

# Quantifizierung punktueller Stickstoff- und Phosphoreinträge in das Flussgebiet der Weißen Elster und Ermittlung von Minderungspotentialen

Kristin Eberhardt (Annaberg-Buchholz), Ulrike Hirt (Berlin) und Antje Ullrich (Leipzig)

## Zusammenfassung

Im Rahmen der Bestandsaufnahme von Nährstoffeinträgen in die Fließgewässer, die von der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie gefordert wird, wurde eine Ist-Zustandserfassung der punktuellen Stickstoff- und Phosphor-Einträge in das Flusseinzugsgebiet der Weißen Elster durchgeführt. Durch die Berechnung von drei Zukunftsszenarien wurde ermittelt, dass sich die derzeitigen Nährstoffeinträge von 3800 t/a Stickstoff und 320 t/a Phosphor durch Pläne der Behörden und zusätzliche Maßnahmen im Abwasserbereich um insgesamt ca. 17 Prozent der N- und ca. 17,5 Prozent der P-Einträge reduzieren lassen.

*Schlagwörter:* Abwasserreinigung, kommunal, Stickstoff, Phosphor, Eintrag, Fließgewässer, Flussgebiet, Wasserrahmenrichtlinie, Nährstoff, Fracht, Punktquelle

## Abstract

### Quantification of Point Sources of Nitrogen and Phosphorus Discharge into the River Basin of the Weiße Elster River and Identification of Reduction Potential

Within the framework of a stocktaking exercise to identify nutrient discharges into flowing waters, which is required by the European Water Framework Directive, the current status of point discharges of nitrogen and phosphorus into the Weiße Elster River Basin was established. Three future scenarios were calculated, and it was found that through local planning and additional wastewater measures current nutrient discharges, i.e. 3,800 t/y of nitrogen and 320 t/y of phosphorus, can be reduced by about 17 Prozent for nitrogen and 17.5 Prozent for phosphorus.

*Key words:* wastewater treatment, municipal, nitrogen, phosphorus, discharge, flowing waters, river basin, water framework directive, nutrient, load, point source

## 1 Einführung

Mit Inkrafttreten der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Dezember 2000 wird ein neuer Weg im europäischen Gewässerschutz beschritten. Das zentrale Ziel der WRRL ist der europaweit gute chemische und ökologische Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Um dieses Ziel zu

erreichen, schreibt die WRRL bis 2009 die Erarbeitung von flussgebietsbezogenen Bewirtschaftungsplänen vor.

Im Rahmen des vom Umweltforschungszentrum (UFZ) Halle-Leipzig bearbeiteten Projektes „Entscheidungshilfen für ein integriertes Flussgebietsmanagement – Konfliktbewertung und Lösungsansätze am Beispiel der Weißen Elster“ (gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen: 0330228) wurde unter anderem eine Bestandsaufnahme der Nährstoffbelastungen im Flussgebiet der Weißen Elster durchgeführt. Nachfolgend werden Methode und Ergebnisse der Ist-Zustandserfassung von punktuellen Nährstoffeinträgen erläutert. Im Hinblick auf die Eintragsreduzierung wird für die identifizierten Haupteintragsquellen in drei Szenarien untersucht, wie sich die Einträge in Zukunft durch gesetzlich vorgeschriebene oder zusätzliche Maßnahmen verändern könnten.

## 2 Untersuchungsgebiet

Nach den Anforderungen der WRRL wurden für die Flussgebietsgemeinschaft Elbe fünf Koordinierungsräume ermittelt. Das Flusseinzugsgebiet der Weißen Elster, an dem die Untersuchungen beispielhaft durchgeführt wurden, liegt im Koordinierungsraum Saale und hat eine Fläche von ca. 5200 km<sup>2</sup>.

### 2.1 Siedlungsstruktur

Die Siedlungsstruktur hat einen entscheidenden Einfluss auf die punktuellen Nährstoffeinträge. Durch die Konzentration von Bevölkerung, Industrie, Verkehr und versiegelter Fläche kommt es in dicht besiedelten Gebieten zu höheren punktuellen Nährstoffeinträgen als in ländlichen Räumen. Abbildung 1 zeigt, dass das Untersuchungsgebiet (UG) überwiegend (69 Prozent) ländlich geprägt ist. Nur um die Großstädte Gera, Leipzig und Halle haben sich Verdichtungsgebiete entwickelt. Dementsprechend werden 31 Prozent der Gesamtfläche von Räumen mit Verdichtungsansätzen und Verdichtungsräumen eingenommen. [1–3]. Von insgesamt 1,6 Millionen Einwohnern des UG leben mehr als 1,1 Millionen in verdichteten Gebieten.

