

**Modellierung von Nährstoffeinträgen aus Punktquellen und verschiedenen diffusen Quellen für die Internationale Flussgebietseinheit Oder für historische, aktuelle und künftige Nährstoffemissionen**

**Abschlussbericht**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Modell MONERIS und deren methodische Ansätze .....</b>	<b>6</b>
2.1	Modellstruktur .....	6
2.2	Überblick über die methodischen Ansätze .....	7
2.3	Modellierung des Gebietswasserhaushalts .....	8
2.4	Nährstoffeinträge durch Abschwemmung .....	9
2.5	Nährstoffeinträge durch Erosion .....	10
2.6	Nährstoffeinträge über Drainagen .....	11
2.7	Stickstoffeinträge über Grundwasser/Interflow .....	12
2.8	Nährstoffeinträge über Urbane Systeme und Punktquellen .....	13
2.9	Berechnung der Nährstoffretention in Oberflächengewässern .....	14
<b>3</b>	<b>Datengrundlagen und deren Aufbereitung für das Modell .....</b>	<b>15</b>
3.1	Einteilung des Modellierungsgebietes in Analysegebiete .....	15
3.2	Flächenbezogene Eingangsdaten .....	16
3.2.1	Landnutzung .....	16
3.2.2	Höhendaten .....	17
3.2.3	Atmosphärische Deposition .....	18
3.2.4	Bodendaten .....	20
3.2.5	Drainagedaten .....	21
3.2.6	Hydrogeologie .....	22
3.2.7	Niederschlag und Evapotranspiration .....	23
3.3	Kläranlageninventar und Industrielle Direkteinleiter .....	23
3.4	Zeitreihendaten .....	24
3.4.1	Monitoringdaten .....	24
3.4.2	Stickstoffüberschüsse und P-Akkumulation .....	25
<b>4</b>	<b>Kalibrierung und Überprüfung des Modells .....</b>	<b>28</b>
4.1	Abflusskalibrierung .....	28
4.2	Frachtberechnung .....	29
<b>5</b>	<b>Modellierung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der IFGE Oder (Ergebnisse) .....</b>	<b>30</b>
5.1	Übersicht über die Betrachtungszeiträume .....	30
5.2	Modellierung des historischen Zeitraumes .....	30
5.2.1	Gesamtbetrachtung historischer Zeitraum .....	30
5.2.2	Anteil der Eintragspfade und Nährstoffquellen .....	30
5.2.3	Räumliche Verteilung der Nährstoffeinträge .....	34
5.3	Modellierung des aktuellen Zeitraumes .....	37
5.3.1	Gesamtbetrachtung aktueller Zeitraum .....	37

