habitaten mit entsprechender Besiedlung (MUNLV 2008b).</p> |
| 35 | <u>HY_OW_U17</u> | siehe ID 34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | siehe ID 34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 36 | <u>HY_OW_U44</u> | siehe ID 34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | siehe ID 34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 37 | <u>HY_OW_U43</u> | <p>Die Wirkung der Maßnahme besteht u. a. in der Verbesserung der Gewässerstruktur durch Gehölzentwicklung entlang der Gewässer und in der Verbesserung der Temperaturbedingungen durch Beschattung (MUNLV 2008b). Hinsichtlich der Verbesserung der Temperatur im Gewässer kann die Temperaturzunahme infolge des Klimawandels die Wirksamkeit der Maßnahme mindern. Ihr Einfluss ist somit negativ zu bewerten. Gleiches gilt für eine Niederschlagsabnahme. Durch die geringere Wasserführung herrschen höhere Temperaturen im Gewässer (Belichtung bis zur Gewässersohle). Die Niederschlagszunahme zeigt im Gegenzug zunächst einen positiven Einfluss hinsichtlich der thermischen Belastung, da mehr Wasser zur Verfügung steht (vgl. ID 15). Die Niederschlagszunahme kann jedoch auch negativ wirken, da hierdurch Initialmaßnahmen zerstört werden. Der Einfluss der Niederschlagszunahme ist somit variabel zu bewerten.</p> | <p>Durch die Gehölzentwicklung entlang der Gewässer erfolgt eine Beschattung und somit eine Verbesserung der Temperaturbedingungen im Gewässer (MUNLV 2008b). Die Maßnahme leistet also einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels (thermische Belastung). Die Gehölze können zudem positiv auf den Abfluss wirken. Gemäß MUNLV (2010b) halten sie das Wasser länger in der Landschaft zurück, vergleichmäßigen den Abfluss und dämpfen bei Hochwasser die Abflussspitzen (vgl. ID 21). Zudem tragen sie zur Stabilisierung der Flussbänke bei (MUNLV 2010b). Durch die <b>Verbesserung von Habitaten im Uferbereich anhand von Gehölzentwicklungen</b> (MUNLV 2008b) entstehen auch Rückzugsräume für Organismen. Dies ermöglicht eine schnellere Wiederbesiedlung nach Extremereignissen (LAWA 2007).</p>                              |
| 38 | <u>HY_OW_U42</u> | <p>Die Maßnahme dient u. a. der Auenentwicklung (MUNLV 2008b). Gemäß MUNLV (2010b) ist der stete Wechsel zwischen Überflutung und Trockenfallen für die Auenentwicklung wichtig. Somit begünstigen sowohl Niederschlagszunahme als auch -abnahme die Auenentwicklung. Der Einfluss beider Parameter auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist dementsprechend positiv zu bewerten. Der Einfluss der Temperaturzunahme ist nicht signifikant.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p><b>Maßnahmen zur Verbesserung von Habitaten im Gewässerentwicklungskorridor einschließlich der Auenentwicklung</b> (MUNLV 2008b). Die Reaktivierung der Aue wird als Vollzugsmaßnahme genannt (MUNLV 2008b). Insbesondere dies erhöht den landschaftlichen Rückhalt für Wasser und dient somit als Schutz vor Hochwasserereignissen. Sie leistet somit einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Durch den Rückhalt von Wasser im Winter kann Wassermangelsituationen im Sommer entgegengewirkt werden (PIK 2009). Somit wird das Gewässer auch im Hinblick auf Niedrigwasserereignisse robuster. Zudem führt die Schaffung von Habitaten zu einem erhöhten Wiederbesiedlungspotenzial nach Extremereignissen (LAWA 2007) und das Freihalten der Aue verringert die Gefahr von Nähr- und/oder Schadstoffeinträgen.</p> |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 39 | <u>HY_OW_U02</u> | <p><b>Anschluss von Seitengewässern und Altarmen</b> (MUNLV 2008b). Eine Temperaturzunahme hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme. Die Niederschlagszunahme in Folge des Klimawandels führt zu einer erhöhten Wasserführung (Kapitel 2.1) und kann dadurch die Quervernetzung mit Seitengewässern erleichtern. Der Anschluss der Seitengewässer und Altarme sowie die damit verbundene Erschließung möglicher Laichhabitats (MUNLV 2008b) wird durch die Niederschlagszunahme begünstigt. Der Einfluss der Niederschlagszunahme ist somit positiv zu bewerten. Die Niederschlagsabnahme mindert die Wirkung der Maßnahme. Der Anschluss von Seitengewässern und die Erschließung von Laichhabitats wird infolge der geringeren Wasserführung erschwert. Der Einfluss der Niederschlagsabnahme auf die Wirkung der Maßnahme ist negativ zu bewerten.