### 2.2 Gewässerstruktur und -belastung

Die Hauptflüsse des Untersuchungsgebietes sind die Weiße Elster und ihre Nebenflüsse Pleiße und Parthe. Die Gewässer-

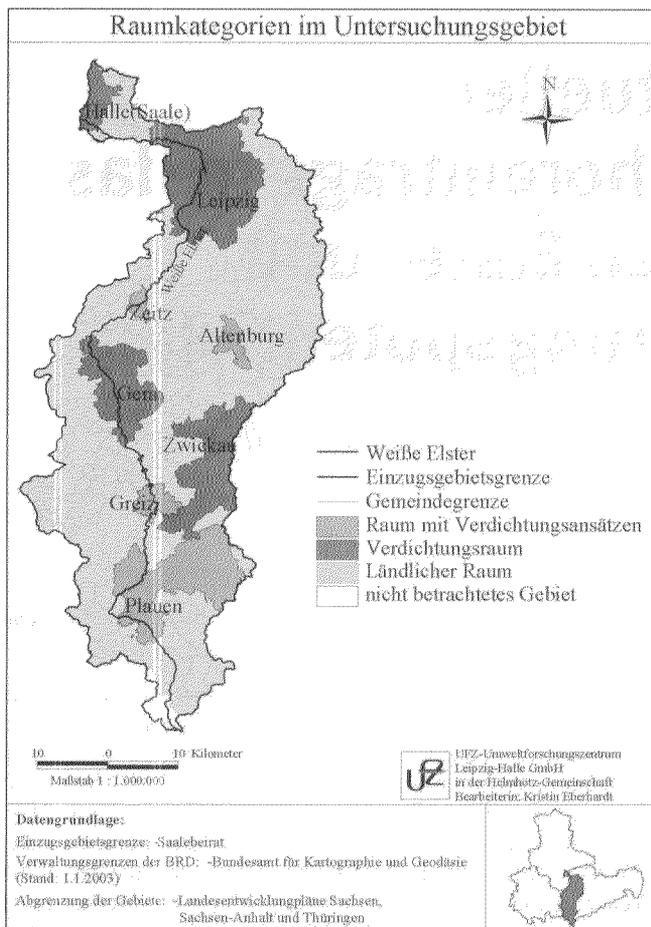


Abb. 1: Raumkategorien im Untersuchungsgebiet

struktur der Flüsse ist vorwiegend stark bis vollständig verändert. Die Hydromorphologie entspricht nur auf wenigen Abschnitten dem guten ökologischen Zustand, den die WRRL fordert. Die biologische Gewässergüte der Weißen Elster wird auf weiten Teilen als mäßig belastet [Gewässergüteklasse (GWGK) II] eingestuft. Die Nebenflüsse Pleiße und Parthe sind sogar überwiegend kritisch belastet (GWGK II–III) oder stark verschmutzt (GWGK III) [4]. Trotz allem ist bei der Betrachtung der Nährstoffeinträge in die Weiße Elster feststellbar, dass sich die Gesamtstickstoff- und -phosphorfrachten am Auslasspegel Halle-Ammendorf in den Jahren 1999–2002 nahezu halbiert haben (Abbildung 2).

### 3 Methodik

#### 3.1 Ist-Zustandserfassung

Ausgangspunkt für die Ist-Zustandserfassung punktueller Nährstoffeinträge ist die Identifizierung der Eintragspfade, welche im Gegensatz zu den diffusen Einträgen durch die genaue Lokalisierbarkeit der Einleitstelle gekennzeichnet sind [5, 6]. Punktuelle Einleitungen erfolgen durch industrielle Direkteinleiter, Niederschlagswasser aus dem Trennsystem sowie durch kommunale Kläranlagen, Kleinkläranlagen, Bürgermeistertkanäle und Regenentlastungen (Abbildung 3). Die Abschätzungen wurden mit einer Erweiterung des Modells MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems) vorgenommen [7, 8].

Die in kommunale Kläranlagen eingeleitete Nährstofffracht des häuslichen Schmutzwassers wird anhand der einwohnerspezi-

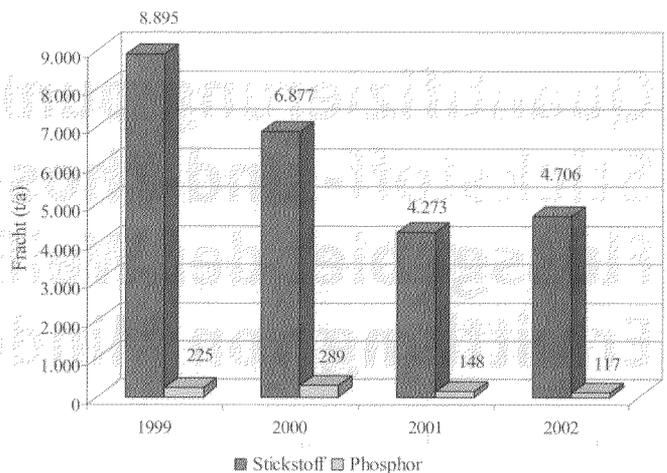


Abb. 2: Veränderung der Stickstoff- und Phosphorfrachten der Weißen Elster am Auslasspegel Halle-Ammendorf (Umweltbehörde von Sachsen-Anhalt 1999–2002)

fischen N- und P-Abgaben von 11g N/(E × d) und 1,8g P/(E × d) ermittelt [7, 9]. Die Aufteilung auf die unterschiedlichen Pfade (direkt an Kläranlagen angeschlossene Einwohner, abflusslose Gruben, Kleinkläranlagen, Bürgermeistertkanäle) erfolgt anhand von abwasserstatistischen Angaben [7].

Industrielle Schmutzwässer werden Gewässern über Direkt- oder Indirekteinleiter zugeführt. Für die Bilanzierung der direkt eingeleiteten Frachten wurden die mittleren N- und P-Konzentrationen sowie die Abwassermengen der einzelnen Betriebe herangezogen [7, 10]. Für die Abschätzung der Frachten des in kommunalen Kläranlagen behandelten industriellen Schmutzwassers werden die eingeleiteten Schmutzwassermengen und einwohnergleichwertspezifischen N-Frachten verwendet [7]. Die durch Indirekteinleiter eingeleitete Phosphorfracht kann vernachlässigt werden [7].

