



Ministerium für Ländliche  
Entwicklung, Umwelt und  
Landwirtschaft



# **Reduzierung der Nährstoffbelastungen von Dahme, Spree und Havel in Berlin sowie der Unteren Havel in Brandenburg**

Gemeinsames Handlungskonzept der  
Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer  
Berlin und Brandenburg

Teil 3: Maßnahmen und Strategien zur Reduzierung der Nährstoffbelastungen

Berlin/Potsdam, 28.04.2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Zielstellung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ergänzungen und Aktualisierungen zum gemeinsamen Nährstoffreduzierungskonzept Teil 1 und 2 .....</b>	<b>4</b>
2.1	Fortschreibung der länderübergreifenden Bewirtschaftungsziele.....	4
2.2	Quantifizierung der pfadspezifischen Eintragsquellen für das Einzugsgebiet der Spree (Brandenburg) und Auswirkungen auf die Gesamtbilanz des Hauptpegels Havel/Ketzin .....	5
2.3	Trendbetrachtung zur Entwicklung der Gesamtposphorkonzentration in der Unteren Havel (Hauptmessstelle Havel Ketzin) .....	7
<b>3</b>	<b>Maßnahmen, Strategien und Programme im zweiten Bewirtschaftungszeitraum.....</b>	<b>10</b>
3.1	Verringerung der diffusen Einträge.....	10
3.2	Verringerung der Einträge aus Punktquellen .....	13
3.2.1	Großklärwerke .....	13
3.2.2	Kleine bis mittelgroße Kläranlagen in Brandenburg.....	18
3.3	Verringerungen der Einträge aus urbanen Entwässerungssystemen .....	20
3.3.1	Trennsystem.....	20
3.3.2	Mischsystem.....	25
3.4	Förderung des Nährstoffrückhalts im Gewässersystem.....	29
3.5	Bilanzierung der Wirkung von Maßnahmen (Wirkungsabschätzung) – Regionales Nährstoffmodell Brandenburg .....	31
<b>4</b>	<b>Weitere Rahmenbedingungen für die Wirkungen und Fortschreibung der Nährstoffminderungsstrategie im Spree-Havel-Raum.....</b>	<b>34</b>
4.1	Novellierung der Düngeverordnung.....	34
4.2	Auswirkungen der Klimaänderungen auf Nährstoffeinträge.....	35
4.3	Demografischer Wandel / Bevölkerungsprognose.....	36
<b>5</b>	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>42</b>

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Mit dem gemeinsamen Handlungskonzept der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer Berlin und Brandenburg zur **Reduzierung der Nährstoffbelastungen von Dahme, Spree und Havel in Berlin sowie der Unteren Havel in Brandenburg** (Nährstoffreduzierungskonzept) werden die rechtlichen und fachlichen Grundlagen sowie die Maßnahmen bzw. Maßnahmenstrategien beschrieben, um die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Hinblick auf die Nährstoffe zur perspektivischen Sicherung eines guten ökologischen Zustandes zu erreichen. Die Erarbeitung erfolgt stufenweise. Teil 1 beinhaltet die Ableitung der länderübergreifenden Bewirtschaftungsziele (2011), Teil 2 die Quantifizierung der pfadspezifischen Eintragsquellen (2012). Teil 3 schließt das Konzept mit der Darlegung

A der Maßnahmen- und Umsetzungsstrategien,

B der durch die Länder bereits geplanten konkreten Maßnahmen und

C der Beschreibung der künftigen Rahmenbedingungen und Herausforderungen

ab. In Phase 4 folgt dann die Umsetzung der Maßnahmenstrategien aus Phase 1-3 durch die Bundesländer Berlin und Brandenburg.

Die Verzögerung in der Erarbeitung des Teil 3 des Konzeptes liegt in der Tatsache begründet, dass die Maßnahmenplanung der Länder für die Entwurfsfassung des aktualisierten Bewirtschaftungsplans 2015-2021 gemäß WRRL erst abgeschlossen werden musste, um diese im Konzept verbindlicher und konkreter aufgreifen zu können. Das Nährstoffreduzierungskonzept und insbesondere Teil 3 sollen den anstehenden Anhörungs- bzw. Abstimmungsprozess mit den Maßnahmenträgern sowie die sich anschließenden Planungskonkretisierungen begründen und unterstützen. Zudem dient das Konzept der Information der interessierten Öffentlichkeit und der Interessensverbände.

Je nach Maßnahmentyp und Planungsstand können einzelne Maßnahmen bereits jetzt schon relativ gut, andere eher nur allgemein im Sinne einer Maßnahmen- und Umsetzungsstrategie beschrieben werden. Dort wo konkrete Maßnahmen in den maßgeblichen Belastungsbereichen bereits beschrieben werden können, werden diese im Bericht dokumentiert.

Die Planungsstände und Konkretisierungsgrade für die unterschiedlichen Belastungsbereiche und Teilräume sind teilweise sehr unterschiedlich fortgeschritten. Insofern stellt das gemeinsame Nährstoffreduzierungskonzept insgesamt kein abgeschlossenes statisches Planwerk dar. Es zeigt konkrete Ziele und Maßnahmen in Kombination mit Maßnahmenstrategien auf, um die Umweltziele sukzessive erreichen zu können.

Dieser Bericht enthält Aktualisierungen zum Stand der Ableitung und Festsetzung von Orientierungswerten für Nährstoffe und Ergänzungen zur Nährstoffeintragsbilanz des Teil 2. Ergänzt wird die Bilanz für das Einzugsgebiet Große Tränke (Spree-Einzugsgebiet in Branden-

burg). Dieses Gebiet wurde im ersten Teil noch nicht als nährstoffrelevantes Gebiet geführt und insofern wurden auch im Teil 2 die Einträge nicht dargestellt. Die hohen Frachten am Pegel Große Tränke für den Gesamtraum machen es jedoch erforderlich, dieses Gebiet in die Maßnahmenplanung einzubeziehen.

Das Nährstoffkonzept ordnet sich in die Gesamtaktivitäten der Länder Berlin und Brandenburg bzw. der Flussgebietsgemeinschaft Elbe zur Umsetzung der WRRL ein. Aktuell liegen die Entwürfe des aktualisierten Bewirtschaftungsplans und begleitender Hintergrunddokumente sowie des aktualisierten Maßnahmenprogramms für den Bewirtschaftungszeitraum 2015-2021 bis zum 22.06.2015 der Öffentlichkeit zur Anhörung vor. Die Fertigstellung der Dokumente erfolgt unter Berücksichtigung der Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit bis zum 22.12.2015. Nach Abschluss des zweiten Bewirtschaftungszeitraums erfolgt eine weitere Fortschreibung des Bewirtschaftungsplans und des Maßnahmenprogramms für den Zeitraum 2021-2027.

## **2 Ergänzungen und Aktualisierungen zum gemeinsamen Nährstoffreduzierungskonzept Teil 1 und 2**

### **2.1 Fortschreibung der länderübergreifenden Bewirtschaftungsziele**

Phosphor stellt in den Seen des betrachteten Handlungsraumes als limitierender Nährstoff die Schlüsselgröße für die Trophieausprägung dar und ist die entscheidende Stell- und Zielgröße für Verbesserungsmaßnahmen und Sanierungen.

Die in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) 2011 verankerten Hintergrundwerte für Gesamtphosphor sowie die im Arbeitspapier II der Rahmenkonzeption der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) „Hintergrund und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL“ (LAWA 2009) verankerten Orientierungswerte, die nach Validierung in Teil 1 des Nährstoffreduzierungskonzepts Eingang fanden, wurden im Rahmen der Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren mit einem größeren Datensatz im Auftrag der LAWA überarbeitet. Im Januar 2015 wurde das Arbeitspapier II der LAWA-Rahmenkonzeption aktualisiert (LAWA 2015a). Die Orientierungswerte finden nunmehr ebenfalls Eingang in die neue OGewV und werden somit künftig rechtlich geregelt.

Die Orientierungswerte sind für die Seentypen 10 und 11 zwar verschärft worden, haben aber keinen prinzipiellen Einfluss auf das Nährstoffkonzept. Die Orientierungswerte für die Flusseen (Typ12) gelten weiter, da sich die größere Variationsbreite in diesen bistabilen Gewässersystemen weiter bestätigt hat (Tabelle 1).

Tabelle 1: Für die See-Subtypen des Tieflands überarbeitete Orientierungswerte für den Parameter Gesamtphosphor (LAWA 2015a) und Werte aus LAWA (2009) in Klammern

LAWA Seetyp	See-Subtyp Phytoplankton	Maximaler Trophiestatus im Referenzzustand bzw. LAWA-Index	Grenzbereiche Gesamtphosphor – Sommermittel (µg/l)	
			Obergrenze Referenzzustand sehr gut - gut	Obergrenze guter ökologischer Zustand gut - mäßig
10	10.1	(schwach) mesotroph 1 2,0	17-25 (20-35)	25-40 (35-45)
10	10.2	(stark) mesotroph 2 2,25	20-30 (20-35)	30-45 (40-55)
11	11.1	(stark) mesotroph 2 2,5	25-35 (25-45)	35-45 (45-65)
11	11.2	(schwach) eutroph 1 2,75	28-35 (30-45)	35-55 (45-70)
12	12	eutroph 2 3,25	40-50 (40-60)	60-90 (60-90)
13	13	(schwach) mesotroph 1 1,75	15-22 (15-25)	25-35 (25-35)
14	14	(stark) mesotroph 2 2,25	20-30 (20-35)	30-45 (40-60)

## 2.2 Quantifizierung der pfadspezifischen Eintragsquellen für das Einzugsgebiet der Spree (Brandenburg) und Auswirkungen auf die Gesamtbilanz des Hauptpegels Havel/Ketzin

In der Emissionsbilanz des Teil 2 des Nährstoffreduzierungskonzeptes wurde das Brandenburger Einzugsgebiet der Spree zunächst nicht dargestellt. Da sich dieses Gebiet für die Nährstoffsituation der Berliner Gewässer und der Unteren Havel als relevant herausgestellt hat, wird dieser Anteil nachstehend ergänzt. Aus dem Brandenburger Einzugsgebiet der Spree wurden unter Anwendung der Methodik der Eintragsbilanzierung aus Teil 2 ca. 53 t/a TP-Emissionen ermittelt (Tabelle 2, Abbildung 1).

Tabelle 2: Phosphoreinträge aus den wichtigsten Quellen des Brandenburger Einzugsgebiets der Spree in kg/a

	Flächenanteil (ha)	TP-Emissionen im Spreeeinzugsgebiet (kg/a)
P-Eintrag von versiegelten Flächen	1.346	3.296
P-Eintrag von erosionsgefährdeten Ackerflächen	72.142	14.441
P-Eintrag aus dem Dränwasser	16.442	4.783
P-Eintrag von nährstoffsensible Flächen	38.649	10.692
P-Eintrag aus Punktquellen (2005)		19.603
<b>Summe</b>		<b>52.815</b>

Abbildung 1: Anteile der pfadbezogenen Emissionen im Brandenburger Einzugsgebiet der Spree

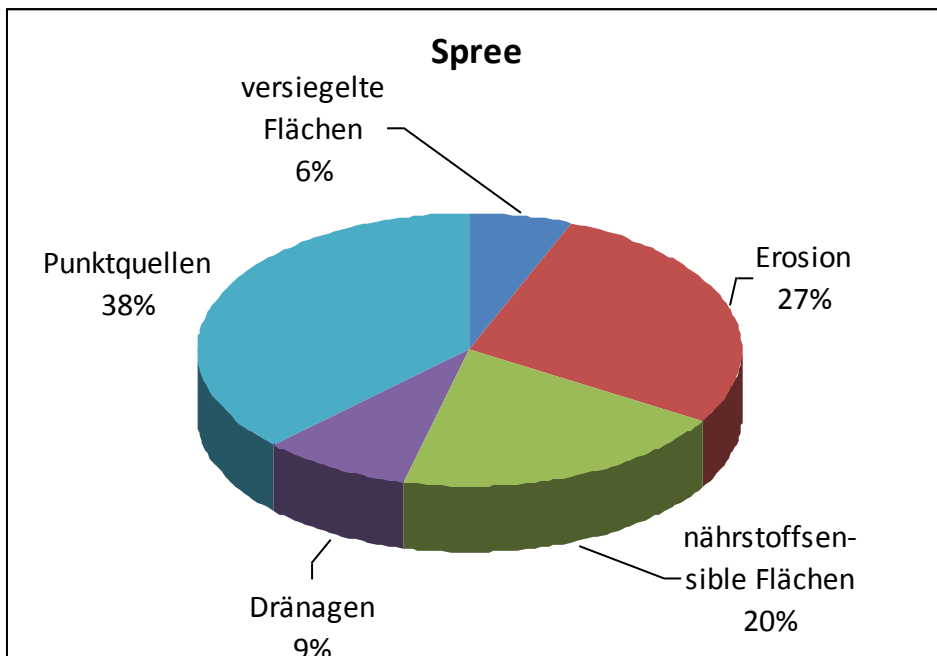
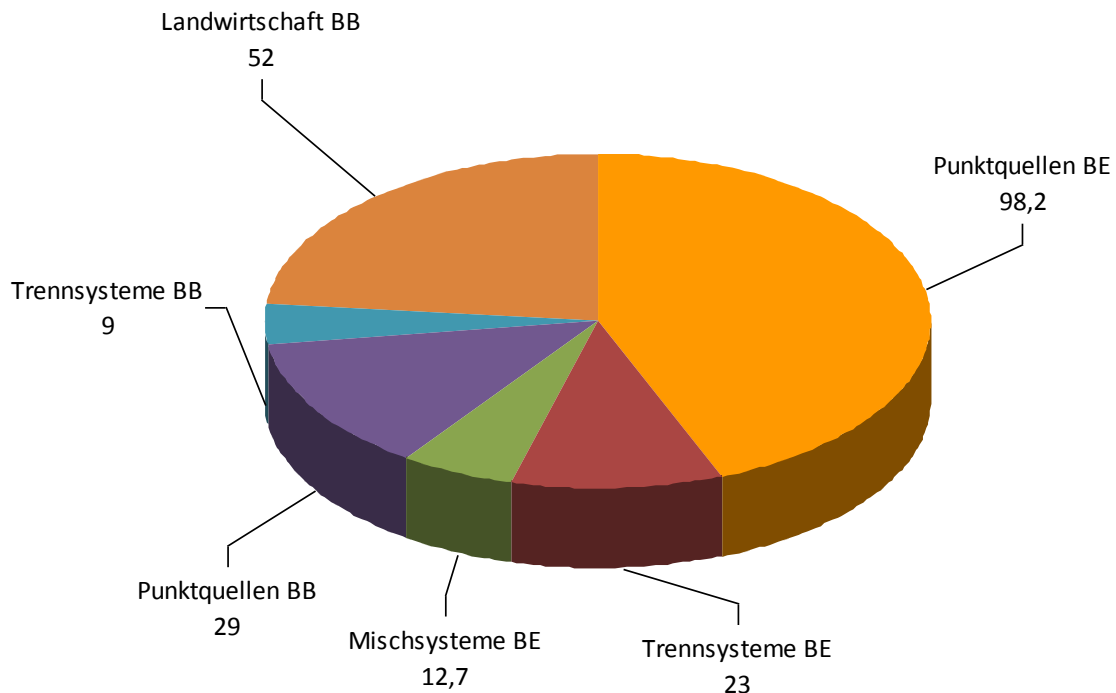


Tabelle 3: Übersicht der Frachten und Emissionen in den nährstoffrelevanten Gebieten (einschließlich des Brandenburger Spreeeinzugsgebiets) im Einzugsgebiet der Hauptmessstelle Havel-Ketzin in t/a

Bilanzmessstelle	Gemessene Fracht	Zielfracht	Zu reduzierende Fracht	Bilanzierte P-Emission in nährstoffrelevanten Gebieten
Ketzin	242	134	108	223

Es dominieren die Einträge aus Punktquellen mit 57%, gefolgt von den Einträgen aus diffusen Quellen (23%) und den Einträgen aus urbanen Entwässerungssystemen (20%).

Abbildung 2: Kumulative, pfadspezifische Anteile der TP-Emissionen an der Hauptmessstelle Havel Ketzin in t/a (Gesamtemission ca. 223 t/a ohne Plane, Gesamtfracht am Pegel 242 t/a)



### 2.3 Trendbetrachtung zur Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentration in der Unteren Havel (Hauptmessstelle Havel Ketzin)

Die Trendbetrachtung aus Teil 1 für die Hauptmessstelle Havel Ketzin wird nachstehend durch die Fortführung der Trendbetrachtung bis 2014 aktualisiert. Herangezogen wurden die Messwerte für TP für den Zeitraum 01.01.2005 - 31.12.2014. Die Durchflüsse für den Pegel Ketzin wurden für diesen Zeitraum vom Portal der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung abgefragt. Für jeden Messtermin für TP wurde der mittlere Abfluss des Tages berechnet (MQ\_Tag). Durch Multiplikation von TP und MQ\_Tag wurde die Tagesfracht für TP berechnet. Der abflussgewichtete Mittelwert für TP wurde als Quotient aus der Summe der durch Messwerte belegten Tagesfrachten und der Summe der Abflüsse für die Tage mit TP-Messwerten berechnet. Aus den ca. 24-26 belegten Tagesfrachten eines Jahreszyklus wurde weiterhin die mittlere Tagesfracht für TP für das Kalenderjahr berechnet. Die Jahresfracht für TP wurde durch Multiplikation der mittleren Tagesfracht mit 365 abgeschätzt.