</p> | <p><b>Anschluss von Seitengewässern und Altarmen</b> (MUNLV 2008b). Die Anbindung der Seitengewässer an das Hauptgewässer soll nach MUNLV (2008b) ein temporäres Trockenfallen verhindern. Die Maßnahme stellt somit eine Anpassung an vermehrte Niedrigwasserereignisse und an das potenzielle Trockenfallen von Gewässern dar (Kapitel 2.1). Die Reaktivierung von Altarmen kann darüber hinaus Hochwasserspitzen abschwächen (PIK 2009). Die Maßnahme leistet somit einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Zudem können Seitengewässer und Altarme Rückzugsräume für Organismen darstellen. Dies erhöht das Wiederbesiedlungspotenzial nach Extremereignissen (LAWA 2007). Im Maßnahmensteckbrief (MUNLV 2008b) wird passend dazu von einer Strahlwirkung für die Neubesiedlung gesprochen. Zudem führt der Anschluss von Seitengewässern und Altarmen nach MUNLV (2008b) zur Vermeidung von Einleitungen, was vor dem Hintergrund geringerer Verdünnungsfähigkeiten der Gewässer eine Anpassung darstellt. Die geringere Verdünnungsfähigkeit resultiert aus der Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ebenfalls ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergüteverhältnisse verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008).</p> |
| 40 | <u>HY_OW_U06</u> | <p>Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Bewertung als Anpassung an direkte Auswirkungen, weil die Beseitigung der wasserbaulichen Anlagen einen Einfluss auf den Abfluss hat. Die lineare Durchgängigkeit wird nach MUNLV (2008b) erwähnt, ist jedoch explizit in ID 45 und 46 aufgeführt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 41 | <u>HY_OW_U40</u> | Die Wirkung besteht in der <b>Verbesserung des Geschiebehaushalts</b> (MUNLV 2008b). Temperaturzunahme und Niederschlagsabnahme haben keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme. Eine Niederschlagszunahme hingegen begünstigt die Wirkung der Maßnahme, da nach MUNLV (2008b) insbesondere Hochwässer zur Umlagerung, Transport, Sortierung und Reinigung der Sedimente führen. Der Einfluss der Niederschlagszunahme auf die Wirksamkeit der Maßnahme ist somit positiv zu bewerten. | Veränderungen im Geschiebe sind potenzielle Auswirkung des Klimawandels auf Gewässer (Tab. 2.1). Sie resultieren aus den Veränderungen im Abfluss und stellen eine indirekte Auswirkung des Klimawandels auf Gewässer dar. Durch <b>Maßnahmen zur Verbesserung des Geschiebehaushalts bzw. Sedimentmanagement</b> (MUNLV 2008b) kann die Verwundbarkeit der Gewässer verringert werden. Die Maßnahme leistet in der Folge einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 42 | <u>HY_OW_U30</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Durch Geschiebeentnahmen können stoffliche Belastungen des Gewässers entstehen (MUNLV 2008b). Somit kann durch die <b>Reduzierung der Belastungen infolge von Geschiebeentnahmen</b> (MUNLV 2008b) eine Anpassung an stoffliche Belastungen stattfinden. Dies ist vor dem Hintergrund geringerer Verdünnungsfähigkeiten von Gewässern bedeutsam. Die geringere Verdünnungsfähigkeit resultiert aus der Niedrigwasserführung (IPCC 2008, UBA 2008, European Communities 2009). Somit erfolgt ein Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. Bei gleichbleibender Belastung würde die Stoffkonzentration im Gewässer steigen, wodurch sich die Gewässergütereigenschaften verschlechtern würden (LAWA 2007, IPCC 2008).                                                                                  |
| 43 | <u>HY_OW_U12</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Maßnahmen zur Anpassung/Optimierung der Gewässerunterhaltung</b> (MUNLV 2008b) können durch eine extensive Gewässerunterhaltung und die Entwicklung von Ufervegetation (MUNLV 2008b) einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten. Durch Anpassungen/Verbesserungen im Gewässerrumfeld entsprechend den Vorgaben nach MUNLV (2010b) werden Gewässer robuster gegenüber dem Klimawandel. Beispielsweise sind durch die extensive Nutzung Überflutungen möglich. Dies stellt eine Anpassung an zunehmende Hochwasserabflüsse dar (Kapitel 2.1). Die Ufervegetation sorgt für eine Beschattung der Gewässer und stellt eine Anpassung an die thermische Belastung infolge des Klimawandels dar (Kapitel 2.1). Die Maßnahme kann somit einen Beitrag zur