Grundlage für die Ermittlung der Nährstofffracht des Fremdwassers, das den Kläranlagen über undichte Kanäle zufließt, ist die behandelte Jahresabwassermenge der Kläranlagen, die statistische Abwasserzusammensetzung und eine mittlere Nährstoffkonzentration des Grundwassers von ca. 20 mg N/l und ca. 0,12 mg P/l [11, 12].

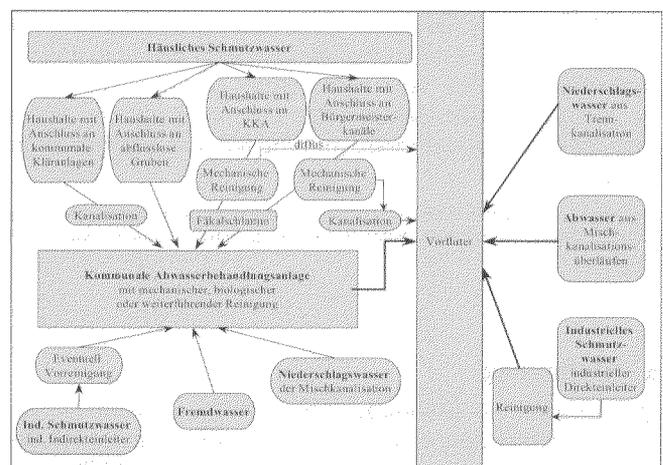


Abb. 3: Punktuelle Eintragspfade von Nährstoffen in Fließgewässer (eigene Darstellung)

Die Nährstofffracht des von versiegelten Flächen abfließenden Niederschlags in die Mischkanalisation wurde anhand der versiegelten Fläche und der darauf befindlichen Stickstoffdeposition [13, 14] berechnet. Dafür wurden den in der CIR-Biotop- und Nutzungstypenkartierung (CIR: color-infrared) der Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen ausgewiesenen Siedlungsflächen Versiegelungsgrade zugewiesen [15–17]. Der Nährstoffaustrag erfolgt dabei punktuell entsprechend dem Versiegelungsgrad. Aufgrund von fehlenden Phosphordepositionsdaten wurde eine Menge von 2,5 kg P/(ha × a) in die Berechnung einbezogen [18]. Da nicht die gesamte versiegelte Fläche an die Kanalisation angeschlossen ist, wurden die Anschlussgrade der Bevölkerung einer Gemeinde an die Kanalisation auf die versiegelte Fläche übertragen und anhand der Anschlussgrade an das Misch- und Trennsystem entsprechend aufgeteilt. Auf diese Weise wird auch die über Regenwasserkanäle der Trennkanalisation entlastete Nährstofffracht ermittelt.

Die den kommunalen Kläranlagen zufließende Nährstofffracht setzt sich aus den bisher besprochenen Komponenten abzüglich der vorher durch Starkregen entlasteten Nährstofffracht zusammen. Dazu wird die Nährstofffracht in der Kanalisation im Entlastungsfall und die Entlastungsrate des Mischsystems ermittelt [7]. Die entlastete Abwassermenge ist vor allem abhängig von der Anzahl der effektiv wirksamen Starkregentage und vom Speichervolumen, das Abwasser im Entlastungsfall zurückhält. Bei den Berechnungen wurden 50 Starkregentage pro Jahr und ein Speichervolumen von 0 m<sup>3</sup>/ha angenommen [7, 19]. Diese Berechnungen bergen einen großen Unsicherheitsfaktor, da die Entlastungsmengen und -konzentrationen nicht für jedes Entlastungsbauwerk bekannt sind.

$$N/P_{KA/ZU} = \frac{(N/PE_{aG} + N/PE_{KKA} + N/PE_{BMK} + N_{EGW} + N/P_{Qf} + N/P_{MK}) - N/P_{RU}}{\quad} \quad [\text{kg/a}]$$

$N/P_{KA/ZU}$ : N/P-Fracht im Kläranlagenzulauf

$N/PE_{aG}$ : N/P-Eintrag der an abflusslose Gruben angeschlossenen Einwohner

$N/PE_{KKA}$ : N/P-Eintrag durch Schlämme aus Kleinkläranlagen

$N/PE_{BMK}$ : N/P-Eintrag durch die Schlämme der Bürgermeisterkanäle

$N_{EGW}$ : N-Eintrag durch industrielle Indirekteinleiter (kein P-Eintrag)

$N/P_{Qf}$ : N/P-Fracht des Fremdwassers

$N/P_{MK}$ : N/P-Einträge durch den Niederschlagsabfluss in das Mischsystem

$N/P_{RU}$ : bei Starkregen entlastete N/P-Fracht

Das Abwasser wird in den Kläranlagen durch unterschiedliche Reinigungsverfahren behandelt, die einen bestimmten Anteil der Nährstoffe eliminieren [7, 20, 21]. Die Ablauffrachten der Kläranlagen ergeben sich demzufolge aus der Differenz der Zulauffrachten und der Menge der eliminierten Nährstoffe.

$$N/P_{KA/AB} = N/P_{KA/ZU} \times I_{EL/N/P}$$

mit:

$N/P_{KA/AB}$ : N/P-Fracht im Kläranlagenablauf [kg/a]

$I_{EL/N/P}$ : N/P-Eliminierungsleistung der Kläranlage [%]

Darüber hinaus werden Nährstoffe über sogenannte Bürgermeisterkanäle, die mit mechanischen Reinigungsstufen ausgestattet sind, in die Flüsse eingetragen [22, 23]. Die entstehenden Fäkalschlämme werden in kommunale Kläranlagen über-

führt. Die Abschätzungen werden anhand von einwohnerspezifischen N- und P-Frachten und der an Bürgermeisterkanäle angeschlossenen Einwohner vorgenommen [24]. Dabei wird von der in Tabelle 1 dargestellten Aufteilung ausgegangen.