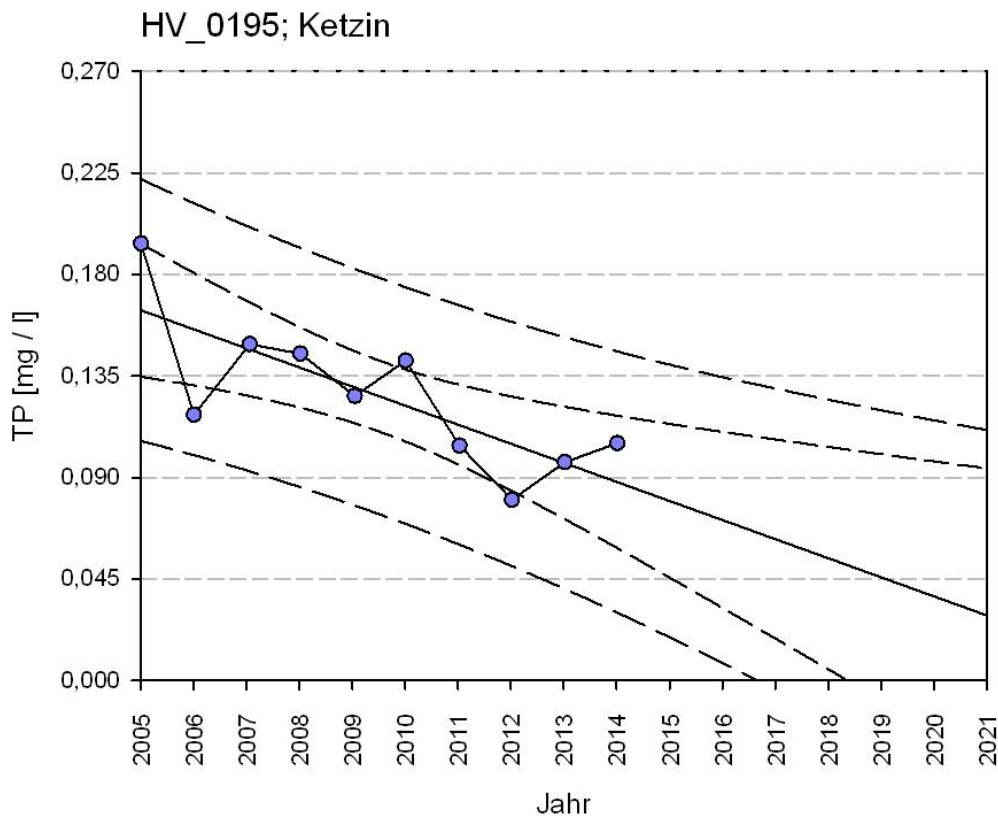
Die Jahresmittelwerte der **TP-Konzentration** waren im Zeitraum 2005-2014 starken Schwankungen unterworfen (Abbildung 3). Der sehr hohe Wert im Jahr 2005 (0,193 mg/l)

war noch geprägt von ganzjährig hohen Einträgen, seeinterner Phytoplanktonproduktion (lokale Cyanobakterienblüten) und starken Rücklösungseffekten im Sommer.

Im Zeitraum 2006-2010 schwankten die Jahresmittelwerte der TP-Konzentrationen nur wenig. Sie lagen um 0,136 mg/l. Das Ziel der Absenkung auf ein Niveau unter 0,090 mg/l erforderte zum Zeitpunkt 01.01.2011 im Mittel eine weitere Reduzierung um mehr als 0,046 mg/l, also um mehr als ein Drittel.

Ausgelöst durch die extremen Sommerniederschläge des Jahrs 2010, das folgende Hochwasser der Spree und der Oberhavel und den starken Export von Phosphaten aus den Seen der Unteren Havel trat ab 2011 eine weitere Absenkung der TP-Konzentration ein. Durch die erhöhten Durchflüsse wurde im Unteren Havelbecken eine stabile Schichtung verhindert. Bei geringeren anaeroben Verhältnissen wirkte die Nitratvorlage (3 mg/l NO<sub>3</sub>-N) einer Phosphorrücklösung entgegen. Die durchflussgewichteten Jahresmittelwerte der TP-Konzentration schwankten in den Jahren 2011-2014 zwischen 0,080 und 0,105 mg/l bei einem Mittelwert von 0,097 mg/l.

Abbildung 3: Entwicklung der Gesamtphosphat-Konzentration (TP) in der Havel bei Ketzin in den Jahren 2005-2014, Abschätzung des Trends (—) und der wahrscheinlichen Entwicklung des Trends (inneres Band - -, 95% Vertrauensintervall) und der Jahresmittelwerte (äußeres Band - -, 95% Vertrauensintervall) bis zum Jahr 2021.





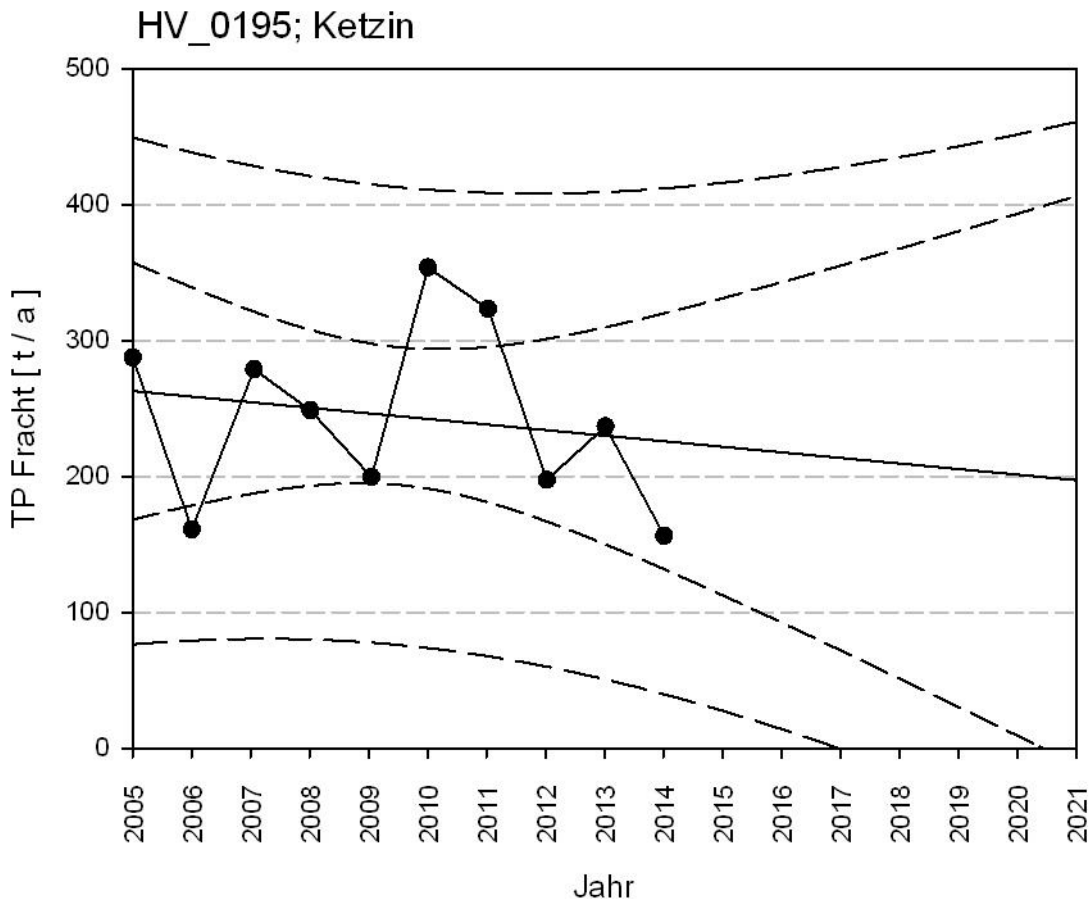
Die langfristige lineare Trendbetrachtung zeigt einen fallenden Trend. Das Vertrauensintervall ist wegen der starken Streuung des Parameters jedoch so weit, dass auch eine Stagnation auf dem gegenwärtigen Niveau möglich ist und bis 2021 keine Absenkung auf Werte unter 0,090 mg/l eintreten könnte. Die im Trockenjahr 2014 gemessene Konzentration von 0,105 mg/l macht deutlich, dass für die Erreichung des Bewirtschaftungsziels (60-90 µg/l) eine weitere Reduzierung erforderlich ist.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die TP-Mittel nur an den seereichen Fließgewässern fallende Trends aufweisen (Untere Havel, Untere Dahme). Dagegen stagnieren die Trends an den seearmen Zuflüssen weiterhin (Nuthe, Spree vor Berlin, Obere Havel). Daraus resultierend könnte geringer werdende Rücklösung aus den Seesedimenten eine mögliche Ursache für den deutlichen Rückgang in der Unteren Havel sein und nicht so sehr oder nicht ausschließlich die höheren Abflüsse. Das bedeutet aber auch, dass die Trends auf keinen Fall linear 45 µg/l fallen werden, sondern eher auf das Konzentrationsmittel der Zuflüsse zusteuern. Da im Havelraum klimatisch bedingt zukünftig eher geringere als höhere Abflüsse auftreten werden, wird die Konzentration dann wahrscheinlich auch wieder ansteigen (Ausfallen der Verdünnungseffekte). Der hohe mobile P-pool birgt ein großes Phosphor-Rücklösungspotential (reaktives Eisen: Phosphor = 5,5-8,3). Damit haben die Redoxverhältnisse großen Einfluss auf die Phosphor-Rücklösung (Grüneberg et al. 2012). Hier muss durch eine deutliche Reduktion der Einträge gesteuert werden.

Die Jahresmittelwerte der **TP-Fracht** waren im Zeitraum 2005-2014 ebenfalls starken Schwankungen unterworfen (Abbildung 4). Die Spannweite reichte von 156-353 t/a.

Ganz im Gegensatz zur TP-Konzentration waren die Frachten im betrachteten Zeitraum keinem Trend unterworfen. Die weitere Entwicklung ist völlig offen. Im Trockenjahr 2014 wurde das niedrige Niveau des Trockenjahrs 2006 wieder erreicht. Doch dieses Absinken war lediglich die Folge der starken Aushagerungen bzw. Konditionierungen der Havel-sedimente in den Hochwasserjahren 2010 und 2011, in denen die Frachten das Doppelte von Niedrigwasserjahren überschritten.

Abbildung 4 Entwicklung der Gesamtposphat-Fracht in der Havel bei Ketzin in den Jahren 2005 – 2014, Abschätzung des Trends (—) und der wahrscheinlichen Entwicklung des Trends (inneres Band - -, 95% Vertrauensintervall) und der Jahresmittelwerte (äußeres Band - -, 95% Vertrauensintervall) bis zum Jahr 2021.



Die langfristige Trendbetrachtung macht es unwahrscheinlich, dass die mittleren TP-Frachten in der Havel ohne weitere Maßnahmen zur Senkung der TP-Einträge weiter sinken werden. Das Vertrauensintervall öffnet sich für den Prognosezeitraum bis 2021 wegen der starken Streuung des Parameters in den zurückliegenden Jahren so stark, dass im günstigsten Fall angenommen werden kann, dass die Jahreswerte weiter unregelmäßig um den Mittelwert von 244 t/a schwanken werden.

### 3 Maßnahmen, Strategien und Programme im zweiten Bewirtschaftungszeitraum

#### 3.1 Verringerung der diffusen Einträge

Für die Reduzierung von landwirtschaftlichen diffusen Nährstoffeinträgen im zweiten Bewirtschaftungszyklus bildet die konsequente flächendeckende Umsetzung von grundlegenden Maßnahmen der „guten fachlichen Praxis“ eine entscheidende Grundlage. Dazu zählt u. a. die Umsetzung der Düngeverordnung.

Derzeit wird die Düngeverordnung novelliert, das heißt die Aspekte des Gewässerschutzes sollen stärker berücksichtigt werden. Im aktuellsten Entwurf sind u.a. folgende Regelungen enthalten:

- Erweiterung der Sperrzeiten für das Ausbringen von organischen Düngemitteln;
- Einschränkungen für die organische Düngung auf hoch und sehr hoch phosphorversorgten Böden;
- Festlegung von technischen Anforderungen an eine effiziente Düngerausbringung;
- Berücksichtigung auch von pflanzlichen organischen Düngemitteln für die Saldenberechnung;
- Kontrolle der Einhaltung der Auflagen.
- 

Weitergehende Ausführungen zur Fortschreibung der Düngeverordnung enthält das Kapitel 4.

Zusätzlich gibt es für die Landwirte ab 2015 Vorgaben an die Art der Bewirtschaftung. So sind 30 % der Direktzahlungen an die Erfüllung von Umweltauflagen geknüpft. Diese sogenannten Greeningmaßnahmen beziehen sich auf drei Bereiche:

- Auflagen zur Artendiversifizierung, d. h. Vorgaben an die Fruchtfolge;
- Auflagen für den Grünlanderhalt, d.h. jeder Grünlandumbruch muss genehmigt werden;
- Ausweisung ökologischer Vorrangflächen auf mind. 5 % der betriebsbezogenen Ackerflächen, z.B. durch die Anlage von Bracheflächen oder Pufferstreifen an Gewässern.
- 

Mit diesen Maßnahmen allein können aber die Umweltziele nach WRRL nicht erreicht werden, so dass zusätzlich zu den grundlegenden Maßnahmen ergänzende Maßnahmen umzusetzen sind. Im zweiten Bewirtschaftungszyklus bis 2021 sollen dabei in großem Umfang freiwillige Maßnahmen angeboten werden.

Der Schwerpunkt innerhalb der landwirtschaftlichen Maßnahmen liegt in der Anwendung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM). Im Zuge der Aufstellung der neuen Kulturlandschaftsprogramm (KULAP)-Richtlinie des Landes Brandenburg, in der die Inhalte der AUKM festgelegt sind, konnten auch Anforderungen aus der WRRL berücksichtigt werden. Es gibt aber noch Änderungs- und Anpassungsbedarf, der in den nächsten Jahren eingearbeitet wird.

Derzeit werden die AUKM in zwei Fachkulissen des Gewässerschutzes angewendet. Diese Gebietskulissen umfassen zum einen die nährstoffsensiblen Flächen und zum anderen die Gewässerrandstreifen. Durch die Anpassung der Richtlinie sollen ab 2016 zwei weitere Fachkulissen berücksichtigt werden. Das sind die Erosionskulisse und die Fachkulisse der Flächen, auf denen eine moorschonende Stauhaltung durchgeführt werden kann.

Zu den ELER (Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums)-geförderten Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen im Land Brandenburg zur Reduzierung auswaschungsbedingter Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft zählen folgende Maßnahmen:

Maßnahmen auf Acker:

- Freiwillige Gewässerschutzleistungen
- Ackerbegrünung an Gewässerrändern
- Ökologischer Landbau

Maßnahmen auf Grünland:

- Extensive Grünlandnutzung
- Moorschonende Stauhaltung
- Ökologischer Landbau

Grundvoraussetzung für einen nennenswerten Beitrag der aufgeführten Agrarumweltmaßnahmen zur Reduzierung der diffusen Nährstoffeinträge ist ihre großflächige Anwendung in den ausgewiesenen Gebietskulissen. Mit Hilfe von Beratungsangeboten kann die Akzeptanz der AUKM erhöht werden (u.a.: Beratungs- und Schulungsangebote für landwirtschaftliche Betriebe). Die Beratungsmaßnahmen sollen beispielsweise die Bereitstellung von Fachinformationen oder die Durchführung von Schulungs- und Fortbildungsangebote beinhalten. Grundlage für diese Aktivitäten bildet das „Konzept zum Aufbau und zur Umsetzung einer landwirtschaftlichen Gewässerschutzberatung“, in dem die finanziellen und organisatorischen Voraussetzungen Brandenburgs berücksichtigt wurden. Dieses Konzept wurde im ersten Bewirtschaftungszeitraum erarbeitet.

11 % der P-Einträge gelangen über Erosion in die Gewässer des Bundeslandes Brandenburg (vgl. Nährstoffreduzierungskonzept Teil 2). Maßnahmen zur Verminderung der Erosion haben das Ziel, die Erosionsanfälligkeit in der Fläche zu minimieren und/oder den Transport des erodierten Bodens zum Gewässer durch Barrieren zu behindern. Mögliche Maßnahmen sind hinreichend bekannt und werden in der einschlägigen Fachliteratur ausreichend diskutiert (z.B. Frielinghaus et al. 2002). In nährstoffrelevanten Einzugsgebieten im Land Brandenburg ist zusätzlich zu den freiwilligen Maßnahmen die Umsetzung einer Gewässerrandstreifenverordnung vorgesehen.

Regionale Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge wurden bereits im ersten Bewirtschaftungsplan im Einzugsgebiet des Schwielochsees (Spree) im Rahmen des Regionalen Nährstoffreduzierungskonzeptes Schwielochsee vorbereitet und werden aktuell umgesetzt. Das erste regionale Nährstoffreduzierungskonzept umfasst den Großen und den Kleinen Schwielochsee sowie die nördlich angeschlossenen Standgewässer Glower See und Leissnitzsee. Durch ein investigatives Monitoring von Mai 2009 bis Mai 2010 wurden mit gezielten Messungen die Nährstoffeinträge der Zuflüsse ermittelt.