5.3.2	Anteil der Eintragspfade und Nährstoffquellen .....	37
5.3.3	Räumliche Verteilung der Nährstoffeinträge .....	41
5.4	Modellierung des zukünftigen Zeitraumes.....	42
5.4.1	Gesamtbetrachtung zukünftiger Zeitraum.....	42
5.4.2	Anteil der Eintragspfade und Nährstoffquellen .....	44
5.4.3	Räumliche Verteilung der Nährstoffeinträge .....	46
5.5	Analyse und Bewertung der drei Zeiträume .....	48
<b>6</b>	<b>Vorschläge der Managementoptionen zur Nährstoffreduzierung.....</b>	<b>49</b>
6.1	Überblick über die in MONERIS integrierten Managementoptionen .....	49
6.2	Managementoptionen zur Reduzierung der Einträge über Landnutzungsmaßnahmen.....	50
6.3	Managementoptionen zur Reduzierung der Einträge über Kläranlagen.....	52
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>57</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellschema MONERIS (Venohr et al. (2011)) .....	7
Abbildung 2: GIS-basierte Generierung des Abflussbaumes (Quelle: IGB) .....	8
Abbildung 3: Nährstoffeinträge durch Abschwemmung (Quelle: IGB) .....	9
Abbildung 4: Berechnungsansatz Abschwemmung (Quelle: IGB) .....	10
Abbildung 5: Berechnung der Nährstoffeinträge durch Erosion (Quelle: IGB).....	11
Abbildung 6: Nährstoffeinträge durch Drainagen (Quelle: IGB).....	11
Abbildung 7: N-Abbau/Fixierung bei drainierten Grünlandflächen (Quelle: IGB).....	12
Abbildung 8: Stickstoffeinträge aus dem Grundwasser (Quelle: IGB) .....	13
Abbildung 9: Nährstoffeinträge über urbane Systeme (Quelle: IGB) .....	14
Abbildung 10: Berechnung der Gewässerfläche (WSA) von Haupt- (MR) und Nebenläufen (TRIB) (Venohr, 2006))	15
Abbildung 11: Einzugsgebiet, Analysegebiete und Gewässernetz .....	16
Abbildung 12: Klassifizierung der Landnutzungsdaten (CORINE).....	17
Abbildung 13: Topografie im Odereinzugsgebiet .....	18
Abbildung 14: Vergleich der gemessenen Depositionsfrachten NH <sub>y</sub> von 14 Überwachungsstationen (links) mit den EMEP-Depositionswerten für das Jahr 2002 (rechts) .....	19
Abbildung 15: Atmosphärische NO <sub>x</sub> -Deposition basierend auf EMEP-Daten für das Jahr 2010 .....	20
Abbildung 16: Bodenarten im Odereinzugsgebiet .....	21
Abbildung 17: Anteil der drainierten Gebiete auf landwirtschaftlichen Fläche (in %) .....	22
Abbildung 18: Hydrogeologie im Odereinzugsgebiet.....	22
Abbildung 19: mittlere Niederschlagssummen für die Jahre 2000-2010 .....	23
Abbildung 20: Kläranlageninventar .....	24
Abbildung 21: Standorte verwendeter Abflusspegel für die Kalibrierung.....	25
Abbildung 22: länderbezogener Verlauf der mittels der verschiedenen Methoden abgeleiteten N-Überschüsse für die Jahre 1960 -2010 der drei IKSO- Vertragsstaaten Polen, Tschechien und Deutschland.....	27
Abbildung 23: Vergleich der gelieferten polnischen Datengrundlagen zu N-Überschüssen mit OECD/EUROSTAT- Daten.....	27
Abbildung 24: Vergleich der gelieferten polnischen Datengrundlagen zu N-Überschüssen mit OECD/EUROSTAT- Daten.....	28
Abbildung 25: Frachtvergleich für TN (links) und TP (rechts).....	29
Abbildung 26: Eintragspfade der Stickstoffeinträge für den historischen Zeitraum (2000-2007) .....	31
Abbildung 27: Anteile der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Stickstoff für den historischen Zeitraum (2000-2007).....	31
Abbildung 28: Phosphoreintragspfade für den historischen Zeitraum (2000-2007).....	31
Abbildung 29: Anteil der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Phosphor für den historischen Zeitraum(2000-2007) .....	32
Abbildung 30: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Stickstoff) nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007).....	32
Abbildung 31: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Phosphor) nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007).....	33
Abbildung 32: Anteil der IKSO-Vertragsparteien an den Gesamteinträgen Stickstoff nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007).....	33