	Einwohnerspezifische N-Fracht	Einwohnerspezifische P-Fracht
Abführung mit Fäkalschlamm	1,4 g/E × d	0,52 g/E × d
Eliminierte Fracht	1,1 g/E × d	0,36 g/E × d
In Gewässer eingeleitete Fracht	8,5 g/E × d	0,92 g/E × d
Gesamtfracht	11 g/E × d	1,8 g/E × d

Tabelle 1: Aufteilung der einwohnerspezifischen N- und P-Frachten bei den Einträgen aus Bürgermeisterkanälen

### 3.2 Szenarien

Die Einträge aus kommunalen Kläranlagen, Bürgermeisterkanälen, Kleinkläranlagen und Regenentlastungen wurden anhand der oben beschriebenen Methode als Haupteintragsquellen identifiziert. Daher sind sie die Grundlage für die Berechnung von drei Zukunftsszenarien:

- Szenario 1: Umsetzung des rechtlichen Entwicklungsrahmens,
- Szenario 2: Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen im Bereich kommunaler Kläranlagen,
- Szenario 3: Reduzierung der Einträge aus Regenentlastungen.

#### Szenario 1: Umsetzung des rechtlichen Entwicklungsrahmens

Dieses Szenario kann als Baseline-Szenario betrachtet werden, da es die Entwicklungen nach Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften und Planungen der Behörden (Stilllegungen, Rekonstruktionen, Neubauten von kommunalen Kläranlagen) im zentralen und dezentralen Entsorgungsbereich bis 2015 betrachtet. Grundlage für die Berechnungen der Eintragsveränderungen im zentralen Bereich sind die gemessenen Nährstoffemissionen der Kläranlagen in den Jahren 1999–2003 und die Kenntnis über deren Reinigungsstufen. Folgende Bedingungen müssen kommunale Kläranlagen nach EU-Kommunalabwasserrichtlinie bis Ende 2005 erfüllen:

- Kläranlagen der GK 1–3: Ausstattung mit mindestens einer biologischen Reinigungsstufe,
- Kläranlagen der GK 4–5: Ausstattung mit weiterführenden Reinigungsverfahren.

Die errechneten Eintragsreduzierungen entstehen aus der Differenz zwischen den aktuell gemessenen Emissionsfrachten und den zukünftig zu erwartenden Emissionen der Anlagen.

Im dezentralen Bereich schreiben WRRL und Wasserhaushaltsgesetz (WHG) für Bürgermeisterkanäle und Kleinkläranlagen biologische Reinigungsstufen bis 2015 vor [27]. Das bedeutet eine zusätzliche N-Eliminierung von 20 Prozent und P-Eliminierung von 30 Prozent.

#### Szenario 2: Anwendung zusätzlicher Maßnahmen im Bereich kommunaler Kläranlagen

Die gesetzlichen Anforderungen sehen für Anlagen der Größenklassen (GK) 4 und 5 eine Ausstattung mit weiterführenden Reinigungsstufen vor, das heißt mindestens eine Nitrifikationsstufe (Eliminierungsleistung ca. 45 Prozent). Mit einer zusätz-

lichen Denitrifizierung könnten weitere ca. 30 Prozent des Stickstoffs reduziert werden. Da die behördlichen Planungen nicht für alle Anlagen eine Denitrifizierung vorschreiben, ist dies eine zusätzliche Maßnahme. Um eine Auswahl treffen zu können, welche Anlagen mit zusätzlichen Nitrifikations- oder Denitrifizierungsstufen ausgerüstet werden sollten, wurde ein Emissionsgrenzwert von 1500 kg N/a festgelegt. Da nahezu alle Anlagen der GK 4 und 5 mit Phosphoreliminierungen ausgerüstet sind, ist eine weitere Reduzierung fast ausschließlich bei Kläranlagen der GK 1–3 möglich. Hier wurde ein Emissionsgrenzwert von 400 kg P/a festgelegt.

#### Szenario 3: Reduzierung der Einträge aus Regenentlastungen

Die Nährstoffeinträge durch Regenentlastungen gehören neben denen aus Kläranlagen zu den Haupteintragspfaden. Sie sind zudem mit großen Stoßbelastungen für die Gewässer verbunden. Verantwortlich für die hohen Emissionen ist der geringe Ausbaugrad von ca. 10 Prozent (entspricht einem Speichervolumen von 0 m³/ha) des Speichervolumens von Regenentlastungsbauwerken im UG. Im Szenario wird eine Erhöhung des Ausbaugrades auf 50 Prozent angenommen (entspricht 11,65 m³/ha Speichervolumen).

## 4 Ergebnisse und Auswertung

### 4.1 Ist-Zustandserfassung

Im Einzugsgebiet der Weißen Elster kommen insgesamt 198 kommunale Kläranlagen für die Behandlung der Abwässer zum Einsatz. Circa 40 Prozent der Bevölkerung sind an kommunale Kläranlagen angeschlossen. Im Vergleich dazu liegt der durchschnittliche Anschlussgrad an kommunale Kläranlagen in den alten Bundesländern bei ca. 96 Prozent und in den neuen Bundesländern bei ca. 76 Prozent [25].