Anpassung an direkte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer leisten. |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 44 | <u>HY_OW_U39</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 45 | <u>HY_OW_U18</u> | Temperaturzunahme und Niederschlagszunahme haben keinen signifikanten Einfluss auf die <b>Herstellung der linearen Durchgängigkeit</b> (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagsabnahme kann die Wirkung jedoch mindern, da eine geringere Wasserführung beispielsweise Fischaufstiege unpassierbar machen kann. Der Einfluss der Niederschlagsabnahme auf die Herstellung der linearen Durchgängigkeit ist somit negativ zu bewerten. | Die <b>Herstellung der linearen Durchgängigkeit</b> , ermöglicht nach MUNLV (2008b) eine Verbesserung der Durchgängigkeit für die Biozönose, den Sedimenttransport und den Stoffhaushalt. Sie werden durch die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer beeinflusst. Die Herstellung der Durchgängigkeit leistet somit einen Beitrag zur Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. An der Biozönose lässt sich dies exemplarisch als verbessertes Wiederbesiedlungspotenzial nach Extremereignissen (Hochwasser/Niedrigwasser/ Trockenfallen) beschreiben. Infolge der Herstellung der Durchgängigkeit verschwinden Wanderungsbarrieren. |
| 46 | <u>HY_OW_U19</u> | Temperaturzunahme und Niederschlagszunahme haben keinen signifikanten Einfluss auf die <b>Herstellung der linearen Durchgängigkeit</b> (MUNLV 2008b). Eine Niederschlagsabnahme kann die Wirkung jedoch mindern, da eine geringere Wasserführung beispielsweise Fischaufstiege unpassierbar machen kann. Der Einfluss der Niederschlagsabnahme auf die Herstellung der linearen Durchgängigkeit ist somit negativ zu bewerten. | siehe ID 45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 47 | <u>HY_OW_U21</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 48 | <u>HY_OW_U22</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 49 | <u>WE OW U35</u> | Die Wirkung der Maßnahme besteht in der Gewährleistung einer gewissen Abflussmenge im Gewässer. Dies soll durch die <b>Reduzierung der Wasserentnahmen</b> erreicht werden. Eine Niederschlagszunahme begünstigt die Wirkung, weil dem Gewässer dadurch mehr Wasser zur Verfügung steht. Der Einfluss der Niederschlagszunahme ist somit positiv zu bewerten. Die Niederschlagszunahme hat im Gegenzug einen negativen Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme. Sie reduziert die Abflussmenge im Gewässer und verschlechtert damit die Verhältnisse. Ihr Einfluss ist negativ zu bewerten. Eine Temperaturzunahme hat keinen signifikanten Einfluss. | Bei den <b>Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen durch Wasserentnahmen</b> (MUNLV 2008b) ist die Bewertung einheitlich. Sie leisten einen Beitrag zur Anpassung der Gewässer an Niedrigwasserabflüsse (Tab. 2.1). Die Reduzierung der Wasserentnahmen aus den Flüssen kann insbesondere während Niedrigwasserereignissen zu einer Aufhöhung des Niedrigwassers führen. Bei den Niedrigwasserabflüssen handelt es sich - wie bei allen Abflussveränderungen - um eine direkte Auswirkung des Klimawandels auf Gewässer (Kapitel 2.1). Die Maßnahmen sind dementsprechend als Beitrag zur Anpassung der Gewässer an direkte Auswirkungen des Klimawandels zu bewerten. |
| 50 | <u>WE OW U35</u> | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 51 | <u>WE OW U35</u> | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 52 | <u>WE OW U35</u> | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 53 | <u>WE OW U35</u> | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | siehe ID 49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 54 | <u>SO OW U10</u> | Die Erwärmung und Austrocknung der Gewässer wirkt sich auf Gewässerorganismen aus. Somit ist der Einfluss von Temperaturzunahme und Niederschlagsabnahme negativ zu bewerten. Die Niederschlagszunahme hat keinen signifikanten Einfluss.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Kein signifikanter Beitrag zur Anpassung der Gewässer an den Klimawandel. Auch durch eine Besatzstützung (MUNLV 2008b) wird lediglich versucht, einen statischen Zustand aufrechtzuerhalten. Zudem können durch die Maßnahme andere Organismen zusätzlich gefährdet werden (Verdrängung).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