Auf Basis dieser Untersuchungen erfolgten die Auswertung der Ergebnisse und eine Ableitung von Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung. Die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen führt auch zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in die Spree.

## 3.2 Verringerung der Einträge aus Punktquellen

### 3.2.1 Großklärwerke

Unter den anthropogenen Eintragspfaden dominieren im Spree-Havel-Raum die Emissionen aus Kläranlagen (siehe Teil 2 des Nährstoffreduzierungskonzeptes), und hier insbesondere die Einträge der Großklärwerke. Die Klärwerke der Größenklasse 5 leiten ca. 100 t/a in die Gewässer ein und haben somit an den Gesamteinträgen einen Anteil von 45%. Der relativ hohe Anteil an punktförmigen Einträgen im Havelinzugsgebiet liegt in der besonderen Siedlungsstruktur und Eintragsbilanz der Havel mit relativ geringen Einträgen aus diffusen Quellen begründet. Im Rahmen des Maßnahmenprogramms nehmen die Großklärwerke daher eine zentrale Rolle ein. Ohne eine signifikante Minderung der P-Emissionen aus Klärwerken in frachtrelevanter Größenordnung sind die Umweltziele nicht zu erreichen. Tabelle 4 zeigt die wesentlichen Kenngrößen der Kläranlagen der Größenklasse 5 im Handlungsraum:

Tabelle 4: Kenndaten der Großklärwerke (> 100.000 EW) im Handlungsraum

Standort	Aufnahmegewässer	Durchschnittliche behandelte Abwassermenge in Mio. m <sup>3</sup> /a	Durchschnittliche TP-Ablaufkonzentr. (mg/l)	Durchschnittliche TP- Fracht (t/a)
		2010 bis 2013	2010 bis 2013	2010 bis 2013
Cottbus	Spree	6,17	0,59	3,01
Münchehofe	Erpe / Müggelspree	13,66	0,67	9,35
Waßmannsdorf	Teltowkanal	59,85	0,49	29,33
	Nuthe	11,14		5,46
Stahnsdorf	Teltowkanal	17,98	0,43	7,73
Ruhleben	Teltowkanal	31,55	0,40	12,62
	Spree	52,44		20,98
Schönerlinde/ OWA Tegel*	Tegeler See	78,98	0,02	1,63
Wansdorf	Havelkanal	13,10	0,42	6,81
Potsdam-Nord	Untere Havel	4,65	0,46	2,11
Brandenburg-Briest	Untere Havel	4,27	0,35	1,52
Summe		293,79	0,47(ohne Schönerlinde/OWA)	100,54

\* Handlungsraum (die Oberflächenwasseraufbereitungsanlage (OWA) Tegel fungiert faktisch als weitergehende P-Eliminationsstufe für das Klärwerk Schönerlinde).

Die Großklärwerke der Größenklasse 5 im Handlungsraum, wie auch in anderen Einzugsgebieten in Deutschland, erreichen aktuell deutliche niedrigere P-Ablaufwerte, als der Anhang I der Abwasserverordnung vorschreibt. Insofern spiegeln die emissionsbezogenen Überwachungswerte der Abwasserverordnung schon lange nicht mehr die Leistungsfähigkeit der biologischen oder chemischen P-Elimination oder gar die der weitergehenden Technologien

wie die der Abwasserfiltration wider. Mit der Einführung der WRRL und der Etablierung des kombinierten Ansatzes gemäß Artikel 10 WRRL halten zunehmend immissionsbezogene Betrachtungen für die Definition der Anforderungen an die Leistungsfähigkeiten von Abwasseranlagen Einzug in die fachliche Debatte und in den wasserrechtlichen Vollzug. Insbesondere in eutrophierungssensitiven Gewässern setzt sich die Erkenntnis durch, dass nur durch eine deutliche Verbesserung der P-Elimination in Kombination mit anderen Maßnahmen der gute Zustand erreicht werden kann (Trepel et al. 2013). Forderungen an weitergehende Maßnahmen zur spürbaren Erhöhung des Nährstoffrückhalts auf den Kläranlagen sind im Rahmen eines Gesamtkonzeptes unter Einbeziehung aller Herkunftsbereiche dann gerechtfertigt, wenn

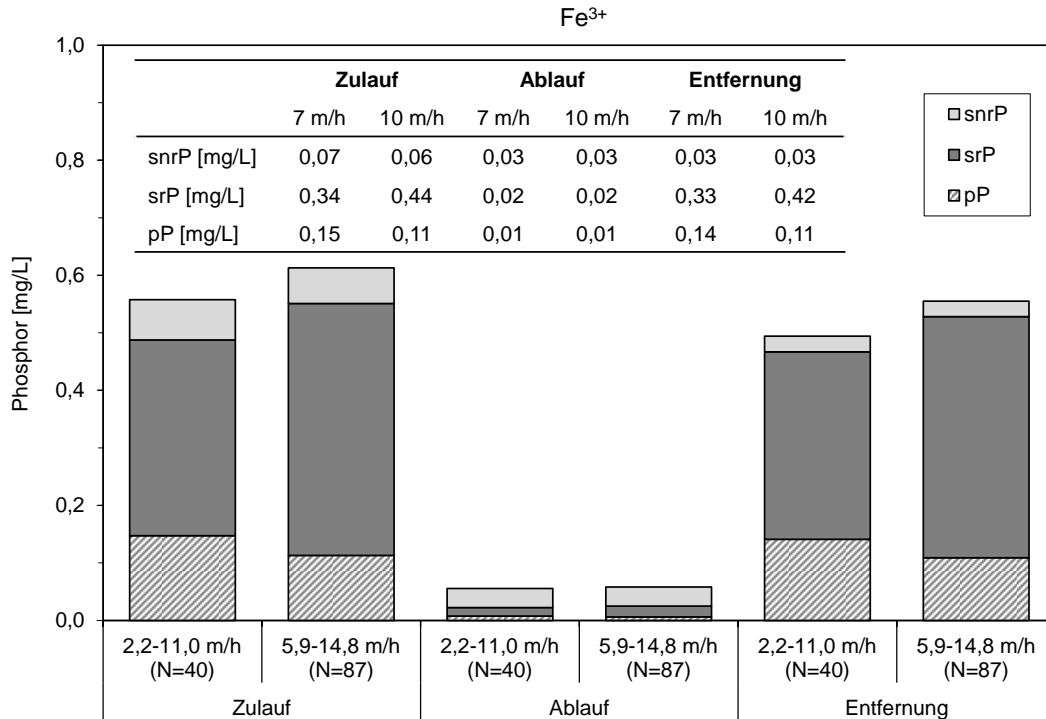
- a) Maßnahmen signifikant zur Minderung der Nährstoffbelastung der Binnengewässer wie auch der Küstengewässer beitragen,
- b) geeignete und erprobte Verfahren für eine wirksame Erhöhung der P-Retention bereit stehen,
- c) die primären Vorteile zur Umweltentlastung durch die Einführung der Verfahrenstechnik gegenüber anderen ökologischen Risiken (u.a. Primärenergieverbrauch, Einsatz von Hilfsstoffen) überwiegen und
- d) die Wirtschaftlichkeit derartiger Verfahrensstufen gegeben ist.

Neben Maßnahmen zur weiteren Optimierung des Betriebs von Anlagen, sind auch nachgeschaltete Verfahren bereits vielfach im Einsatz. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf nachgeschaltete Maßnahmen auf Großklärwerken, da allein durch betriebliche Maßnahmen zur Optimierung der chemischen Fällung mit anschließender Sedimentation oder erhöhter biologischer P-Elimination keine nennenswerten Verbesserungen mehr erreicht werden können. Der Nachklärung nachgeschaltete Techniken (Filtration) mit nennenswerten Effekten zielen auf die direkte Abtrennung der partikulären Rest-P-Fractionen aus der Nachklärung in Kombination mit chemischer Fällung (ggf. Flockung) der gelösten Anteile und Abtrennung durch Filtration (Flockungsfiltration) ab. Derartige Verfahren zur gezielten Phosphorelimination stellen grundsätzlich keine technischen Neuerungen dar, sondern sind seit Jahren bzw. Jahrzehnten bekannt und mit unterschiedlichen Zielstellungen und Leistungsgrenzen vielfach im Einsatz. Auch andere Verfahren, wie Mikrosiebung, Kompaktsedimentation bis hin zur Membranfiltration, sind zunehmend in der Diskussion bzw. Gegenstand von weitergehenden Untersuchungen zur Einsatzfähigkeit auf kommunalen Großklärwerken (Miehe et al. 2013). Biofilter sind zur Erhöhung der Restdenitrifikation bereits vielfältig im Einsatz, aber für eine weitergehende P-Elimination weniger geeignet. Auf eine umfassende Diskussion dieser Technologien wird im Rahmen des Nährstoffreduzierungskonzeptes verzichtet. Es liegen zu diesen Technologien umfassende Berichte aus Forschungsprojekten und Pilotvorhaben bzw. aus dem Echtbetrieb vor.

Auf der Grundlage umfassender vergleichender Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit, zu Ökobilanzen und wirtschaftlicher Überlegungen wird für den weiteren Ausbau der Großklärwerke der Einsatz der Flockungsfiltration favorisiert.

Begrenzt wird die Leistungsfähigkeit der Flockungsfiltration maßgeblich durch den Anteil der nicht-reaktiven Phosphorfraktion. Die Emissionen dieser Phosphorfraktionen in die Kanalisation, meist über Phosphonate oder Phosphite, stammen überwiegend aus der Metall- und Elektroindustrie bzw. der Textilindustrie, werden aber auch als Waschmittelzusätze verwendet. Anteile des gelösten, nicht-reaktiven Phosphors sind schwer fällbar und somit nicht eliminierbar und stellen somit den maßgeblich begrenzenden Faktor für die P-Eliminationsleistung dar. Zur direkten oder verzögerten biologischen Verfügbarkeit (Algenverfügbarkeit) des nicht-reaktiven Phosphors gibt es keine abschließenden wissenschaftlichen Studien. Die fällbaren Anteile dieser Fraktion schwanken zwischen den Klärwerken und durch Nutzungsänderungen auch zeitlich in den Zuläufen der einzelnen Klärwerke. Für das Klärwerk Münchehofe wurden im Rahmen von halbtechnischen Versuchen beispielsweise mittlere Entfernungsraten von 43 % des gelösten nicht reaktiven Phosphors ermittelt, wobei der Anteil im Zulauf für diese Fraktion lediglich 10 % von der Gesamtfracht beträgt (siehe Abbildung 5). Bei der Formulierung von Anforderungen an die Eliminationsleistungen sowie an die Ausgestaltung der wasserrechtlichen Bescheide und die Überwachung sind diese Anteile an den einzelnen Standorten zu berücksichtigen.

Abbildung 5: Gelöster nicht reaktiver Phosphor (snrP), gelöster reaktiver Phosphor (srP) und partikulärer Phosphor (pP) im Zu- und Ablauf des Flockungsfilters (halbtechnische Versuchsanlage auf dem Klärwerk Münchehofe) sowie deren Entfernung (Mediane) mit verschiedenen Filtergeschwindigkeiten und der Dosierung von Fe<sup>3+</sup> (Geyer et al. 2015)



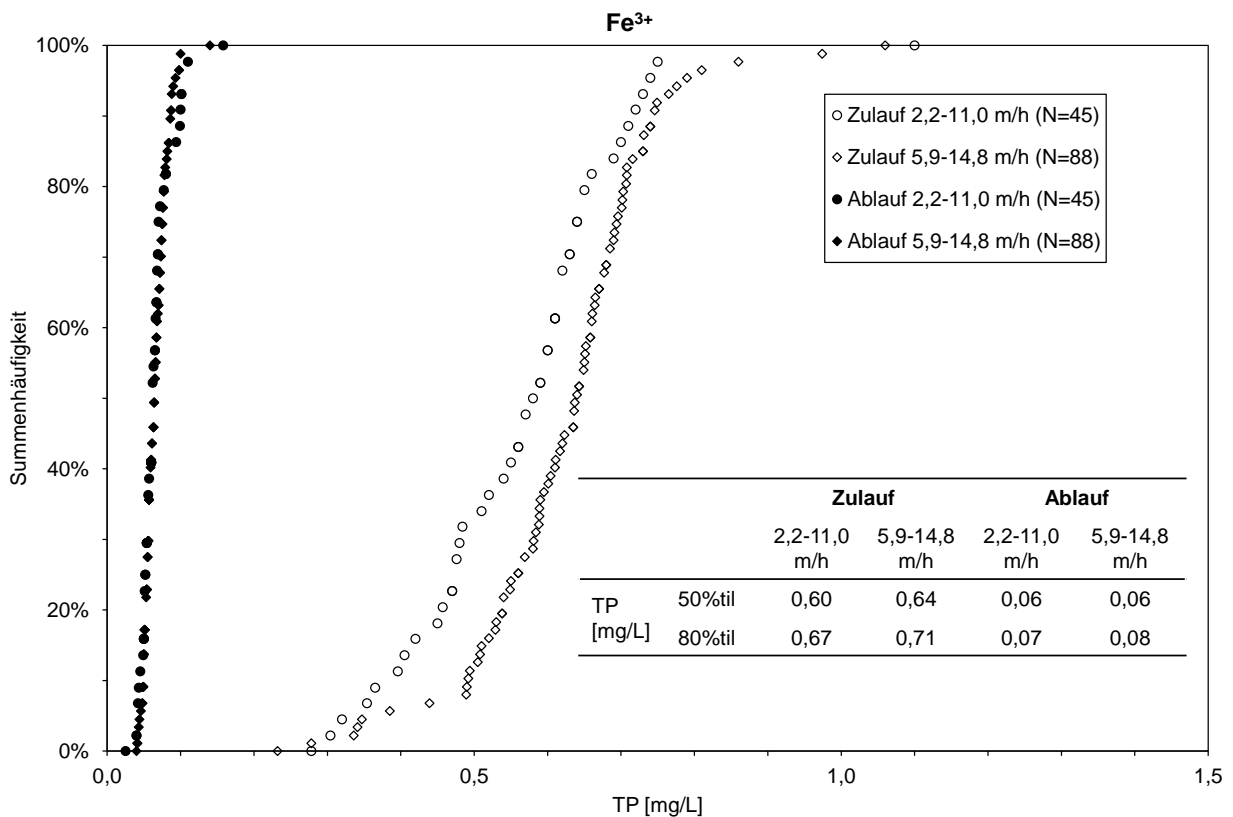
In Berlin liegen durch den Betrieb der OWA Tegel umfassende Erfahrungen in der Planung und Steuerung von Raumfiltern seit 1985 vor. Bei der Anlage handelt es sich um eine zwei-stufige Raumfiltrationsanlage mit Flockung – Sedimentation – Nachflockung – Filtration. Die OWA Tegel fungiert faktisch als eine nachgeschaltete Eliminationsanlage für das Klärwerk Schönerlinde. Die Eliminationsleistung dieser Anlage mit Ablaufwerten um 0,02 mg/l TP ist nicht auf Flockungsfilter als direkt nachgeschaltete Stufe von Kläranlagen übertragbar. Im Rahmen von Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Flockungsfiltern durch halbtechnische Versuche wurde in einem Pilotvorhaben der TU Berlin in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben eine einstufige Flockung mit anschließender Zweischichtfiltration untersucht (Geyer et al. 2015). Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verfahrensgestaltung auch ohne separate Sedimentation und Polymerdosierung geeignet ist, sichere Zielwerte (Jahresmittelwert) für die suspendierten Stoffe und Gesamtphosphor von TSS ≤ 1 mg/L und TP ≤ 0,1 mg/L (bei ca. 4mg/l Fe, 7-10 m/h) einzuhalten. Die verfahrenstechnischen Versuche auf dem Klärwerk Münchehofe zeigten mittlere Entfernungsraten bezogen auf die Zulauffracht von 90% für Gesamtphosphor (der arithmetische Mittelwert betrug im Ablauf 0,06mg/l TP, siehe Abbildung 5), ebenso Entfernungsraten von ca. 16 % für CSB und bis zu 25 % bei Do-



sierung von PACI+PolyDADMAC<sup>1</sup> (Geyer et al. 2015). Zudem ist eine begrenzte Verbesserung der Nitrifikation zur Minderung von Ammonium-Spitzen zu erwarten, sofern sich eine ausreichende Nitrifikationspopulationsdichte aufbauen kann. Eine Minderung der Gesamt-N-Ablauffracht kann nicht erwartet werden. Die Flockungsfiltration kann grundsätzlich mit der Ozonung oder der Pulveraktivkohleadsorption für eine gezielte Spurenstoffentfernung kombiniert werden.

Die Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte der Berliner Wasserbetriebe auf der Grundlage von empirischen Modellen lassen mittlere P-Ablaufkonzentrationen z.B. für das Klärwerk Waßmannsdorf in Abhängigkeit der Fällmitteldosierung zwischen 0,07 und 0,12 mg/l TP (mittlere Ablaufkonzentrationen um 0,1 mg/l) erwarten, bei Jahreshöchstwerten von 0,2 bis 0,3 mg/l (siehe Abbildung 6). Waßmannsdorf weist gegenüber Münchehofe höhere Anteile an nicht oder schwer fällbarem Phosphor auf. Die Übertragbarkeit bzw. die Abschätzung der Leistungsfähigkeit anderer Klärwerksstandorte ist im Rahmen von Voruntersuchungen und ggf. halbtechnischen Versuchen zu prüfen.