Abbildung 33: Anteil der IKSO-Vertragsparteien an den Gesamteinträgen Phosphor nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007).....	34
Abbildung 34: Flächenspezifische Stickstoffeinträge (Analytical Units) für den historischen Zeitraum (2000-2007).....	35
Abbildung 35: Flächenspezifische Phosphoreinträge für den historischen Zeitraum (2000 -2007).....	36
Abbildung 36: Eintragspfade der Stickstoffeinträge für den aktuellen Zeitraum (2008-2010).....	37
Abbildung 37: Anteil der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Stickstoff für den aktuellen Zeitraum (2008-2010).....	37
Abbildung 38: Eintragspfade der Phosphoreinträge für den aktuellen Zeitraum (2008-2010).....	38
Abbildung 39: Anteil der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Phosphor für den aktuellen Zeitraum (2008-2010).....	38
Abbildung 40: Änderungen der Gesamteinträge (Stickstoff, links und Phosphor, rechts) nach Pfaden in Bezug vom historischen (2000 bis 2007) zum aktuellen Zeitraum (2008 bis 2010). ....	39
Abbildung 41: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Stickstoff) nach Pfaden für den aktuellen Zeitraum (2008-2010).....	39
Abbildung 42: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Phosphor) nach Pfaden für den aktuellen Zeitraum (2008-2010).....	40
Abbildung 43: Flächenspezifische Stickstoffeinträge (Aktueller Zeitraum -2008-2010).....	41
Abbildung 44: Flächenspezifische Phosphoreinträge (Aktueller Zeitraum 2008-2010).....	42
Abbildung 45: Änderungen der Stickstoffeinträge in Bezug des Prognose- Zeitraumes (2011-2021) zum aktuellen Zeitraum (2008 bis 2010).....	43
Abbildung 46: Änderungen der Phosphoreinträge in Bezug des Prognose- Zeitraumes (2011-2021) zum aktuellen Zeitraum (2008 bis 2010).....	43
Abbildung 47: Stickstoffeinträge nach Eintrags- Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 – 2021).....	44
Abbildung 48: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Stickstoff) nach Eintrags- Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 – 2021).....	44
Abbildung 49: Eintragspfade der Phosphoreinträge nach Eintrags- Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 – 2021).....	45
Abbildung 50: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Phosphor) nach Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 bis 2021).....	45
Abbildung 51: Flächenspezifische Stickstoffeinträge (2011-2021).....	46
Abbildung 52: Flächenspezifische Phosphoreinträge (2011-2021).....	47

## 1 Einleitung

Das Odereinzugsgebiet verteilt sich auf die drei Staaten Polen (87,6 %), Tschechien (5,9 %) und Deutschland (6,5 %). Die Gesamtlänge der Oder beträgt 855 km mit einer dazugehörigen Einzugsgebietsfläche von ca. 122.512 km<sup>2</sup>.

Im Rahmen der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurde das Einzugsgebiet in die sechs Bearbeitungsgebiete Obere Oder, Mittlere Oder, Warthe, Lausitzer Neiße, Untere Oder und Stettiner Haff untergliedert. Die im Jahr 2000 verabschiedete Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG) sieht vor, alle europäischen Gewässer grundsätzlich bis zum Jahr 2015 in einen guten Zustand zu überführen. Für die Bestandaufnahme nach Art. 5 Abs. 1 der WRRL 2004 und bei der Erstellung des Internationalen Bewirtschaftungsplanes Anfang 2010 konnten für die Oder nur ungefähre Abschätzungen zu den Nährstoffeinträgen vorgenommen werden.. Ziel dieses Projektes war daher eine modellgestützte, für den Aussagebereich der makro- bis mesoskaligen Maßstabsebene geeignete räumlich differenzierte Berechnung von Nährstoffeinträgen, welche aus unterschiedlichen Herkunftsquellen und über unterschiedliche Eintragspfade in die Oberflächengewässer der gesamten IFGE Oder gelangen.

Hierbei wurde die Veränderung der Nährstoffeinträge seit dem Jahre 2000 bis in die Zukunft, dem Jahr 2021 abgeschätzt. Dazu wurde dieser Zeitraum in drei Abschnitte unterteilt. Die Jahre 2000-2007 bilden die Vergangenheit ab, die Jahre 2008-2010 den aktuellen Stand und für das Jahr 2021 wurde eine Hochrechnung vorgenommen, die zeigen soll wie sich der Eintragszustand verändert, wenn alle Parameter gleich bleiben und nur die Veränderung aufgrund der Grundwasseraufenthaltszeiten berücksichtigt werden. Abschließend wird die Wirkung der Eintragsreduzierung für wenige ausgewählte Managementsoptionen quantifiziert.