Nach den beschriebenen Abschätzungen werden insgesamt durch punktuelle Quellen etwa 3800 t/a Stickstoff und 320 t/a Phosphor in die Flüsse der Weißen Elster eingeleitet. Die größten Eintragsmengen stammen aus kommunalen Kläranlagen und aus Regenentlastungen (Abbildungen 4 und 5).

#### Einträge in die Fließgewässer aus kommunalen Kläranlagen

Von kommunalen Kläranlagen werden ca. 1900 t/a Stickstoff und ca. 115 t/a Phosphor in die Fließgewässer eingeleitet. Etwa 88 Prozent der N- und 72 Prozent der P-Menge werden von

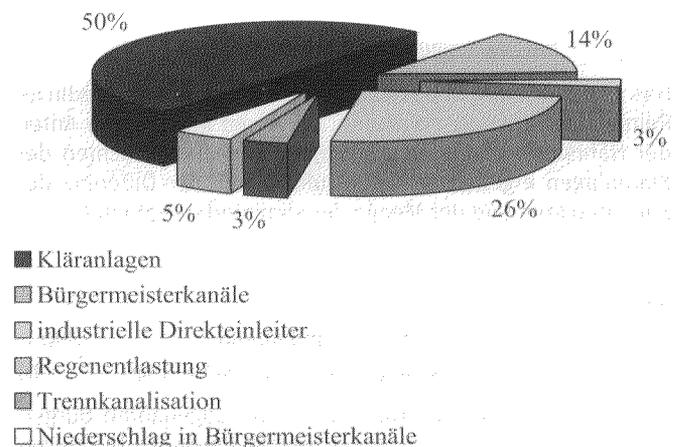
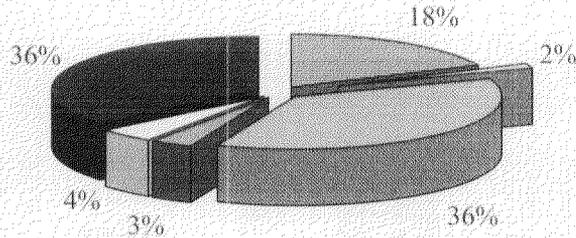


Abb. 4: Übersicht über die gesamten punktuellen N-Einträge in das Flussgebiet Weiße Elster



- Kläranlagen
- Bürgermeisterkanäle
- industrielle Direkteinleiter
- Regenentlastung
- Trennkanalisation
- Niederschlag in Bürgermeisterkanäle

Abb. 5: Übersicht über die gesamten punktuellen P-Einträge in das Flussgebiet Weißer Elster

Kläranlagen der GK 4 und 5 emittiert. Die Kläranlagen der GK1–3 leiten im Vergleich einen höheren Anteil Phosphor als Stickstoff in die Gewässer ein. Grund hierfür ist die Ausstattung vieler dieser Anlagen mit Nitrifizierungs- (Reduzierungsrate von 45 Prozent), aber nicht mit gezielten Phosphoreliminierungsstufen (Reduzierungsrate von 90 Prozent). Der Effekt wird durch die Tatsache verstärkt, dass fast alle Anlagen der GK4 und 5 gezielt Phosphor eliminieren, jedoch nicht mit Denitrifikationsstufen (Reduzierungsrate von 75 Prozent) ausgestattet sind.

### *Einträge in die Fließgewässer aus Bürgermeisterkanälen und Kleinkläranlagen*

In Verdichtungsgebieten ist der Anteil dezentraler Entsorgungssysteme mit 9 Prozent gering. Im Vergleich dazu werden im ländlichen Raum etwa 50 Prozent aller Abwässer dezentral entsorgt. Über die flüssigen Bestandteile der Bürgermeisterkanäle werden ca. 527 t N/a und ca. 57 t P/a in die Fließgewässer eingebracht. Durch das vorgereinigte Abwasser der Kleinkläranlagen werden ca. 414 t N/a und ca. 44 t P/a diffus versickert, davon gelangen ca. 50 Prozent in die Flüsse.

### *Einträge in die Fließgewässer durch industrielle Direkteinleiter*

Insgesamt sind im Untersuchungsgebiet zwölf Betriebe ansässig, die mit Nährstoffen belastetes Abwasser in die Flüsse einleiten. Die Betriebe sind folgenden Branchen zuzuordnen: chemische Industrie, Lebensmittelerzeugung, Leder- und Textilindustrie, Papierindustrie, Wärmeerzeugung und Deponieabwässer. Jährlich gelangen so etwa 102 t N/a und 5 t P/a in die Gewässer.

### *Einträge in die Fließgewässer durch Regenentlastungen*

Nach dem oben beschriebenen Berechnungsansatz von Brombach und Michelbach [18] wurde eine Fracht von ca. 978 t N/a und 116 t P/a ermittelt. Damit werden über diesen Pfad mit 26 Prozent aller N- und 36 Prozent aller P-Einträge nach den kommunalen Kläranlagen die meisten Nährstoffe in die Fließgewässer eingetragen.