Abbildung 6: Summenhäufigkeit der TP-Konzentration im Zu- und Ablauf des Flockungsfilters bei einer Dosierung von Fe<sup>3+</sup> und verschiedenen Filtergeschwindigkeiten (Geyer et al. 2015)



<sup>1</sup> PACI: Polyaluminiumchlorid; PolyDADMAC: Polydiallyldimethylammoniumchlorid

Mit der stufenweisen Einführung dieser Verfahrenstechnik auf allen Großklärwerken (GK 5) im Handlungsraum lassen sich die Emissionen in die Gewässer um ca. 80-90 Tonnen pro Jahr verringern. Für den zweiten Bewirtschaftungsplan werden für die Klärwerke Ruhleben und Münchehofe die Einführung der Flockungsfiltration angestrebt. Die Abfolge der Umsetzung aller Investitionen auf den Großklärwerken ist mit den Maßnahmenträgern im Rahmen weitergehender Konsultationen zu verabreden. Die grundsätzlichen Anforderungen an die wasserrechtlichen Bescheide einschließlich der Festlegung der Überwachungswerte für mittlere Jahresfrachten/-konzentrationen und der Maximalwerte sind zwischen den Wasserbehörden beider Länder abzustimmen.

### **3.2.2 Kleine bis mittelgroße Kläranlagen in Brandenburg**

Bei den kleineren Anlagen (Größenklasse 1-4) wird differenziert in Anlagen, die bereits im ersten Bewirtschaftungszeitraum hinsichtlich ihres Optimierungspotenzials untersucht wurden und Kläranlagen, die dahingehend im zweiten Bewirtschaftungszeitraum noch zu untersuchen sind. Kläranlagen, die ein deutliches P-Optimierungspotenzial haben und Kläranlagen, die hinsichtlich ihres P-Optimierungspotenzials zu überprüfen sind, stehen in nachfolgender Tabelle 5. Maßnahmen zur P-Austragsminderung an diesen Anlagen werden im zweiten Bewirtschaftungszeitraum geplant. Kläranlagen, deren Optimierungspotenzial nicht bekannt ist, werden im zweiten Bewirtschaftungszeitraum dahingehend untersucht und ggf. erforderliche Maßnahmen im dritten Bewirtschaftungszeitraum umgesetzt. Insgesamt werden durch diese Kläranlagen aktuell (2011) ca. 27 t/a in die Gewässer eingetragen. Das tatsächliche Potenzial zur P-Lastminderung kann derzeit noch nicht beziffert werden.

Tabelle 5: Aktuelle TP-Fracht in kg/a sowie geplante Maßnahmen an kleinen und mittelgroßen Kläranlagen in Brandenburg (Summe der Fracht: 27 t/a TP)

Kläranlage	TP-Fracht in kg/a (2011)	Seit 2012 laufende bzw. zukünftig vorgesehene Maßnahmen
Alt-Schadow	281	Überprüfung dauerhaft stabiler Betrieb $P \leq 1$ mg/l
Beelitz	445	Ermittlung von Optimierungs-potenzialen N und P als Grundlage für 2022 fällige Bescheidüberarbeitung
Beeskow	699	Ermittlung des Optimierungspotenzials (P) als Grundlage für 2018 fällige Bescheidüberarbeitung
Brück Hackenhouse	702	Optimierung der bestehenden P-Fällung
Burg	400	Überprüfung dauerhaft stabiler Betrieb $P \leq 2$ mg/l sowie Prozessstabilität N
Calau	2.200	Nachrüstung P-Fällung, Zielwert 2 mg/l
Crinitz II	491	Teilneubau und Ertüchtigung
Drebkau	1.540	Ermittlung des Optimierungspotenzials
Funkenhagen/Thomsdorf	280	Nachrüstung P-Fällung
Heidefeld	1.012	Ermittlung des Optimierungspotenzials
Kasel-Golzig	248	Grundlegende Ertüchtigung der KA
Kremmen	473	Ermittlung des Optimierungspotenzials
Langengrassau	253	Überleitung zur KA Kasel-Golzig
Lübben	466	Ertüchtigung und Sanierung
Lübbenau/Spreewald	1.025	Optimierung der bestehenden P-Fällung
Luckenwalde	2.573	Ermittlung von Optimierungs-potenzialen N und P als Grundlage für 2023 fällige Bescheidüberarbeitung
Ludwigsfelde	876	Monitoring dauerhafte Prozessstabilität
Nennhausen	1.227	Überleitung zur KA Rathenow
Neuglobsow	241	Ermittlung des Optimierungspotenzials
Niewitz	210	Überleitung zur KA Kasel-Golzig
Peitz	474,5	Überprüfung dauerhaft stabiler Betrieb $P \leq 2$ mg/l
Pritzerbe	1.370	Nachrüstung P-Fällung, Zielwert 2 mg/l
Rathenow	2.333	Sicherstellung dauerhaft stabiler Betrieb $P \leq 2$ mg
Roskow	1.323	Überprüfung dauerhaft stabiler Prozessführung N sowie weitgehender Absenkung P
Schönermark OHV	877	Monitoring dauerhafte Prozessstabilität
Templin	428	Ermittlung des Optimierungspotenzials unter Berücksichtigung der Gesamtemission des Siedlungs-gebietes (P)
Treuenbrietzen	438	Optimierung der bestehenden P-Fällung
Vetschau	510	Ermittlung des Optimierungspotenzials
Wagenitz	998	Ermittlung des Optimierungspotenzials
Werder OT Kemnitz	1.204	Ermittlung des Optimierungspotenzials (P) als Grundlage für 2016 fällige Bescheidüberarbeitung
Wiesenburg/Mark	117	Monitoring dauerhafte Prozessstabilität
Zossen Tandem-KA	1.133	Neubau (Erweiterung und Ertüchtigung)

Maßnahmen an Kläranlagen, die über die Anforderungen der Kommunalabwasserverordnung hinausgehen, sind in Vorbereitung und teilweise bereits in der Umsetzung. Einige Kläranlagen wurden, wie z.B. die Kläranlage Hohendorf, auch geschlossen und das Abwasser auf leistungsfähigere Kläranlagen geleitet.

### **3.3 Verringerungen der Einträge aus urbanen Entwässerungssystemen**

#### **3.3.1 Trennsystem**

Maßnahmen der stofflichen Regenwasserbehandlung stellen ein ergänzendes Element der Nährstoffminderungsstrategie dar. Allein durch das Berliner Trennsystem werden ca. 23 Tonnen P pro Jahr emittiert, über das Brandenburger System gelangen ca. 9 t/a in die Gewässer.

In Berlin werden seit ca. 1980 Maßnahmen zur gezielten stofflichen Regenwasserbehandlung ergriffen. Neben Sedimentationsbecken (7) kommen seit ca. 15 Jahren zunehmend Filtrationsanlagen zum Einsatz. Aktuell wird im Einzugsgebiet der Wuhle ein Pilotvorhaben zur Erprobung und Optimierung der Hochleistungssedimentation umgesetzt. Im Land Brandenburg hatten bereits 2011 die Oberste Bauordnungsbehörde und die Oberste Wasserbehörde mit einem gemeinsamen Rundschreiben die Vorrangigkeit dezentraler Maßnahmen zum Rückhalt und zur ortsnahen Bewirtschaftung des Regenwassers festgeschrieben. Um die wasserwirtschaftlich nachteiligen Bebauungsfolgen zu mindern sollen sie, soweit dem keine zwingenden Gründe entgegenstehen, zukünftig regelmäßig zur Anwendung kommen (MIL/MUGV 2011). Es ist vorgesehen, die Regelungswirkung dieses Erlasses in nächster Zeit zu evaluieren.

Ein vorrangiger Handlungsbedarf besteht in der systematischen Bestandsaufnahme und Bewertung bestehender Niederschlagswassereinleitungen in den urban verdichteten Räumen des Berliner Umlandes, so z.B. in den Gebieten Wildau-Königs Wusterhausen, Potsdam, Falkensee oder Velten-Hennigsdorf. Den Bewertungen sind die aktuellen Nachweisverfahren zu Grunde zu legen (Leitparameter  $AFS_{\text{fein}}$ , Flächenklassifikation etc.). Erschwerend tritt hier der Umstand unterschiedlicher Zuständigkeiten sowohl bei der Aufgabenerledigung (Kommunen und/oder Zweckverbände) als auch im wasserrechtlichen Vollzug (Untere Wasserbehörden) hinzu. Ein breit angelegtes Modellvorhaben läuft gegenwärtig in der Landeshauptstadt Potsdam.

#### **Sedimentationsanlagen**

Auf der Grundlage der Empfehlungen von Krauth (1980) wurden bisher in Berlin an sieben Standorten Sedimentationsbecken errichtet. Diese Absetzbecken nach Krauth ermöglichen es, grobe bis mittelfeine Partikel durch Sedimentationsvorgänge infolge einer Strömungsbe-

ruhigung (Aufenthaltszeit 1 Stunde) und aufschwimbare Stoffe durch konstruktive Einbauten im Überlauf zurückzuhalten. Im Beckenzulauf wird durch die Anordnung eines Entlastungsbauwerkes der Bemessungszulauf  $Q_{bem}$  eingestellt. Derartige Becken werden seit 1994 in Berlin wegen des geringen Stoffrückhalts der gelösten Anteile und der Feinpartikel nicht mehr empfohlen. Lediglich Regenrückhaltebecken mit einem großen spezifischen Volumen haben potenziell ein hohes Rückhaltevermögen für gewässerschutzrelevante Feinpartikel. Bisher wird dieses Potenzial allerdings nicht gezielt genutzt, da ausschließlich die hydraulische Retention die Betriebsweise bestimmt. Die Untersuchungen an Berliner Regenrückhaltebecken im Einzugsgebiet der Wuhle sowie halbtechnische Versuche haben gezeigt, dass bei ausreichend langer Sedimentationszeit auch die gewässerrelevanten Feinstpartikel sedimentieren können. Das Verfahren der Hochleistungssedimentation sieht vor, die Niederschlagsabflüsse in einem dicht mit Schilf bestandenen Becken über einen langen Zeitraum (ca. 24 Stunden) zu speichern und dann gesteuert über eine Abflussdrossel an das Gewässer abzugeben. Nach Beckenentleerung trocknen die Sedimente ab und mineralisieren, so dass eine Remobilisierung bei erneuter Beckenfüllung vermieden werden kann. Der Bestand an Regenrückhalteanlagen umfasst Beckenvolumina von 100 bis 400 m<sup>3</sup>/ha, in denen ein abflusswirksamer Niederschlag zwischen 10 und 40 mm ohne Überlauf gespeichert werden kann. Durch die Bepflanzung des Retentionsraumes mit Schilf kann auch beim Überlauf der Anlage eine Reinigungsleistung erwartet werden. Der überlaufende Regenabflussanteil muss den „Schilfwald“ durchströmen, wodurch auch nicht sedimentierbare Partikel abgeschieden werden können. In Berlin existieren etliche große Regenrückhaltebecken, die insgesamt ein sehr hohes, potenziell für die gezielte Reinigung von Regenabflüssen nutzbares Volumen zur Verfügung stellen. Durch moderate Umbaumaßnahmen am Ablaufbauwerk können diese effektiv zu Hochleistungssedimentationsanlagen umgebaut werden.

### **Stoffliche Regenwasserbehandlung über Bodenpassage (Retentionsbodenfilter und Versickerungsanlagen)**

Bislang sind die Regenwasserbehandlungsanlagen weitgehend nach rein emissionsbezogenen Kriterien geplant und vor allem Absetzanlagen, wie Sandfänge und Regenklärbecken, umgesetzt worden. Für immissionsbezogene Anforderungen an die Regenwasserbehandlung, wie z.B. auch ein weitgehender Rückhalt von P und Schwermetallen, sind in den letzten 15 Jahren in Deutschland Filterverfahren in Form der Retentionsbodenfilter eingesetzt worden. Diese eliminieren im Gegensatz zu den bisher eingesetzten Absetzverfahren die Feinpartikel weitgehend (> 90 %) und sind auch bezogen auf gelöste Stoffe wirksam. In jüngster Zeit werden von Herstellern auch kleine dezentrale Filteranlagen angeboten.

Retentionsbodenfilter werden in zunehmendem Maße eingesetzt, wenn hohe oder weitergehende Anforderungen an die Regenwasserbehandlung gestellt werden. Da die Phosphorfracht im Regenabfluss maßgeblich mit der Feststofffracht transportiert wird, können Filteranlagen grundsätzlich sehr hohe Wirkungsgrade aufweisen. Der Feststoffrückhalt von Retentionsbodenfiltern ist nahezu vollständig, so dass Filtrationsanlagen neben dem P-Rückhalt auch eine hohe Wirksamkeit für andere anthropogene Schadstoffe, wie Schwermetalle, PAK und MKW aufweisen. Denn grundsätzlich gilt für die anorganischen und organischen Schadstoffkomponenten, dass auch sie dominant mit den feinen Feststoffen transportiert werden. Tabelle 6 zeigt die mit Retentionsbodenfiltern erreichbaren Ablaufkonzentrationen.

Tabelle 6: Zu- und Ablaufkonzentrationen von Berliner Bodenfiltern mit melioriertem Filtersubstrat (Mittelwert der frachtgewogenen Konzentrationen aus Biesdorf und Adlershof).

	Zulauf in mg/l	Ablauf in mg/l
AFS	136	< 1
CSB <sub>ges</sub>	84	9
BSB <sub>5</sub>	8	1,5
P <sub>ges</sub>	0,26	0,025
P <sub>gel</sub>	0,05	< 0,025

Aufgrund ihres hohen Flächenbedarfs sind Retentionsbodenfilter im urbanen Raum jedoch nur begrenzt einsetzbar. Noch mehr als bei Absetzanlagen erfordert der Einsatz von Retentionsbodenfiltern genaue Kenntnisse zu den Eigenschaften der Einzugsgebiete. Vordergrundig bezieht sich dies auf die zu behandelnde Wassermenge. Eine Überschätzung der Zuflussmengen führt zu erheblichen Betriebsproblemen (z.B. Etablierung des Schilfbewuchses) und Minderleistungen (fehlende Konditionierung der Mikroorganismen). Letztlich kann eine dauerhaft unterbelastete Anlage durch den Ausfall der Schilfvegetation und das Aufkommen von Gehölzen zerstört werden.

Eine Unterschätzung der Zuflussmenge führt zur hydraulischen und stofflichen Überlastung und u.U. ebenfalls zum Totalausfall der Anlage durch Kolmation.

Besonders empfindlich reagieren Bodenfilteranlagen auf dauerhafte Fremdwasserzuflüsse, die ein notwendiges Abtrocknen der Filterfläche vermeiden und so zur Kolmation der Filterfläche führen können. Das Fremdwasser kann zudem nicht nur die Zuflussmenge, sondern auch die P-Fracht beträchtlich erhöhen und ist daher in der Regel mitzubehandeln.

Flächige Versickerungsanlagen tragen wie Retentionsbodenfilteranlagen ebenfalls maßgeblich zur Gewässerentlastung bei, da auch hier die vertikale Durchströmung eines Bodenkörpers die Reinigungseffekte bestimmen. Hinsichtlich ihrer Anordnung sind dezentrale Versickerungsanlagen (z.B. flächige Versickerung im Straßenseitenraum, Versickerungsmulden)

und zentrale Versickerungsanlagen (z.B. Versickerungsbecken) zu unterscheiden. Die Genehmigungsfähigkeit von Versickerungsanlagen für die Reinigung von Oberflächenabflüssen unterschiedlicher Herkunftsflächen ist jeweils landesspezifisch geregelt. Maßgebliches Prüfkriterium bei Straßenabflüssen ist die Durchschnittliche tägliche Verkehrsdichte bzw. die Nutzungsart.

### **Dezentrale Filteranlagen**

In den letzten Jahren wurden verstärkt kleine, vorwiegend unterirdisch angeordnete und hoch belastete Filteranlagen entwickelt, die die Abflüsse von kleinen EZG bis ca. 500 m<sup>2</sup> Fläche reinigen sollen. Bislang dienen diese Anlagen vorwiegend als Vorstufe vor unterirdischen Versickerungsanlagen, um mit dieser Vorbehandlung gemäß DWA-A 138 (DWA 2005) auch stärker verunreinigte Abflüsse in Versickerungsschächten- und Rigolen versickern zu können. Als Vorteil dieser dezentralen Filteranlagen wird jedoch auch gesehen, dass man aus einem größeren Einzugsgebiet gezielt die Abflüsse stofflich hoch belasteter Flächen (z.B. stark frequentierte Straßenflächen) vorbehandeln kann, bevor der Niederschlagsabfluss im Regenwasserkanal eines größeren Einzugsgebietes abgeleitet und dann ggf. ohne weitere Behandlung in ein Gewässer eingeleitet wird. Die Trennung zwischen behandlungsbedürftigen und nicht behandlungsbedürftigen (Straßen)flächen innerhalb von urbanen Gebieten wird allerdings zunehmend in Frage gestellt. Die bislang nur in geringem Umfang vorliegenden Betriebserfahrungen (z.B. Sommer & Nikisch 2009, Tegge 2009) weisen vor allem auf Probleme mit dem hohen Feststoffanfall bei kleinen Einzugsgebieten, der Verstopfungs- und Kolmationsgefahr sowie den notwendigen kurzen Reinigungsintervallen der Anlagen hin. Die eingesetzten Filtereinheiten sind hydraulisch extrem belastet. Ein zentrales Versickerungsbecken hat eine Versickerungsfläche von ca. 1 % bis 5 % der angeschlossenen abflussliefernden Fläche, bei Versickerungsmulden sind es 5 bis 15 %. Demgegenüber verfügen Filterelemente in einem Schacht lediglich über eine Filterfläche von weniger als 0,2 % der angeschlossenen Fläche. Aufgrund von Erfahrungen aus einem Hamburger Einzugsgebiet wird eine Reinigungshäufigkeit für die Grobschmutzfänge vor den eigentlichen Filtern von 4 bis 6-mal pro Jahr vorgeschlagen (Sommer & Nikisch 2009).