Die Berechnungen erfolgten mit dem Modellsystem MONERIS (Modelling Nutrient Emissions into River Systems), welches von BEHRENDT ET AL. (1999, 2002a) zur Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus Punktquellen und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer auf Flusseinzugsgebietsebene entwickelt und durch VENOHR ET AL. (2011) weiter entwickelt wurde.

MONERIS wurde für zahlreiche europäische und deutsche Flussgebiete angewandt (u.a. Donau, Elbe, Oder, Rhein und Po). Dabei gab es Kooperationen mit bis zu 18 Staaten. Darüber hinaus erfolgten bzw. erfolgen Modellanwendungen in Brasilien, China, Kanada und der Mongolei.

## 2 Modell MONERIS und deren methodische Ansätze

### 2.1 Modellstruktur

Das Modell MONERIS ist ein semi-empirisches, konzeptionelles Modell (BEHRENDT ET AL 2000; 2002a; 2002b) zur Abschätzung der Nährstoffeinträge auf der makro- bis mesoskaligen Maßstabsebene. Über einen im Modell integrierten Szenariomanager können die Auswirkungen von Maßnahmen auf den Nährstoffeintrag für unterschiedliche Eintragspfade und räumliche Bezugseinheiten berechnet werden.

MONERIS 3.0 ist für eine anwenderfreundlichere Nutzung mit C# programmiert. Eine wesentliche Verbesserung durch die C#-Programmierung ist die Neustrukturierung des Codes nach Modulen. Die modulare Struktur ermöglicht eine benutzerfreundliche Einbindung neuer Ansätze und Ergänzung von Substanzen. Eine neu integrierte Online-Hilfe und Tooltips auf der Oberflächen unterstützen den Benutzer bei der Durchführung der Modellierungen.

Alle stetigen und veränderlichen Daten bezüglich jedes Analysegebietes (Analytical Unit – AU) als kleinste Modelleinheit werden in der Eingangsdatenbank (MONERIS\_IN.mdb) abgelegt und gespeichert. Die Ausgangsdatenbank (MONERIS\_OUT.mdb) speichert die Berechnungsergebnisse. Diese Datenbank enthält auch die Modellkonstanten.

Die Darstellung der Berechnungsergebnisse auf der Homepage der IKSO erfolgt über das interaktive Tool StatPlanet Plus Viewer (<http://www.statsilk.com>). Über dieses Werkzeug werden alle Modellierungsergebnisse stoffspezifisch, zeitspezifisch und eintragungsspezifisch auf der Benutzeroberfläche grafisch, in Tabellen und Diagrammen für jedes Analysegebiet angezeigt.

## 2.2 Überblick über die methodischen Ansätze

Die maßgebenden Eintragungspfade und -prozesse für die Modellberechnung mit MONERIS sind in Abbildung 1 im Überblick dargestellt. MONERIS berücksichtigt sieben Pfade für Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer:

- Direkte Nährstoffeinträge durch atmosphärische Deposition auf Oberflächengewässer
- Einträge durch Abschwemmung (gelöste Nährstoffe)
- Nährstoffeinträge durch Erosion (partikuläre Nährstoffe)
- Nährstoffeinträge durch Dränagen
- Nährstoffeinträge durch Grundwasser und Interflow (Zwischenabfluss)
- Nährstoffeinträge von versiegelten urbanen Flächen
- Punktquellen (Nährstoffeinträge kommunaler Kläranlagen und industrieller Direktleiter)