| ID | Code NRW         | Klimasensitivität der Maßnahmen                                 | Beitrag der Maßnahmen zur Anpassung       |
|----|------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 55 | <u>SO_OW_U25</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich. | Kein signifikanter Beitrag zur Anpassung. |
| 56 | <u>SO_OW_U26</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich. | Kein signifikanter Beitrag zur Anpassung. |
| 57 | <u>SO_OW_U27</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich. | Kein signifikanter Beitrag zur Anpassung. |

Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel

|    |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 58 | <u>SO OW U29</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kein signifikanter Beitrag zur Anpassung.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 59 | <u>SO OW U28</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 60 | <u>SO OW U13</u> | Da eine Einwanderung von Neozoen hauptsächlich infolge steigender Wassertemperaturen erfolgt (KLIWA 2010c), wird die Wirkung von Maßnahmen in diesem Bereich durch zunehmende Temperaturen gemindert. Der Einfluss einer Temperaturzunahme ist somit negativ zu bewerten. Gleiches gilt für die Niederschlagszunahme. Die Niederschlagszunahme infolge des Klimawandels hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung der Maßnahme. | Die <b>Maßnahme zur Eindämmung eingeschleppter Spezies</b> (MUNLV 2008b) kann auch die Einwanderung von Neozoen verringern. Neozoen sind als Resultat der direkten Auswirkungen (Erhöhung der Wassertemperatur) eingestuft. Somit handelt es sich um eine Anpassung an indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer. |
| 61 | <u>SO OW U20</u> | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Zu unspezifische Angaben zur Maßnahme. Keine Bewertung möglich.                                                                                                                                                                                                                                                              |

PDF DIN A3

**Anlage 3: Wasserkörper-Einzugsgebietsgrößen an der Boye (Maßstab 1 : 100.000)**

PDF DIN A3

**Anlage 3a: Wasserkörper-Einzugsgebietsgrößen an der Boye (Maßstab 1 : 50.000)**

PDF DIN A3

**Anlage 4: Einzugsgebiet der Emscher (Maßstab 1 : 220.000)**

## **Abschließende Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit

„Bedeutung der Maßnahmen nach EG-Wasserrahmenrichtlinie für die Anpassung von Fließgewässern an den Klimawandel“

selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe. Die Stellen meiner Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht.

Münster, den 11.02.2011

Benjamin Kupilas



**Ansprechpartner**

Jens Hasse  
hasse@fiw.rwth-aachen.de

Birgit Wienert  
wienert@fiw.rwth-aachen.de

**Projektbüro *dynaklim***

Kronprinzenstraße 9  
45128 Essen

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

***www.dynaklim.de***