Der erzielbare Stoffrückhalt unter realen Bedingungen ist bisher nur wenig untersucht. Zurzeit wird am Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin in enger Kooperation mit der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbh, dem Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB), den Berliner Wasserbetrieben (BWB) und der Berliner Stadtreinigung (BSR) das UEPII/2-Projekt „Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen“ bearbeitet. Es werden verschiedene dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen auf einem BSR-Betriebshof in Berlin-Lichtenberg sowie in der Clayallee in Berlin Wilmersdorf miteinander verglichen.

Untersucht werden Anlagen, die direkt im Straßenablauf eingebaut werden können oder diesen ersetzen. Es werden zwei Anlagen mit Substratfilter (INNOLET®-G, Fa. Funke Kunststoff-GmbH und Budavinci, Fa. MeierGuss Sales & Logistics GmbH & Co. KG) sowie eine Anlage ohne Filtereinheit (Separationsstraßenablauf ACO SSA) verglichen. Zudem wird der Nassgully (mit Schlammfang) mit und ohne Schlammeimer getestet. Neben der Feststellung des Betriebsaufwandes wird auch die Reinigungsleistung der einzelnen Anlagen untersucht.

Die Messergebnisse werden zurzeit noch ausgewertet und am Ende des Projektes im September 2015 zur Verfügung stehen. Die vorläufigen vergleichbaren Messdaten zeigen, dass z.B.  $P_{\text{gesamt}}$  im Mittel 40 % mit den drei getesteten dezentralen Anlagen zurückgehalten werden kann (min: 10 %, max: 65 %). Die  $P_{\text{gesamt}}$ -Ablaufwerte der Anlagen lagen im Mittel bei 0,62 mg/l (min: 0,13 mg/l, max: 2,48 mg/l). Der Betriebs- bzw. Wartungsaufwand ist stark von der Bauart der Anlagen abhängig.

### **Künftige Maßnahmen zur stofflichen Regenwasserbehandlung**

Um das Potenzial der stofflichen Belastung der Gewässer durch Neubauvorhaben nicht weiter zu erhöhen, sind Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung konsequent zu fordern. Für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung zur Verringerung des Oberflächenabflusses von den Baufeldern steht eine Vielzahl von Maßnahmenoptionen zur Verfügung, die je nach örtlichen Rahmenbedingungen und spezifischer Ausrichtung eingesetzt werden kann. Bei konsequenter Umsetzung kann der Oberflächenabfluss auf ein Mindestmaß reduziert werden. Für den unvermeidlichen Abfluss stehen ggf. semizentrale bis dezentrale Reinigungstechnologien zur Verfügung.

Die bisherigen Maßnahmen zur stofflichen Regenwasserbehandlung im Bestand müssen in Schwerpunkträumen verstärkt werden. Die Verringerung des Oberflächenabflusses durch die verschiedenen Möglichkeiten der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ist die grundsätzlich zu präferierende Strategie, um die Gewässer vor hydraulischen und stofflichen Belastungen zu schützen. Im Rahmen von Neubauvorhaben lässt sich diese Forderung besser umsetzen, als im Bestand. Um signifikante Reduktionsziele zu erreichen, sind daher in den Bestandsgebieten neben dezentralen Maßnahmen zentrale oder semizentrale Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung erforderlich. **In Berlin wird das strategische Ziel verfolgt, durch eine konsequente Umsetzung von dezentralen, semizentralen und zentralen Maßnahmen der stofflichen Regenwasserbehandlung die Emissionen mittel- langfristig um 50% (AFS, Schwermetalle, PAK, TP) zu reduzieren (SenStadtUm 2001).** Neben der Ertüchtigung von bestehenden Regenrückhaltebecken zu effektiven Hochleistungs-sedimentationsanlagen ist die Errichtung von Retentionsbodenfiltern oder ggf. alternative Lösung wie „Wetland-Technology“ zu forcieren. Schwerpunkttraum für Maßnahmen in den nächsten



Jahren ist der Bereich der Dahme/Vorstadtspreese einschließlich der angrenzenden Einzugsgebiete von Wuhle, Marzhan-Hohenschönhausener Grenzgraben und Ruschegraben. Für dieses Gebiet liegen Voruntersuchungen und Vorstudien für Maßnahmen der zentralen Regenwasserbehandlung vor.

Für weitere Gebiete sind die entsprechende Konzepte und Vorstudien zu veranlassen.

### 3.3.2 Mischsystem

Zur Minderung von Mischwasserüberläufen (siehe Teil 2 des Nährstoffreduzierungskonzeptes Teil 2) absolviert das Land Berlin gemeinsam mit den Berliner Wasserbetrieben ein umfassendes Bauprogramm. Das Programm ist darauf ausgerichtet, durch Schwellenanhebungen, Kanalbewirtschaftungsbauwerke, Stauraumkanäle und Speicherbecken den Rückhalt von Mischwasser zu erhöhen und somit die Überlaufmengen in die Gewässer zu mindern. Nach einem Regenereignis wird das gespeicherte Mischwasser dem Klärwerk zu Reinigung zugeleitet.

Ziel des Mischwassersanierungsprogramms ist es, das Entlastungsvolumen und die Entlastungsfrachten zu reduzieren. Zielgrößen sind

- Entlastungsrate Abflussvolumen: < 25 % des Jahresregenabflusses im Mittel über 20 Jahre
- Entlastungsrate Frachten: < 20 % der Gesamtfracht im Jahresregenabfluss im Mittel über 20 Jahre (für CSB, BSB<sub>5</sub>, AFS)<sup>2</sup>

Als Referenz für die Zielstellung dient ein fiktives Trennsystem. Es dürfen durch die Mischwasserüberläufe nicht mehr als 20 % der Schmutzfrachten eines fiktiven Trennsystems (= Gesamtfracht im Jahresregenabfluss) eingeleitet werden. Dies bedeutet, dass 75 % des mittleren Jahresregenabflusses und 80 % der mittleren Jahresfrachten im Kanalnetz zurück gehalten werden müssen. Mit diesen Vorgaben wird aus einem sanierten Mischwassereinzugsgebiet eine geringere Schmutzfracht als aus einem Regenwassereinzugsgebiet der Trennkanalisation ohne Behandlungsanlage direkt in die Gewässer emittiert. Die Reduzierung des Entlastungsvolumens und der Entlastungsfrachten erfolgt durch Speicherung im Kanalnetz und Reinigung auf den Klärwerken. Die Speicherung kann sowohl im bestehenden Kanalnetz (Schwellenanhebungen an den Regenüberlaufbauwerken, Kanalbewirtschaftungsbauwerk) als auch in zusätzlich zu schaffenden Speicherbauwerken (Stauraumkanal, Regenüberlaufbecken) erfolgen. Um die Zielvorgaben einhalten zu können, ist für alle 18 Mischwassereinzugsgebiete ein Gesamtspeichervolumen von 308.000 m<sup>3</sup> bereit zu stellen. Am Anfang der Umsetzung des Mischwassersanierungsprogramms standen ca. 130.000 m<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> CSB: Chemischer Sauerstoffbedarf; BSB<sub>5</sub>: Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen; AFS: Abfiltrierbare Stoffe

Speichervolumen in der Mischwasserkanalisation zur Verfügung. Im Rahmen des Mischwassersanierungsprogramms wurden bis zum Ende des Jahres 2013 rund 100.000 m<sup>3</sup> Speichervolumen zusätzlich errichtet bzw. aktiviert, so dass aktuell ein Gesamtspeichervolumen von rund 230.000 m<sup>3</sup> im Kanalnetz zur Verfügung steht. Bis zur Erreichung der Zielgröße von 308.000 m<sup>3</sup> bis 2020 sind noch weitere ca. 80.000 m<sup>3</sup> Speichervolumen erforderlich.

Phosphor ist kein expliziter Nachweisparameter im Rahmen der Schmutzfrachtberechnungen. Für die Berechnung der P-Frachten im sanierten Zustand (2020) wurde die gemittelte P-Konzentration der Mischwasserüberläufe aus einem Messprogramm des Jahres 2010 in einem sanierten Mischwassereinzugsgebiet in Wedding, Seestraße mit 1,6 mg/l zugrunde gelegt. Die Entlastungsmengen der Teilgebiete liegen als Ergebnis hydrodynamischer Langzeitberechnungen für den Sanierungszustand vor. Demnach beträgt die Fracht durch Mischwasserüberläufe nach Abschluss aller Maßnahmen des Bauprogramms ca. 6,5 t/a; der Frachtrückgang gegenüber dem Zustand von 2009 beträgt ca. 48 %. Die Tabelle 7 zeigt den aktuellen Umsetzungsstand und die aktuellen Entlastungsfrachten für die Einzugsgebiete.

Tabelle 7: Stand der Sanierung, aktuelle Entlastungsvolumina und Entlastungsfrachten des Berliner Mischsystems im langjährigen Mittel (Stand 2014)

Pumpwerkeinzugsgebiet Entlastungssituation Jahr 2014 abgeleitet aus Langzeitsimulation über 20 Jahre	Grad der Sanierung bezogen auf Speichervolumen  2014	Entlastungs- abflusssumme [m <sup>3</sup> /a]  2014	Umgesetzte Maßnahmen/ Bemerkungen	Entlastungsfracht Pges [t/a]  2014
APw Kreuzberg-RS I, Paul-Linke-Ufer	100%	191.263	Umbau Regenüberläufe	0,31
HPw Kreuzberg-RS II, Gitschi- ner Straße	50%	413.718	Umbau Regenüberläufe	0,77
APw Kreuzberg-RS III, Schöne- berger Straße	41%	174.028	SRK Ebertstraße inkl. Bewirtschaftung RÜ-Kanal Lennéstr. (1994)	0,33
APw Mitte RS IV, Scharnhorst- straße	19%	909.447	RÜ 64 (2007)	1,82
HPw Friedrichshain RS V, Holzmarktstraße	57%	459.100	Str. der Pariser Kommune (2003)	0,83
APw Tiergarten RS VII, Genti- ner Straße	100%	167.170	RÜ-Umbau (2007)	0,27
APw Tiergarten RS VIII, Alt-Moabit	100%	307.103	Beckenbeschickung neu	0,49
APw Wedding RS IX, Seestra- ße	100%	246.626	Senkwehr, Kippschwellen	0,39
9APw Wedding RS X, Beller- mannstraße	0%	568.215		1,19
APw Prenzlauer Berg RS XI, Erich-Weinert- Straße	0%	346.939		0,73
APw Friedrichshain RS XII, Rudolfstraße	56%	304.054	Str. der Pariser Kommune (2003)	0,55
APw Neukölln I, Schandauer Straße	95%	328.947	Umbau RÜ, SRK Wei- gandufer incl. interne RÜ	0,53
APw Neukölln II, Sonnenallee	100%	86.991	Umbau RÜ, Stauraumka- nal Lahnstr.	0,14
HPw Spandau I, Betckestraße	100%	70.599	Umbau RÜ, Kippschwelle	0,11
HPw Wilmersdorf, Hohenzol- lerndamm	67%	640.393	Inbetriebnahme RÜB, Neubau 2 RÜ, Umbau von 6 RÜ; Erweiterung M- Kanal, Rückbau RÜ-Kanal (2009), RÜ12= 32,80müNN	1,13
HPw Charlottenburg I, Sophie-Charlotten-Straße	22%	811.948	Drosseleinrichtung, Neu- bau RÜ 49 (2010)	1,62
APw Charlottenburg III, Non- nendamm	100%	64.841	provisorischer Umbau RÜ 12 (Siemensdamm)	0,10
APw Ruhleben, Freiheit	0%	13.917		0,03
<b>Summe</b>		<b>6.105.299</b>		<b>11,4</b>

Weitere Maßnahmen zum Mischwasserrückhalt oder zur Mischwasserbehandlung über die aktuell geltenden Sanierungsanforderungen hinaus sind perspektivisch für einzelne Gewässerabschnitte erforderlich. Das Bauprogramm ist maßgeblich darauf ausgerichtet, den Mischwasserrückhalt zu erhöhen, um somit akute Wirkungen auf die Gewässer durch Mischwasserüberläufe (Verhinderung von Sauerstoffdepressionen) zu verringern. Es zeichnet sich ab, dass die Anzahl fischkritischer Zustände auch nach Abschluss des Programms in einzelnen Gewässerabschnitten weiter verringert werden muss. Die konzeptionellen Planungen für eine selektive Fortschreibung des Programms beginnen in 2016/17.

Durch ergänzende Maßnahmen in Teilgebieten wird die stoffliche Belastung der Gewässer perspektivisch weiter verringert. Eine Quantifizierung dieser perspektivischen Entlastungseffekte kann aktuell noch nicht erfolgen.

Zu berücksichtigen ist, dass mit der Überleitung des Mischwassers zu Kläranlagen grundsätzlich eine Mehrbelastung des Kläranlagenzulaufs und eine Stofffrachtverlagerung einhergehen. In Abhängigkeit der stoffspezifischen Leistungsfähigkeit der Kläranlage ist über die direkte Ableitung in die Gewässer eine Stofffrachtzunahme verbunden. Entsprechende Mindestnachweise sind durch den Anlagenbetreiber in Anlehnung an das Arbeitsblatt A-128 (DWA 1992) zu erbringen. So dürfen die Gesamtemissionen aus Mischwasserüberläufen und Kläranlagen nicht größer sein, als die Gesamtfracht im Jahresregenabfluss im betreffenden Pumpwerkseinzugsgebiet. Tatsächlich liegt sie aber deutlich niedriger. Die erforderlichen Nachweise beschränken sich auf die CSB, BSB<sub>5</sub> und AFS-Fracht. Eine Bilanzierung der mischwasserbürtigen Frachten der Kläranlagen für Phosphor liegt nicht vor. Unter der vereinfachten Annahmen, dass ca. 10 Mio. m<sup>3</sup> Mischwasser zum Klärwerk gefördert werden und die Konzentration im Mischwasser 2,1 mg/l TP beträgt, liegt die Gesamtfracht zum Klärwerk bei ca. 20 t/a TP. Die aktuelle durchschnittliche Eliminationsleistung der Klärwerke für Phosphor liegt bei größer 90%. Daraus resultiert eine zusätzliche Gesamtfracht in die Gewässer infolge von Mischwasserüberleitungen zum Klärwerk von ca. 2t/a TP. Unter der Annahme einer nochmaligen Steigerung der Leistungsfähigkeit um weitere 80 % infolge der Einführung der Flockungsfiltration werden die Gewässer nochmal ca. 1,5t/a TP entlastet.

Die Überleitung von Mischwasser zum Klärwerk stellt somit grundsätzlich eine effiziente Maßnahme zur Phosphor-Gewässerentlastung bei. Diese Maßnahme hat aber vor dem Hintergrund der begrenzten hydraulischen Leistungsfähigkeit aller Anlagenteile (Pumpwerke, Druckleitungen, Klärwerke) ihre praktischen, verfahrenstechnischen und ökonomischen Grenzen.

### 3.4 Förderung des Nährstoffrückhalts im Gewässersystem

Neben den Maßnahmen, die direkt an den verschiedenen Eintragspfaden (vgl. Kap. 3.1-3.3) ansetzen, stellen auch Maßnahmen zur Förderung der Nährstoffretention im Gewässersystem einen wichtigen Ansatzpunkt zur Minderung der Nährstoffbelastung der Gewässer dar. Bei den Maßnahmen zur Förderung der Retention ist zu unterscheiden, ob durch sie die Nährstoffe entweder in Ihrem Transport verzögert und zeitweise bis langfristig zurückgehalten (temporäre bis dauerhafte Retention) oder ganz aus dem System entfernt werden. Phosphor kann im Fließgewässer zumindest temporär durch Adsorption und Assimilation im Biofilm und in Pflanzen, durch Sedimentation in hydraulisch beruhigten Zonen im Gewässer sowie auch längerfristig bis dauerhaft durch Sedimentation in der Aue zurückgehalten werden.