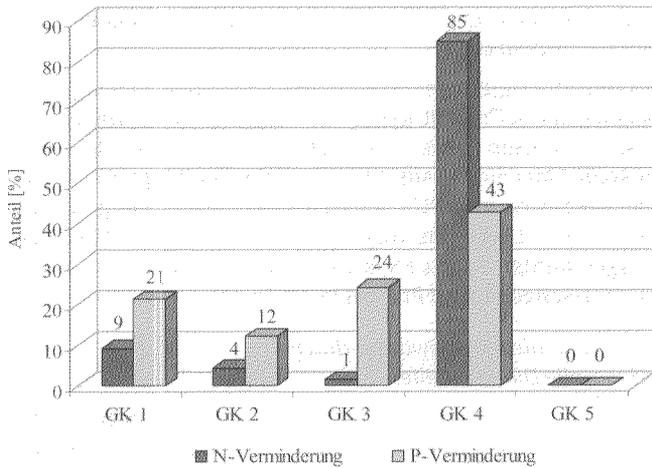


Abb. 6: Anteil der Kläranlagen nach Größenklassen an der N- und P-Verminde rung nach Umsetzung des rechtlichen Entwicklungsrahmens

### Einträge in die Fließgewässer durch Niederschlagswasser der Trennkana lisation

Im Untersuchungsgebiet beträgt der Anschlussgrad an das Trennsystem ca. 40 Prozent. Einträge über Regenwasserkanäle in die Gewässer belaufen sich auf etwa 131 t N/a und 11t P/a. Da in den stark verdichteten Gemeinden Leipzig, Gera, Plauen und Halle beträchtliche Flächen versiegelt sind und somit große Nährstoffmengen abgelagert werden, kommt es dort zu Konzentrationen der Nährstoffeinträge.

### 4.2 Szenarien

#### Eintragsreduzierungen aus kommunalen Kläranlagen

Nach Umsetzung der Bedingungen des Szenario 1 (Umsetzung des rechtlichen Entwicklungsrahmens) kann eine Eintragverminderung aus kommunalen Kläranlagen von ca. 81 t/a Stickstoff und ca. 5 t/a Phosphor (jeweils 5 Prozent) erreicht werden. Das größte Potential für eine Verminderung der N-Einträge liegt bei Kläranlagen der GK 4 (Abbildung 6), da gemäß behördlichen Planungen sechs dieser Anlagen vollständig mit Denitrifizierungsstufen ausgerüstet werden sollen.

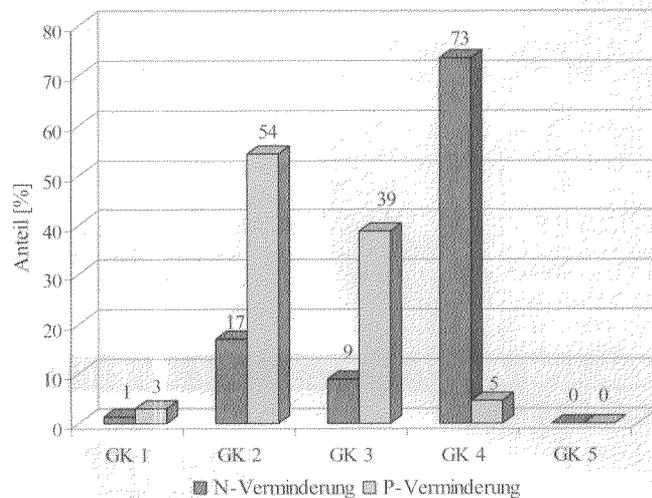


Abb. 7: Anteil der Kläranlagen nach Größenklassen an der N- und P-Verminde rung nach Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen

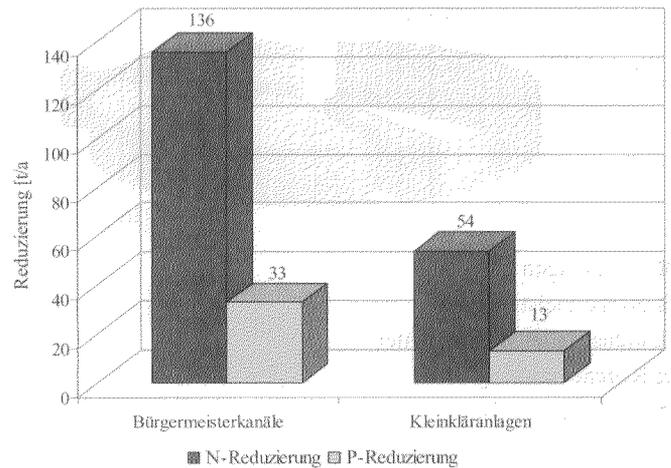


Abb. 8: Reduzierung der N- und P-Einträge aus der dezentralen Abwasserbeseitigung bis 2015

Die Berechnungen für Szenario 2 (Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen im Bereich kommunaler Kläranlagen) ergeben, dass die Nährstoffeinträge um weitere 108 t N/a und 6 t P/a reduziert werden könnten. Dabei ist der Anteil der Kläranlagen der GK 4 an der N-Reduzierung am größten (Abbildung 7), da bei einigen Anlagen dieses Typs eine zusätzliche Erhöhung der Reinigungsleistung möglich ist. Eine Steigerung der P-Eliminierungsrate ist fast ausschließlich bei Anlagen der GK2 und 3 erreichbar.

#### Eintragsreduzierungen aus Bürgermeisterkanälen und Kleinkläranlagen

Nur im Szenario 1 (Umsetzung des rechtlichen Entwicklungsrahmens) wird eine Steigerung der Reinigungsleistung dezentraler Entsorgungssysteme berücksichtigt, die insgesamt eine Reduzierung der N-Einträge von ca. 190 t/a und der P-Einträge von ca. 46 t/a zur Folge hätte (Abbildung 8).