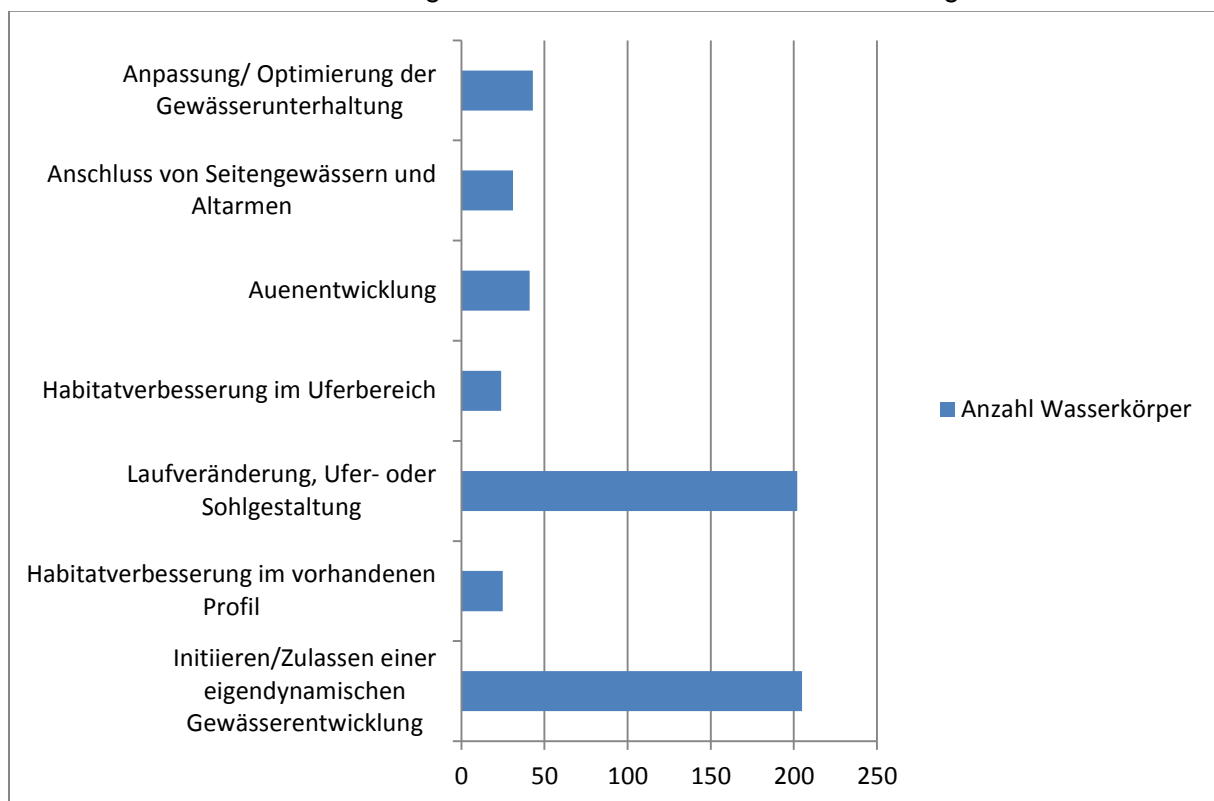
Die Quantifizierung des Nährstoffrückhalts in Gewässern und Auen stellt weiterhin eine Herausforderung dar. Die Retention von Phosphor durch Sedimentation in Auen wird durch eine Vielzahl an Faktoren bestimmt, u.a. der mitgeführten Schwebfracht, der Häufigkeit und Dauer der Hochwasserereignisse, der Topographie und Vegetationsbedeckung, der Größe der Aue sowie ihren Bodeneigenschaften (LAWA 2014; Schulz-Zunkel et al. 2012). Schulz-Zunkel et al. (2012) schätzen potentielle Phosphorretentionsraten durch Sedimentation in Flussauen über eine aus der Literatur abgeleitete Faustzahl von 1 kg P ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Trepel 2009) in Kombination mit Rauigkeitsbeiwerten unterschiedlicher Landnutzungen ab und ermitteln so ein Retentionspotential von 0,5 kg P ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (sehr geringe Rauigkeit, z.B. Grünland) bis 5 kg P ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (sehr hohe Rauigkeit, z.B. Wald). Diese eher konservativ geschätzten Werte können sich ereignisbezogen deutlich erhöhen. Für die Retention von Phosphor im Fließgewässer durch Sedimentation im Uferbereich schätzen die Autoren auf Basis einer Literaturlauswertung eine Faustzahl von 50 kg P ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ab. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei der Retention im Uferbereich vorwiegend um einen temporären Rückhalt von Phosphor handelt. Ein Weitertransport bzw. Wiedereintrag von zurückgehaltenem Phosphor ist durch Remobilisierung von Sedimenten sowie auch durch Rücklösung von Phosphor aus den Fluss- sowie Auesedimenten möglich.

Die Fließgewässer des betrachteten Einzugsgebiets weisen nahezu flächendeckend signifikante Belastungen durch Abflussregulierungen und morphologische Veränderungen auf. Durch die Folgen dieser wasserbaulichen Eingriffe, wie u.a. die Abkopplung und ökologische Degradation der Auenbereiche und Strukturarmut, wurde das Retentionspotential erheblich reduziert.

Maßnahmen zur Verbesserung der Nährstoffretention im Gewässersystem stellen somit eine maßgebliche Stellschraube zur Minderung der Nährstoffbelastungen in den Gewässern dar. Die wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der längerfristigen bis dauerhaften Phosphorre-

tention im Gewässersystem stellt die Wiederanbindung von Auen dar. Für die zeitweise Speicherung von Phosphor sind darüber hinaus Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur sowie zur Anpassung und ökologischen Optimierung der Gewässerunterhaltung (und somit u.a. Vergrößerung der Aufwuchsfläche (Biofilmläche) und Verbesserung der Sedimentationsbedingungen) wichtige Ansatzpunkte. Im betrachteten Handlungsraum sind für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum zahlreiche Maßnahmen zur ökologischen Entwicklung von Gewässern und Auen in das Maßnahmenprogramm aufgenommen worden. Abbildung 7 gibt einen Überblick über die an den Wasserkörpern vorgesehenen Maßnahmentypen.

Abbildung 7: Im zweiten Bewirtschaftungszeitraum vorgesehene Maßnahmen zur ökologischen Entwicklung von Gewässern und Auen im Handlungsraum



### P-Retention in den Seesedimenten

Zur Begrenzung der Phytoplanktonentwicklung in Flusseen ist die Kenntnis des Faktorengefüges, das die Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten steuert, erforderlich. Von Hupfer & Kleeberg (2011) konnte gezeigt werden, dass sich bei etwa gleichbleibender, jedoch abflussabhängiger P-Retention im Sediment die P-Freisetzung in Flusseen proportional zur Lastsenkung verringert. Zur Formulierung der Ziele bzgl. einer weiteren Lastsenkung ist entscheidend, welcher Anteil der saisonalen Erhöhung der P-Konzentration tatsächlich auf die Rücklösung aus dem Sediment zurückzuführen ist. Wie o.g. Studie anhand von Massebilan-

zen zeigt, ist die langjährige jährliche P-Retention von ca. 13% am P-Import eher gering, d. h. der Einfluss der Sedimente auf die Wasserqualität ist eher marginal (Hupfer & Kleeberg 2011). Relativ hoch ist der Anteil der freigesetzten Nährstoffe aus dem im Jahresverlauf sedimentierten Planktontons (Detritus) durch Mineralisierung im Sommer. Bei gesicherten Kenntnissen über Transport, Sedimentation und Mineralisierung der Planktonbiomasse, ist eine Steuerung dieser Prozesse in der Jahresdynamik mit dem Ziel einer Minimierung des Phosphors im Sommer denkbar.

Die Untersuchungen zum Gesamtkomplex, erweitert um Modellansätze zum temperaturabhängigen Abbau organischen Materials, werden in 2016 fortgesetzt.

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt NITROLIMIT wurde 2012 für die Havel der Einfluss des Nitrates auf die Rücklösung von Phosphor aus den Sedimenten untersucht. Dabei hat sich bestätigt, dass unter anaeroben Bedingungen die Phosphorrücklösung bei Anwesenheit von Nitrat deutlich geringer ist (Grüneberg et al. 2012).

### **3.5 Bilanzierung der Wirkung von Maßnahmen (Wirkungsabschätzung) – Regionales Nährstoffmodell Brandenburg**

Um Ursachen für übermäßige Nährstoffeinträge identifizieren und entsprechend wirksame Maßnahmen ableiten zu können, ist es notwendig, Nährstoffeinträge in die Gewässer Berlin-Brandenburgs über die verschiedenen Eintragspfade zu quantifizieren. Ergebnisse aus der Nährstoffmodellierung mittels MONERIS standen für die aktuelle Bilanzierung des Istzustandes und von Planzuständen aus methodischen Gründen nicht zur Verfügung. Zur Abbildung dieser Nährstoffeinträge dient daher die landesweite Bilanzierung der Haupteintragspfade für Gesamtstickstoff (TN) und Gesamtphosphor (TP) mit Hilfe des Regionalen Nährstoffmodells Brandenburg (LUGV 2014) für Sickerwasser, Abschwemmung, Erosion, Dränagen, Deposition, Abwasser aus Kleingärten, undichten Gruben und Kleinkläranlagen sowie Kommunalen Kläranlagen.

Basis für die Bilanzierung der Phosphor- und Stickstoffeinträge in die Gewässer Berlins und Brandenburgs sind zum einen GIS-Daten, die spezielle Informationen wie Bodenbeschaffenheit, Landnutzung oder Grundwasserstand liefern. Zum anderen wurden Literaturwerte genutzt, um notwendige Parameter wie Phosphorgehalt im Oberboden, Nährstoffgehalte im Sickerwasser u.ä. festzulegen. Außerdem wurden Daten der Kläranlagenbetreiber zu den Nährstofffrachten verwendet.

Die GIS-Daten wurden räumlich mit den Einzugsgebieten der Gewässer verschnitten. Aus den Schnittflächen mit entsprechend verschiedenen Eigenschaften hinsichtlich der GIS-Eingangsdaten konnten anschließend in Kombination mit den Parameterwerten aus der Literatur pro Schnittfläche Nährstoffausträge (Frachten in kg/a) berechnet werden. Diese wurden

pro Einzugsgebiet aufsummiert und dem entsprechenden Fließgewässerabschnitt zugeordnet. Anschließend wurden die Frachten der einzelnen Gewässerabschnitte entlang des Fließverlaufes aufsummiert und die gewässerinterne Retention berücksichtigt. Im Ergebnis ist es möglich, für die einzelnen Wasserkörper Frachten und Konzentrationen für TN und TP sowie die Anteile der Eintragspfade an diesen Stoffmengen anzugeben.

### **Ergebnisse exemplarischer Wirkungsabschätzungen**

Mit dem regionalen Nährstoffmodell Brandenburg wurde neben der Bilanzierung des aktuellen Zustands auch eine erste exemplarische Wirkungsabschätzung ausgewählter effektiver Maßnahmen vorgenommen. Als effektive Maßnahme für einen ersten Modelllauf wird die P-Reduzierung in allen Kläranlagen der Größenklasse 5 des Handlungsraumes gewählt. Für die Ermittlung der Effekte dieser Maßnahmen wurden 2 Maßnahmenszenarien gerechnet:

1. Szenario: Reduzierung der P-Emissionen der 8 Kläranlagen (GK5) im Handlungsraum auf 150 µg/l Gesamtphosphor im Jahresmittel.
2. Szenario: Reduzierung der P-Emissionen der 8 Kläranlagen (GK5) im Handlungsraum auf 100 µg/l Gesamtphosphor im Jahresmittel.

Für die Szenarienberechnung im Nährstoffmodell wurden aus den Reduzierungsanforderungen von 150 µg/l TP und 100 µg/l TP und den Schmutzwassermengen aus Kap. 3.2 Nährstofffrachten berechnet. Das Klärwerk Schönerlinde wurde wegen der Effekte auf der OWA Tegel nicht berücksichtigt.

Tabelle 8 und 9 sowie Abbildung 8 zeigen die Effekte auf, die bereits durch die beiden Szenarien erreicht werden können. Herangezogen für den Rechengang wurde das Jahr 2011. Die Berechnung für beide Szenarien ergeben bereits P-Konzentrationen im Bereich der Orientierungswerte. Zu berücksichtigen ist, dass die Jahre 2010 bis 2013 insgesamt sehr nasse Jahre mit hohen Abflüssen waren, so dass die Ausgangskonzentration am Pegel Havel-Ketzin schon nahe am Orientierungswert lag. Hier ist in Abhängigkeit der hydrologischen Verhältnisse von einer höheren Variabilität auszugehen. Ein Vergleich der Frachten zeigt, dass mit beiden Szenarien bereits hohe Frachtrückgänge erzielt werden können, die der Ziel-Fracht nahe kommen. Die Differenzfracht liegt lediglich zwischen 20 t/a und 40 t/a. Für die weitere Bilanzierung der Effekte durch Maßnahmen in anderen Herkunftsbereichen sind weitergehende Berechnungen bzw. Abschätzungen der Maßnahmeneffekte künftig erforderlich. Diese werden den Evaluierungs- und Fortschreibungsprozess des Nährstoffreduzierungskonzeptes stetig begleiten.

Hierzu zählen insbesondere die Verbesserung und Erweiterung der Quantifizierung

1. der Maßnahmen auf kleinen bis mittelgroßen Kläranlagen,
2. der Effekte einer veränderten Düngeverordnung,
3. der Wirkung von freiwilligen Agrarumweltmaßnahmen,



4. des Stoffrückhalts durch Maßnahmen der Misch- und Regenwasserbehandlung,
5. die Effekte des Stoffrückhalts im Gewässersystem und durch Maßnahmen zur Erosionsminderung sowie
6. das Wirken der Seesedimente als Nährstoffquelle oder Nährstoffsenke.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass durch zunehmende diffuse Einträge an Eisen in das obere und mittlere Spreegebiet der P-Rückhalt gezielt durch Managementmaßnahmen zur Verringerung der Verockerungserscheinungen (u.a. durch Aktivierung von Grubenwasserreinigungsanlagen) oder durch verstärkte Retention im Flusssystem (u.a. Talsperre Spremberg) verstärkt wird. Diese Effekte lassen sich aktuell noch nicht quantifizieren, werden aber über sehr lange Zeiträume Wirkungen entfalten.

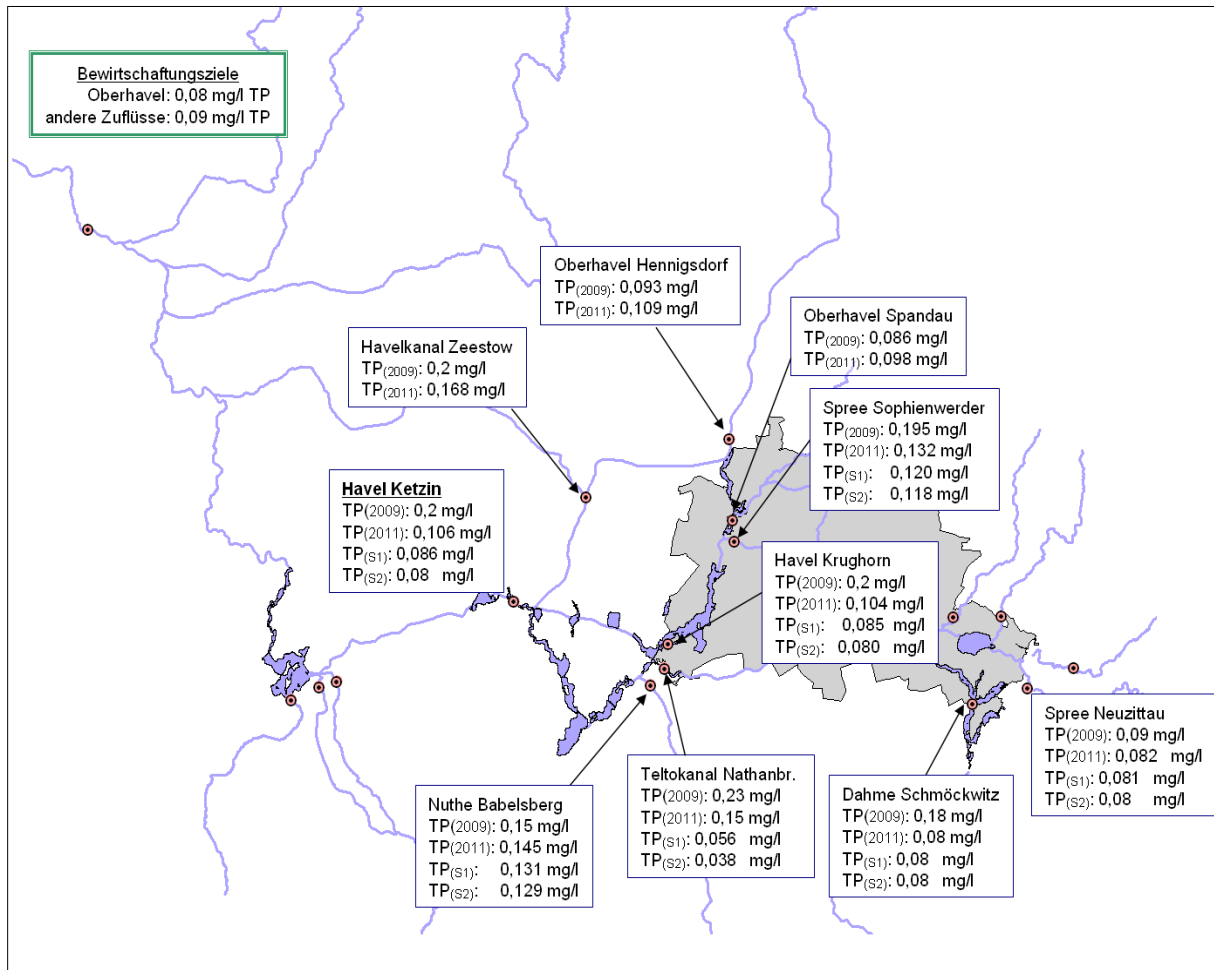
Tabelle 8: Aktuelle TP-Emissionen und deren Reduzierung durch Maßnahmen nach Szenario 1 und 2 für die Hauptmessstelle Havel Ketzin und andere wichtige Bilanz- und Trendmessstellen im Wirkungsraum des Nährstoffreduzierungskonzeptes.

Name der Messstelle (Einzugsgebiet)	Emission TP (t/a) 2011	Reduktion TP (t/a) Szenario 1	Reduktion TP (t/a) Szenario 2
Ketzin (Havel)	367	68	88,5
Schmöckwitz (Dahme)	30	0	0
Babelsberg (Nuthe)	36,6	3,5	4
Spandau (Oberhavel)	40	0	0
Zeestow (Havelkanal)	8,8	3	4
Neuzittau (Spree)	88,6	1,6	1,9
Sophienwerder (Spree)	184	16,5	19
Havelberg (Havel)	467	68,5	89,5
Nathanbrücke (Teltowkanal)	57	35	42

Tabelle 9: Aktuelle TP-Frachten und deren Reduzierung durch Maßnahmen nach Szenario 1 und 2 für die Hauptmessstelle Havel Ketzin und andere wichtige Bilanz- und Trendmessstellen im Wirkungsraum des Nährstoffreduzierungskonzeptes.

Name der Messstelle (Einzugsgebiet)	Fracht TP (t/a) 2011	Reduktion TP (t/a) Szenario 1	Reduktion TP (t/a) Szenario 2	Zu reduzierende Fracht nach Konzept Phase 1(S. 16 Abb. IV-3))
Ketzin (Havel)	180	33	43	108 t/a
Spandau (Oberhavel)	39	0	0	4 t/a
Babelsberg (Nuthe)	34	3	3	13 t/a
Neuzittau (Spree)	30,5	0,1	0,2	
Sophienwerder (Spree)	106	10	11	65 t/a
Nathanbrücke (Teltowkanal)	41	26	31	32 t/a

Abbildung 8: Prognostizierte TP-Konzentrationen an wichtigen Messstellen im Wirkungsraum des Nährstoffreduzierungskonzeptes durch Maßnahmen an Großklärwerken ( $TP_{(2009)}$  = Mittelwert Gesamtposphor 2009,  $TP_{(2011)}$  = Mittelwert Gesamtposphor 2011,  $TP_{(S1)}$ =Szenario 1,  $TP_{(S2)}$ =Szenario 2).



Im Ergebnis der Wirkungsabschätzung der beiden Szenarien wird sichtbar, dass die im Gewässer an der Hauptmessstelle Ketzin erzielten Konzentrationen eng beieinander liegen. Zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele an diesem Pegel wäre die Umsetzung des Szenario 1 ausreichend, da auch noch Entlastungseffekte durch Lastsenkungen in anderen Herkunftsbereichen zu berücksichtigen sind. Für Zwischenbilanzpegel sind je nach Wirkintensität der Klärwerkseinleitungen differenziertere und ggf. auch geringere mittlere Konzentrationen (Szenario 2) erforderlich.

#### 4 Weitere Rahmenbedingungen für die Wirkungen und Fortschreibung der Nährstoffminderungsstrategie im Spree-Havel-Raum

##### 4.1 Novellierung der Düngeverordnung

Die Düngeverordnung, die die europäische Nitratrichtlinie umsetzt, befindet sich derzeit in der Novellierung. Phosphoreinträge können über die Düngeverordnung durch Regelungen

zur standort- und bedarfsgerechten Düngung sowie durch Regelungen zu Gewässerrandstreifen und Abständen zwischen Gewässer und landwirtschaftlichen Flächen vermindert werden. Darüber hinaus können Phosphoreinträge im Rahmen einer novellierten Düngeverordnung durch (1) eine flächendeckende Anpassung der Regeln der guten fachlichen Praxis an den Stand der Technik, durch (2) weitergehende Bewirtschaftungsregeln bzw. eine stärkere Überprüfung der einzuhaltenden Regeln in besonders bedeutsamen Belastungsgebieten sowie durch (3) eine strengere Verbindlichkeit der Vorschriften für den Anwender und damit einer rechtlichen Vollzugsmöglichkeit (Cross Compliance, Ordnungsrecht) gemindert werden (LAWA 2015b). Durch eine LAWA-Arbeitsgruppe „Prognose Düngeverordnung“ wurde der Referentenentwurf der novellierten Düngeverordnung vom 18. Dezember 2014 geprüft. Die Prüfung kommt zu dem Ergebnis, dass die Wirkung der geplanten Änderungen der Düngeverordnung auf die Minderung der P-Einträge in Oberflächengewässer aktuell noch schwer einzuschätzen ist. Da die meisten landwirtschaftlichen Böden Deutschlands mindestens gut mit Phosphor versorgt sind, können sich Regelungen zur Düngung nur mittelfristig auswirken, da die Phosphorvorräte im Boden sich nur langsam verringern werden. Abstandsauflagen zu Gewässern wirken sich schneller aus, da sie physikalisch und somit ad-hoc wirken. Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsbedingungen der Einzugsgebiete kommt die Kleingruppe zu dem Ergebnis, dass sich die neuen Regelungen lokal unterschiedlich auswirken werden. Sofern die in der novellierten Düngeverordnung festgeschriebenen Regeln für Düngeplanung und Nährstoffmanagement wirklich eingehalten werden, wird diese insgesamt einen wichtigen Beitrag zur Minderung der Phosphoreinträge in Grund- und Oberflächengewässer leisten (LAWA 2015b). In Brandenburg machen die P-Einträge über Erosion 11% der gesamten P-Einträge aus, womit durch die Umsetzung der Düngeverordnung in Brandenburg Reduzierungen der P-Einträge erreicht werden. Zur Verwirklichung der Ziele der WRRL sind aber weitergehende Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffbelastungen aus der Landwirtschaft erforderlich.

#### **4.2 Auswirkungen der Klimaänderungen auf Nährstoffeinträge**

Bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Nährstoffeinträge in die Gewässer sind auch die möglichen Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Im Rahmen des Projektes INKA BB (Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin) wurden Klimaprojektionen für die Region Berlin-Brandenburg mit dem statistisch basierten regionalen Klimamodell STARS durchgeführt. Die zukünftige mögliche Klimaentwicklung für den Zeitraum 2007/60 (Gesamtzeitraum der Klimasimulation) stellt sich in der Region Berlin-Brandenburg wie folgt dar (zu den detaillierten Modellergebnissen s. Werner 2014): Die Modellergebnisse zeigen eine deutliche Zunahme der Lufttemperatur an. Die Nieder-

schlagssumme ändert sich in den ersten 30 Jahren nicht, erst danach geht sie zurück. Die Klimatische Wasserbilanz nimmt insgesamt und auch bereits in den ersten 30 Jahren ab, was der generellen Zunahme der Lufttemperatur und der Globalstrahlung geschuldet ist. Bei der Betrachtung der Unterschiede Winter/Sommer zeigen die Modellergebnisse, dass die Lufttemperatur im Winter stärker ansteigt als im Sommer. Der Niederschlag nimmt im Sommer ab, im Winter zu und im Gesamtjahr leicht ab. Gleiches gilt für die Klimatische Wasserbilanz. Insgesamt wirken sich diese Veränderungen in den meteorologischen Größen deutlich auf die Wasserverfügbarkeit aus. Den Modellergebnissen zufolge muss insgesamt von einem Rückgang des Wasserdargebots in der Region Berlin-Brandenburg ausgegangen werden. Dies schließt Starkniederschläge nicht aus, wofür aber die Modellergebnisse keine Tendenzen zeigen (Werner 2014).

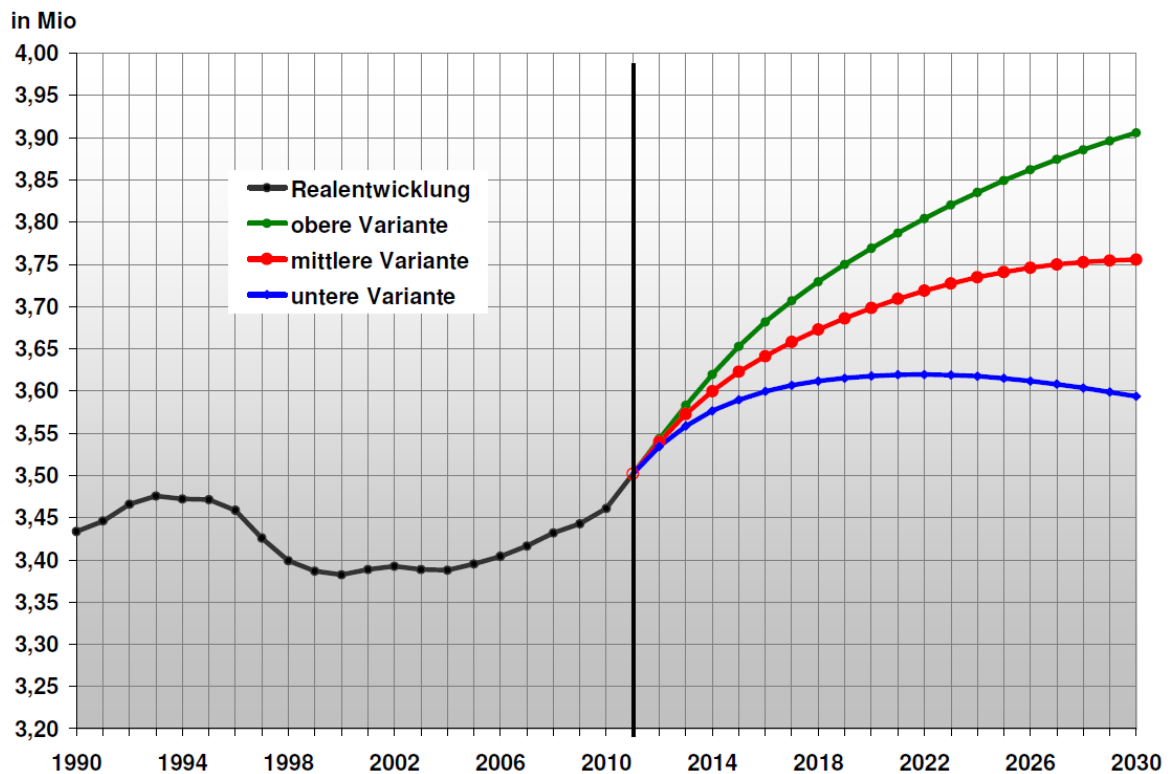
Die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Nährstoffeinträge und -frachten wurde im Rahmen des Projektes „GLOWA Elbe“ (Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet) mit dem Modell MONERIS untersucht. Die Modellierung kommt zu dem Ergebnis, dass der Klimawandel langfristig zu einer Reduzierung der Phosphorfrachten – nicht aber der Phosphorkonzentrationen – führen wird. Diesem Ergebnis unterliegt die Annahme, dass der Klimawandel (insbesondere in der Region Berlin-Brandenburg) insgesamt zu einer Abnahme der Niederschläge und Abflüsse führen wird (s.o.). Die Abnahme der Niederschläge bewirkt – ohne Berücksichtigung klimawandelbedingter Landnutzungsänderungen – eine Abnahme der Phosphoreinträge, geringere Abflüsse wiederum haben durch höhere Sedimentationsraten einen Anstieg der gewässerinternen Phosphorretention zur Folge (Venohr & Grossmann 2011). Zur Berechnung der gewässerinternen Retention werden in MONERIS in Nebengewässern die Steuergrößen „hydraulische Belastung“ und „Abfluss-spende“ herangezogen, in den Hauptläufen wird die Retention nur nach der hydraulischen Belastung ermittelt (Venohr et al. 2009). Häufigere Hochwässer, bei denen mitgeführtes Sediment auf Überflutungsflächen abgesetzt wird, werden in MONERIS nicht berücksichtigt. Trotz abnehmender Frachten werden aufgrund der geringeren Verdünnung höhere Phosphorkonzentrationen angenommen (Venohr & Grossmann 2011). Bei diesen Ergebnissen ist aber zu beachten, dass Veränderungen der Landnutzung/Wassernutzung die rein klimawandelbedingten Effekte deutlich überlagern können.

#### **4.3 Demografischer Wandel / Bevölkerungsprognose**

Die Zahl der Einwohner Berlins wächst seit dem Jahr 2004 mit steigender Tendenz. Diese Entwicklung ist in erster Linie Folge des starken Anstieges der Zuzüge aus dem Ausland, aber auch aus den alten und neuen Bundesländern. Gleichzeitig haben sich die Fortzüge in das Umland gegenüber dem Hochpunkt des Jahres 1998 mehr als halbiert (Senatsverwal-

tung für Stadtentwicklung und Umwelt 2012). Die Bevölkerungsprognose für Berlin und die Bezirke 2011-2030 (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2012) wurde in drei Varianten gerechnet (obere, mittlere und untere Variante). Diese orientieren sich an möglichen Szenarien der künftigen wirtschaftlichen und weiteren Rahmenbedingungen Berlins sowie der absehbaren demografischen Entwicklungen aus den Herkunftsregionen der Zuwandernden. Die die mittlere Variante der Prognose wurde als Arbeits- und Planungsgrundlage für die Fachverwaltungen und Bezirke festgelegt. Abbildung 9 zeigt die Bevölkerungsentwicklung Berlins 1991-2030 in den drei Varianten (Realentwicklung bis 2011, ab 2012 Prognose). In der mittleren Variante nimmt die Bevölkerung in Berlin bis zum Jahr 2030 um mehr als 250.000 Personen zu. Dementsprechend wird sich der Abwasseranfall im Land Berlin deutlich erhöhen.

Abbildung 9: Bevölkerungsentwicklung 1991-2030 in 3 Varianten für Berlin; Realentwicklung bis 2011, ab 2012 Prognose (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2012)



Im Land Brandenburg werden sowohl die weiterhin stattfindenden Binnenwanderungen als auch der demografische Wandel zu einer Vertiefung von Disparitäten zwischen der Metropolregion und den ländlichen Räumen führen und in den unterschiedlichen Teilräumen für die Abwasserbeseitigung spezifische Herausforderungen nach sich ziehen (Rustige et al. 2013). Insgesamt werden die Wanderungsgewinne der Metropolregion entsprechende

Kapazitätsbedarfe nach sich ziehen, so dass an den bestehenden Abwasserbehandlungsanlagen sowohl Ertüchtigungen als auch Erweiterungen vorzusehen sind.

In den ländlichen Räumen wird die tendenziell wachsende Unterauslastung der bestehenden Infrastrukturen mit erheblichen Kostenfolgen verbunden sein, so dass neben den verfahrenstechnischen Schwierigkeiten bei der Abwasserbehandlung auch die Erhebung Kosten deckender Entgelte ein zunehmend limitierender Faktor sein wird. Die Entwicklung von Anpassungsstrategien mit einer mittelfristigen Umsetzungsperspektive steht erst am Anfang.

Bezogen auf das Nährstoffreduzierungskonzept haben diese Entwicklungen nur geringfügige Auswirkungen. Einerseits bewirkt die Zunahme der Bevölkerung in der Metropolregion eine Zunahme des Abwasseranfalls und der Nährstofffrachten zum Klärwerk. Die rechnerische Zunahme der summarischen relativen Fracht in die Gewässer durch die Großklärwerke im Berliner Raum liegt zwischen 2,8 % und maximal 11 % (mittlere Prognose 7,8%). Dies entspricht einer zusätzlichen Fracht in Höhe von ca. 6t/a TP für die mittlere Prognose. Mit Einführung einer Flockungsfiltration reduzieren sich die Emissionen zusätzlich erheblich und liegen in einer Größenordnung von ca. 1 t/a TP. Demgegenüber steht ein aktuell nicht quantifizierbarer Rückgang der Emissionen im gesamten Handlungsraum durch Abwanderungen aus Gebieten mit kleinen bis mittelgroßen Kläranlagen mit geringerer spezifischer Reinigungsleistung.

## **5 Fazit und Ausblick**

Mit dem nunmehr dritten Teil des gemeinsamen Handlungskonzepts der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer Berlin und Brandenburg zur Reduzierung der Nährstoffbelastungen von Dahme, Spree und Havel in Berlin sowie der Unteren Havel in Brandenburg werden die Maßnahmen und Maßnahmenoptionen bzw. Strategien beschrieben, um die Umweltziele für den trophischen Zustand im Bereich der Unteren Spree sowie der Havel zwischen Hennigsdorf (Obere Havel) und Havelberg (Untere Havel) sowie zwischen Sophienwerder (Untere Spree) und Neu Zittau (Untere Spree) bzw. Neue Mühle (Dahme) mittel bis langfristig erreichen zu können. Die Reduzierung der Einträge an Phosphor wirken sich nicht nur ökologisch auf diese Gewässer positiv aus, sondern entlasten anteilig darüber hinaus auch den Elbestrom sowie die Übergangsgewässer zur Nordsee. Das Konzept leistet somit auch einen Beitrag für das Erreichen der überregionalen Nährstoffminderungsziele der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe 2014a).