#### Einträge in die Fließgewässer durch Regenentlastungen

Die im Szenario 3 beschriebene Erhöhung des Rückhaltevolumens von Regenentlastungsbauwerken hätte eine Verminderung der Einträge um ca. 266 t N/a und ca. 31 t P/a zur Folge.

#### Fazit

Aus Abbildung 9 geht hervor, dass die Weiße Elster und ihre Nebenflüsse große Nährstoffmengen aufnehmen. Vor allem im letzten Abschnitt, bei Durchfließen der Stadt Leipzig, leiten Pleiße und Parthe große Nährstofffrachten in die Weiße Elster ein.

Die Szenarienrechnungen haben ergeben, dass sich die N-Einträge um insgesamt ca. 17 Prozent und die P-Einträge um insgesamt ca. 17,5 Prozent reduzieren ließen. Die größten Reduzierungspotentiale liegen bei den Entsorgungssystemen im dezentralen Bereich und bei den Einträgen aus Regenentlastungen.

### 5 Ausblick

Zur Umsetzung der WRRL ist es zwingend notwendig, die Nährstoffeinträge in die Fließgewässer aus diffusen und punktuellen Quellen zu senken. Die Berechnung der Szenarien zeigt, dass eine Verminderung der Nährstoffeinträge bei Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen erzielt werden kann. Dabei haben vor allem die Bürgermeisterkanäle und Kleinkläranlagen einen

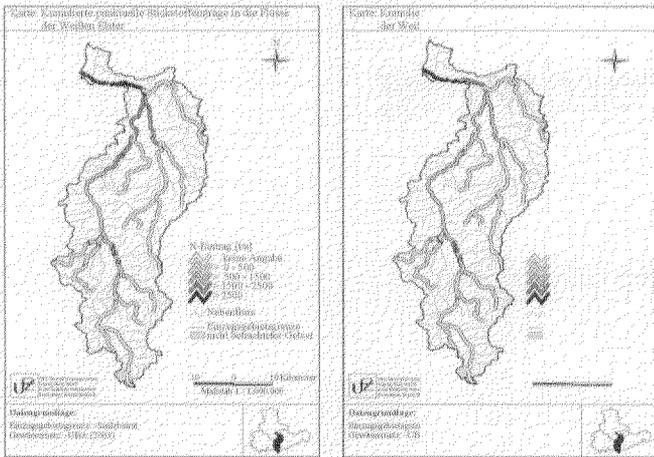


Abb. 9: Kumulierte punktuelle Nährstoffeinträge in die Weiße Elster und ihre Nebenflüsse

großen Anteil. Neben der Ausrüstung dieser Entsorgungssysteme mit biologischen Reinigungsstufen muss weiterhin die Anzahl der nur an die Kanalisation angeschlossenen Einwohner verringert werden. Durch weitere Reduzierungsmaßnahmen im Kläranlagenbereich können die Einträge zusätzlich gesenkt werden. Große Reduzierungen der N-Einträge lassen sich dabei durch Denitrifikationsstufen in Kläranlagen mit einer Kapazität von > 10 000 Einwohnerwerten erreichen. Da diese Anlagen in den meisten Fällen bereits gezielt Phosphor eliminieren, ist eine Reduzierung der P-Einträge vor allem durch die Ausstattung kleinerer Anlagen mit P-Eliminierungen zu realisieren. Weitere drastische Verminderungen der Nährstoffeinträge lassen sich durch den Ausbau des Speichervolumens von Regenrückhaltebecken erzielen. Diese Maßnahme würde zu einer Senkung der Stoßbelastungen der Gewässer mit ungeklärtem Abwasser beitragen. Da die Entlastungen vor allem in stark bebauten Gebieten mit einem hohen Anteil versiegelter Fläche stattfinden, kommt dort ein weiterer Ausbau von Regenentlastungsbauwerken aus Platzgründen häufig nicht in Frage. Aus diesem Grund sollte zukünftig auch über die Anwendung von Chemikalien zur verstärkten Reduzierung der Nährstoffe im Entlastungsfall nachgedacht werden [28]. Außerdem könnten große, stark versiegelte Flächen vom Mischsystem abgekoppelt werden, um den Niederschlagsabfluss zu verringern [28]. Abschließend soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass es sich sowohl bei der Ermittlung der Nährstoffeinträge über die einzelnen Eintragspfade als auch bei der Berechnung der Szenarien um Abschätzungen und nicht um reale Werte handelt.

Literatur

[1] Sächsisches Staatsministerium des Innern (Hrsg.): *Landesentwicklungsplan Sachsen*, Dresden, 2003  
 [2] Ministerium für Bau und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt: *Landesentwicklungsplan Sachsen-Anhalt*, 1999  
 [3] Thüringer Innenministerium: *Landesentwicklungsplan Thüringen*, 2004  
 [4] Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen: *Gewässerstrukturbericht 2001*, Dresden, 2001  
 [5] Behrendt, H.: Phosphor- und Stickstoffeinträge über punktuelle Quellen. – In: Werner, W., H.-P. Wadsack (Hrsg.): *Stickstoff- und Phosphateintrag in Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR*. Agrarspectrum – Schriftenreihe der Agrar-, Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung e.V., 1994, Bd. 22, Frankfurt a. M., S. 137–155  
 [6] Wit de, M.: Modelling nutrient fluxes from source to river load: a macroscopic analysis applied to the Rhine and Elbe basins, *Hydrobiologica* 2000, 410: 123–130