Das Handlungskonzept setzt mit den Maßnahmen grundsätzlich auf den bereits erzielten Eintragsreduzierungen der letzten Jahrzehnte, insbesondere auf den Erfolgen und Effekten seit 1990 auf. Umfassende Maßnahmen in allen Handlungsbereichen haben bereits zu einem deutlichen Rückgang der Phosphorbelastung der Gewässer geführt, wobei der Rück-

gang der diffusen Einträge diesen Trend besonders geprägt hat. Der Trend zur Entlastung hat seit 2000 deutlich abgenommen bzw. ist aktuell nicht mehr signifikant vorhanden. Besondere Entwicklungen der P-Konzentration an ausgewählten Pegeln in den letzten relativ feuchten Jahren lassen nicht erwarten, dass die Umweltziele ohne zusätzliche Eintragsminderungsmaßnahmen erreicht werden können.

Mit der Verabschiedung der WRRL im Jahr 2000 wurden die nationalen Gewässerschutzziele um wesentliche ökologische Ziele geschärft und erweitert. Der Phosphor stellt in den hier betrachteten Seen als limitierender Nährstoff die Schlüsselgröße für die Trophieausprägung dar und ist die entscheidende Stell- und Zielgröße zur Erreichung des guten ökologischen Zustandes. Aus den durch die LAWA entwickelten, deutschlandweit einheitlichen Orientierungswerten für Nährstoffe wurden die Handlungsziele für das Nährstoffkonzept abgeleitet. Die Orientierungswerte finden Eingang in die neue Oberflächengewässerverordnung und werden somit künftig rechtlich geregelt.

Das Konzept zeigt auf, welche weiteren Lastreduzierungen erforderlich sind, um die Umweltziele der WRRL erreichen zu können. Die Anforderungen sind im Vergleich zu anderen Fließgewässersystemen hoch. Die hydrologisch-morphologische Situation von Spree und Havel ist in dieser Form in Deutschland in Ihrer räumlichen Ausprägung einzigartig. Die zwischen den Fließabschnitten gelegenen Seen mit einer Flächenausdehnung von ca. 190 km<sup>2</sup> (Vergleich Müritz: 120 km<sup>2</sup>) sowie die Situationen in der stauregulierten bzw. langsam fließenden Havel prägen die Anforderungen an verträgliche Nährstoffkonzentrationen für das Gesamtsystem. Seen sind gegenüber Nährstoffeinträgen besonders empfindlich und stellen höhere Anforderungen an tolerable Nährstoffkonzentrationen als Fließgewässer. Die Orientierungswerte für Seen der LAWA werden diesen Ansprüchen über eine differenzierte typspezifische Ableitung gerecht. Unabhängig von der besonderen Situation in Spree und Havel (Fluss-See-Kaskade), stellt der übermäßige Nährstoffeintrag grundsätzlich noch immer das größte Problem der Seen in Deutschland insgesamt dar (BMU 2010; FGG Elbe 2014b).

Mit dem Teil 3 des Nährstoffreduzierungskonzeptes werden alle Herkunftsbereiche bzw. Maßnahmenträger von Minderungsmaßnahmen angesprochen. Naturgemäß können einige Maßnahmen in ihren Wirkungen noch nicht genau quantifiziert werden. Für die gut bilanzierbaren Maßnahmen auf den Großklärwerken wurde auf der Grundlage des Regionalen Nährstoffmodells Brandenburg eine erste Berechnung der Effekte bezogen auf den Pegel Havel/Ketzin vorgelegt. Dabei handelt es sich um eine erste exemplarische Wirkungsabschätzung. Für die weitere Bilanzierung der Effekte durch Maßnahmen in anderen Herkunftsbereichen sind weitergehende Berechnungen bzw. Abschätzungen der Maßnahmeneffekte auch für die Zwischenbilanzpegel künftig erforderlich. Diese werden den Evaluierungs- und Fortschreibungsprozess des Handlungskonzeptes stetig begleiten.

Hierzu zählen insbesondere die Verbesserung und Erweiterung der Quantifizierung

1. der Effekte einer veränderten Düngeverordnung,
2. der Wirkung von Agrarumweltmaßnahmen,
3. der Maßnahmen auf kleinen bis mittelgroßen Kläranlagen,
4. des Stoffrückhalts durch Maßnahmen der Misch- und Regenwasserbehandlung,
5. die Effekte des Stoffrückhalts im Gewässersystem und durch Maßnahmen zur Erosionsminderung sowie
6. des Quellen- und Senkenverhaltens der Seesedimente.

Es wird grundsätzlich eingeschätzt, dass die Umweltziele bei konsequenter Umsetzung der Maßnahmen und differenzierter Fortschreibung und Nachjustierung des Programms sicher erreicht werden können. Es steht eine Vielzahl von effizienten Maßnahmenoptionen und Umsetzungsinstrumenten zur Verfügung, um die Nährstoffeinträge wirksam zu begrenzen. Die Bedeutung der Lastsenkungen in den Großklärwerken für das Erreichen der Umweltziele ist im Konzept herausgestellt worden. Die Großklärwerke tragen mit einem Anteil von 45 % an den Gesamtemissionen den höchsten Anteil zur Nährstoffbelastung bei. Es ist darüber hinaus ebenso dokumentiert, dass alle Herkunftsbereiche an der Eintragsminderung beteiligt werden müssen, um den guten Zustand zu erreichen.

Das Konzept stellt insgesamt kein starres Handlungskonzept dar, sondern bedarf in der Zukunft weiterhin einer sektoralen Fortschreibung und Anpassung an den Erkenntnisfortschritt. Diese Feststellung führt nicht zu Verzögerungen in der Umsetzung der beschriebenen effektiven Maßnahmen, sondern lediglich zu perspektivischen Nachjustierung der Handlungsintensitäten für die aktuell schwerer zu quantifizierbaren Handlungsfelder. Auch kann der Gesamtzeitraum für die Umsetzung des Programms derzeit noch nicht abschließend umrissen werden, ebenso kann keine sichere Prognose abgegeben werden, bis wann die Umweltziele erreicht werden können. Die angestrebte Verbesserung der modellgestützten Abbildung der Effekte von Nährstoffeintragsminderungen auf Fracht und Konzentration wie auch die Verbesserung der Quantifizierung der Maßnahmeneffekte auf die Emissionsminderung werden die Prognosegenauigkeit sukzessive schärfen.

Die Kosten der Maßnahmen können für alle Herkunftsbereiche nicht abschließend berechnet bzw. abgeschätzt werden, so dass eine übergreifende Effizienzbetrachtung der Maßnahmen bzw. Maßnahmenstrategien über alle Handlungsfelder hinweg aus methodischen Gründen nicht leistbar ist. Dafür fehlen übergreifende verlässlich ökonomische Grundlagendaten und Daten zur Quantifizierung und Monetarisierung von Effekten. Neben den unmittelbaren ökologischen positiven Auswirkungen auf die aquatischen Lebensgemeinschaften, werden durch die zunehmende Oligotrophierung weitere Umwelteffekte, so z.B. für den Naturschutz, für die Badegewässernutzung oder für die Abnahme der Vulnerabilität der Gewässer gegenüber Klimaänderungen erzielt. Eine ökonomische Bewertung einer verbesserten Wasserqualität



im Sinne eines Kosten-Nutzen-Vergleichs ist Gegenstand der Forschung und methodisch noch in der Entwicklung.

Ebenso gestaltet sich ein Vergleich von Effizienzen der Maßnahmen in den einzelnen Handlungsfeldern untereinander schwierig und kann auf Ebene des Nährstoffreduzierungskonzeptes nicht geleistet werden. Ein direkter Vergleich von Kosten in Relation zum Reduktionspotenzial in €/kg  $P_{elim.}$  zwischen verschiedenen Maßnahmen vor allem im urbanen Bereich ist zwar grundsätzlich möglich (siehe Ergebnisse des Projektes Nitrolimit, Mutz et al. 2013). Diese Vergleiche sind aber mit großen Schwankungen behaftet und sind für Effizienzbetrachtungen und strategische Entscheidungen kein alleiniges Merkmal. So werden Maßnahmen zur Regen- und Mischwasserbehandlung nicht ausschließlich mit der Notwendigkeit der P-Elimination begründet, sondern es werden weitere Effekte (Verringerung von akuten Wirkungen, Verringerung des Eintrags von Schwermetallen, PAK, Keimen und Bioziden) zum Schutz der Gewässer angestrebt, was einen direkten Vergleich mit gezielten Maßnahmen zur P-Elimination z.B. auf Klärwerken erschwert. Hinzu kommt, dass für lokale Defizite in den Teileinzugsgebieten oftmals auch nur die lokal bis regional verfügbaren Maßnahmenoptionen in eine Effizienzbetrachtung einbezogen werden können. Für den gesamten Handlungsraum des Nährstoffreduzierungskonzeptes lassen sich derartige Vergleiche nicht anstellen, diese können maximal Gegenstand der lokalen Planung sein. Zudem ist zu beachten, dass die spezifischen Kosten vor Ort in Abhängigkeit der lokalen Bedingungen sehr stark schwanken können, was einen generellen Vergleich erschwert.

Die Nachhaltigkeit von Maßnahmen in der Wasserwirtschaft ist Gegenstand vielfältiger Untersuchungen. Maßnahmen auf Kläranlagen stehen wegen ihres Verbrauchs an Primärenergie und dem damit verbundenem  $CO_2$ -Fußabdruck dabei im besonderen Fokus. Umfassende Untersuchungen zu den Ökobilanzen verschiedener Verfahren der Nährstoffelimination auf Großklärwerken (Fallbeispiel Ruhleben) sind im Rahmen des Projektes OXERAM untersucht worden (Miehe et al. 2013). Mit den Maßnahmen zur weitergehenden Nährstoffelimination auf Klärwerken und den daraus resultierenden Emissionen infolge des Energieverbrauchs werden jedoch nur marginale Steigerungen des Treibhauseffektes gemessen am Anteil des Gesamtverbrauchs bzw. den Gesamtemissionen pro Einwohner von <0,04% prognostiziert (Miehe et al. 2013). Mit der angestrebten Zunahme der Effizienz der energetischen Ausbeute von organischen Inhaltsstoffen im Abwasser und Umwandlung in Methan und anschließender Verstromung verringert sich der Fremdenergiebedarf der Kläranlagen in der Zukunft weiter und entlastet insgesamt den  $CO_2$ -Fußabdruck der kommunalen Abwasserreinigung.

## 6 Literatur

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2010): Die Wasserrahmenrichtlinie – Auf dem Weg zu guten Gewässern. Berlin.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (1992): Arbeitsblatt ATV-A 128. Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Hennef.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (1999): Arbeitsblatt ATV-A 203. Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung. Hennef.
- FGG Elbe (Hrsg.) (2014a): Hintergrunddokument zur wichtigen Wasserbewirtschaftungsfrage „Reduktion der signifikanten stofflichen Belastungen aus Nähr- und Schadstoffen“ – Teilaspekt Nährstoffe. Magdeburg.
- FGG Elbe – Flussgebietsgemeinschaft Elbe (Hrsg.) (2014b): Entwurf der Aktualisierung des Bewirtschaftungsplans nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe. Magdeburg.
- Frielinghaus, M. et al. (2002): Informationsheft zum Bodenschutz im Land Brandenburg – Bodenerosion. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Raumordnung, Brandenburg.
- Fuchs et al. (2010): Studie zur Effizienz von Maßnahmen der Regenwasserbehandlung in Berlin. Im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe.
- Geyer, P., Barjenbruch, M., Sperlich, A., Gnirß, R. (2015): Untersuchungen zur Einhaltung der Überwachungswerte auf dem Klärwerk Waßmannsdorf - Forschungsprojekt Raumfiltration. Unveröffentlichter Abschlussbericht des FG Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe. Berlin.
- Grüneberg et al. (2012): Phosphorus release from sediments of a lake river system (Untere Havel, Berlin) – seasonal course and potential nitrate influence. DGL Tagung 2012.
- Hupfer, M., Kleeberg, A. (2011): Zustand und Belastung limnischer Ökosysteme – Warnsignale einer sich verändernden Umwelt. In: J.L. Lozan, H. Graßl, P. Hupfer, Karbe, L.C.-D. Schönwiese (Hrsg.): Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? Climate Service Center. Geesthacht, 186-196.

- Krauth, Kh. (1980): Empfehlung über die Behandlung von Regenabflüssen der Trennkanalisation in Berlin. Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart.
- LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2009): Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL. Arbeitspapier II. LAWA-AO-Rahmenkonzeption Monitoring – Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen.
- LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2014): Empfehlung zur Übertragung flussbürtiger, meeresökologischer Reduzierungsziele ins Binnenland. LAWA-Arbeitsprogramm Flussgebietsbewirtschaftung – Produktdatenblatt 2.4.7.
- LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2015a): Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL. Arbeitspapier II. LAWA-AO-Rahmenkonzeption Monitoring – Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen.
- LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2015b): Prognose der Auswirkungen einer nach Gewässerschutzaspekten novellierten Düngeverordnung auf die Qualität der Oberflächengewässer in Deutschland im Hinblick auf Phosphor. Unveröffentlicht.
- LUGV – Landesamt für Umwelt, Gesund und Verbraucherschutz (2014): Methodik der Nährstoffbilanzierung in Brandenburg als Grundlage für die Ausweisung von Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung für den BWPL 2014 (unveröffentlicht). Landesamt für Umwelt, Gesund und Verbraucherschutz, Referat Ö4.
- Miehe, U., et al. (2013). Abschlussbericht OXERAM 2 (Optimierung der Flockung für nachgeschaltete Filtrationsprozesse und Evaluierung der Nachhaltigkeit der weitergehenden Abwasserreinigung). Berlin, KWB: p98.
- MIL/ MUGV – Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft / Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2011): Berücksichtigung dezentraler Lösungen zur Niederschlagsentwässerung bei der Bebauungsplanung. Gemeinsames Rundschreiben des Ministeriums für Infrastruktur und Landwirtschaft und des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 11. Oktober 2011. Amtsblatt für Brandenburg – Nr. 46 vom 23. November 2011
- [http://www.mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/abl26\\_11\\_auszug.pdf](http://www.mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/abl26_11_auszug.pdf), letzter Aufruf:17.04.2015]

- Mutz, D., Matzinger, A., Remy, C. (2013): Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge urbaner Bereiche. NITROLIMIT Diskussionspapier Band 2.
- OGewV – Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429).
- Rustige, H., Nowak, J., Sieker, H., Potrawiak, J., Tränckner, J. (2013): Regionale Entwicklungsszenarien in der Siedlungswasserwirtschaft unter den Bedingungen des Demographischen Wandels im Land Brandenburg zur Unterstützung des Leitbildprozesses „Zukunft der öffentlichen Trinkwasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg“. Baseline-Szenario. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Potsdam.
- [[http://www.mlul.brandenburg.de/w/siedlungswasserwi\\_gutachten\\_lang.pdf](http://www.mlul.brandenburg.de/w/siedlungswasserwi_gutachten_lang.pdf), letzter Aufruf: 17.04.2015].
- Schulz-Zunkel, C., Scholz, M., Kasperidus, H. D., Krüger, F., Natho, S. & Venohr, M. (2012): Nährstoffrückhalt. In: Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H. D., Born, W, Henle, K.: Ökosystemfunktionen von Flussauen. Schriftenreihe Naturschutz und Biologische Vielfalt 124. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 48-72.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie (2001): Abwasserbeseitigungsplan Berlin unter besonderer Berücksichtigung der Immissionszielplanung, Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.) (2012): Bevölkerungsprognose für Berlin und die Bezirke 2011-2030 - Kurzfassung; Ref. I A – Stadtentwicklungsplanung in Zusammenarbeit mit dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Oktober 2012, Berlin.
- Sommer, H., Nikisch, N. (2009): Untersuchung zur Funktion und Leistungsfähigkeit eines nachgerüsteten Straßenablauffilters. Korrespondenz Abwasser 56 (2). Hennef.
- Tegge, K. Th. (2009): Praxiserfahrungen in Hamburg. Vorstellung umgesetzter Maßnahmen und Ergebnisse. Seminar „Aktuelle Möglichkeiten zur Straßenabwasserreinigung“ 18. Juni 2009 im Elbcampus.
- Trepel, M. (2009): Nährstoffrückhalt und Gewässerrenaturierung. Korrespondenz Wasserwirtschaft 2 (4), 211-215.
- Trepel, M., Ollesch, G. & Rehfeld-Klein, M. (2013): Tagungsbericht: Ergebnisse eines Workshops zum Nährstoffmanagement der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 57 (6), 297-302.

- Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Ortelbach, K., Natho, S., Neumann & F., Hürdler, J. (2009): Das Modellsystem MONERIS. Handbuch. Version 2.14.1vba. Leibnitz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei. Berlin
- Venohr, M & Grossmann, M. (2011): Anwendungsfall Güte: Nährstoffeinträge in die Elbe, ihre Entwicklung, der Ist-Zustand, Maßnahmen zur Reduktion der Einträge und Auswirkungen auf die Frachten. GLOWA-ELBE III Schlussbericht. Wirkungen des Globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet – Ergebnisse und Konsequenzen. Potsdam.
- Werner, P. C. (2014): Klimawandel in der Region Berlin-Brandenburg. In: Kaden, S., Dietrich, O. & Theobald, S. [Hrsg.]: Wassermanagement im Klimawandel. Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen. München: Oekom, 13-35.