[7] Behrendt, H., et al.: *Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands*, UBA-Bericht, Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V., 1999  
 [8] Behrendt, H., et al.: *Nutrient emissions into river basins of Germany*, UBA-Texte, 23/06, 266  
 [9] Palmeri, L., Bendoricchio, G., Artoli, Y.: Modelling nutrient emissions from river systems and loads to the coastal zone: Po River case study, Italy, *Ecological Modelling* 2005, 184: 37–53  
 [10] Drolc, A., Koncan Zagorc, J.: Estimation of total phosphorus sources in a river basin and assessment of alternatives for river pollution reduction, *Environment International* 2002, 28: 393–400  
 [11] Wendland, F., R. Kunkel: *Das Nitratabbauvermögen im Grundwasser des Elbeeinzugsgebietes*, Forschungszentrum Jülich, 1999  
 [12] Mattheß, G.: *Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 2: Die Beschaffenheit des Grundwassers*, 3. Aufl., Gebrüder Borntraeger, Stuttgart, 1994  
 [13] Gauger, T., Köble, R., Anshelm, F.: *Kritische Luftschadstoffkonzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme, Teil 1: Deposition Loads 1987–1989 und 1993–1995*, Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes, FE Nr. 297/85/079, Institut für Navigation der Universität Stuttgart, Endbericht, 2000, [www.nav.uni-stuttgart.de/navigation/forschung/critical\\_loads/INS\\_UBA29785079\\_1.pdf](http://www.nav.uni-stuttgart.de/navigation/forschung/critical_loads/INS_UBA29785079_1.pdf)  
 [14] Gauger, T., Köble, R., Spranger, T., Bleeker, A., Draaijers, G.: Deposition Loads of Sulphur and Nitrogen in Germany, A Comparison of National and international Mapping Results, *Water, Air, and Soil Pollution* 2001, 353–373  
 [15] Hirt U.: *Regional differenzierte Abschätzung der Stickstoffeinträge aus punktuellen und diffusen Quellen in die Gewässer der mittleren Mulde*, UFZ-Bericht 3/2003, Leipzig  
 [16] Breuste, J., Keidel, T., Meinel, G., Münchow, B., Netzband, M., Schramm, M.: Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen. – in: UFZ-Bericht 12, Leipzig, 1996  
 [17] Münchow, B.: *Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität*, Dissertation, UFZ-Bericht 4/1999, Leipzig  
 [18] Brombach, H., G. S. Michelbach: Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffauftrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees – in: *Berichte der Internationalen Gewässerschutzkommission Bodensee* 1998, 49  
 [19] Brombach, H., Währle, C.: Gemessene Entlastungsaktivität von Regenüberlaufbecken, *Korrespondenz Abwasser* 1/1997, 44–59  
 [20] ATV (Hrsg.): *Biologische und weiterführende Abwasserreinigung*, ATV-Handbuch, 4. Aufl., S. 739, Ernst & Sohn, Berlin, 1997  
 [21] BUWAL: *Stickstofffrachten aus Abwasserreinigungsanlagen* – in: *Schriftenreihe Umwelt* 1996, 276  
 [22] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis für Einleitungen aus Kleinkläranlagen (nachrichtlich), 2003, [www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/downloads/KKL.pdf](http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/downloads/KKL.pdf)  
 [23] Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: Umgang mit sogenannten „Bürgermeisterkanälen“ bzw. „Teilortskanalisationen“ als Element der Abwassersammlung und -ableitung (nachrichtlich), 2003, [www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/downloads/Ertlasso20903.pdf](http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/downloads/Ertlasso20903.pdf)  
 [24] Pieterse, N. M., Bleuten, W., Jørgensen, S. E.: Contribution of point sources and diffuse sources to nitrogen and phosphorous loads in lowland river tributaries, *Journal of Hydrology* 2003, 271, 213–225  
 [25] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): *Stand der Abwasserbeseitigung in der Bundesrepublik Deutschland*, 2002  
 [26] Bundesland Sachsen-Anhalt: *Verordnung über kommunales und Industrieabwasser bestimmter Branchen (Kommunalabwasserverordnung)*, 1997, [http://st.juris.de/st/gesamt/KomAbwV\\_ST.htm](http://st.juris.de/st/gesamt/KomAbwV_ST.htm)  
 [27] Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.): *Statusbericht Abwasser 2002 – Stand und Perspektiven der kommunalen Abwasserbeseitigung im Freistaat Sachsen*, Dresden, 2002  
 [28] Pfister, S., Ohse, A., Winter, J.: Weitergehende Mischwasserbehandlung durch Fentons Reagenz, *Korrespondenz Abwasser* 1/1997, 67–79

Autorinnen

Dr. Ulrike Hirt  
 Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei  
 Müggelseedamm 310, 12587 Berlin  
 E-Mail: [hirt@igb-berlin.de](mailto:hirt@igb-berlin.de)  
 Dipl.-Geogr. Antje Ullrich  
 Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ  
 Departement Angewandte Landschaftsökologie  
 Permoserstraße 15, 04318 Leipzig  
 Dipl.-Geogr. Kristin Eberhardt  
 Lessingstraße 2, 09456 Annaberg-Buchholz  
 E-Mail: [kristin.eberhardt@gmx.de](mailto:kristin.eberhardt@gmx.de)