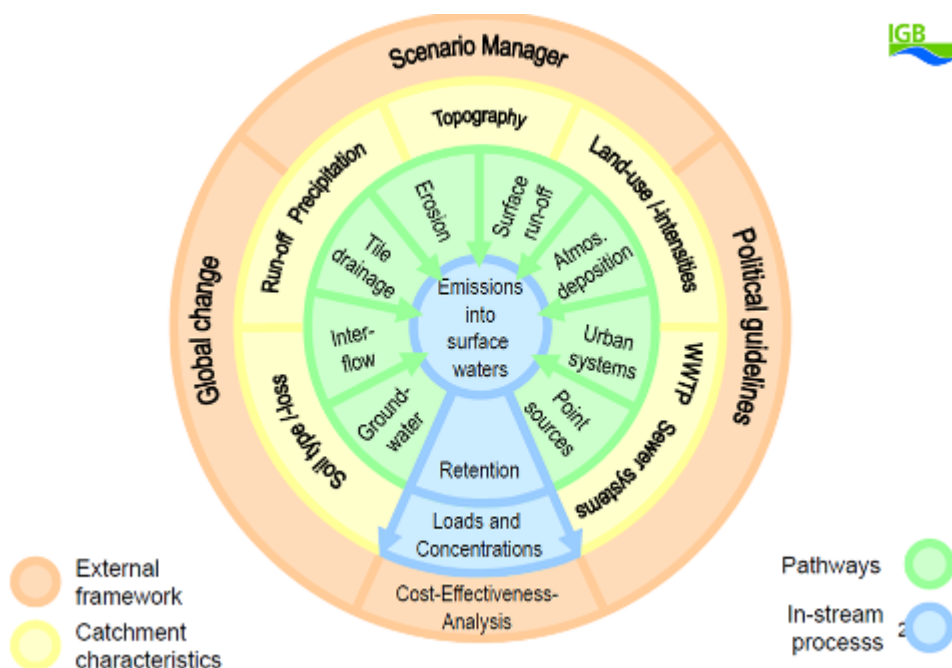


Abbildung 1: Modellschema MONERIS (VENOHR ET AL. (2011))

MONERIS berechnet auf der Ebene von hydrologisch abgeleiteten Analysegebieten (Analytical Units - AU) die Konzentrationen und die Wassermengen separat für die einzelnen Eintragspfade zur Ermittlung der Gesamteinträge. Durch die pfadbezogene Unterscheidung der Stoffkonzentrationen können relevante Transformations- und Retentionsprozesse während der Boden- und Grundwasserpassage individuell berücksichtigt werden. Ebenso werden gewässerinterne Retentions- und Verlustprozesse in den Oberflächengewässern modelliert. Über einen integrierten Szenario Manager lässt sich der Effekt von Handlungsoptionen auf die Nährstoffeinträge, die gewässerinterne Retention und die resultierenden Frachten darstellen.

Nachfolgend wird vorwiegend auf die zentralen Weiterentwicklungen des Modells von der Version 2.0 zur Version 3.0 eingegangen. Eine vollständige Beschreibung der Methodik und Funktionsweise von MONERIS findet sich im Handbuch ([http://www.moneris.igb-berlin.de/tl\\_files/data\\_moneris/data\\_publicationen/Moneris%20Handbuch/MONERIS\\_Handbuch.pdf](http://www.moneris.igb-berlin.de/tl_files/data_moneris/data_publicationen/Moneris%20Handbuch/MONERIS_Handbuch.pdf)).

### Abflussbaum und Abflussgleichung

Die Analysegebiete (Analytical Unit, AU) sind hydrologische Teileinzugsgebiete und stellen als kleinste Modelleinheit die Berechnungsgrundlage von MONERIS dar. Sowohl die Abflüsse als auch der Transport der Stofffrachten durch das Flusssystem wird über die Topologie, d.h. die Reihenfolge in der die AUs durchflossen werden, definiert. Jedes Einzugsgebiet wird hierzu einem unterliegenden Gebiet zugeordnet (From\_ID  $\rightarrow$  To\_ID) und somit ein Abflussbaum generiert. Entwässert ein Gebiet in zwei verschiedene Teileinzugsgebiete (z.B. über einen Kanal), wird über eine gesonderte ID (Split\_ID) ein Splitting eingefügt. Dieser Abflussbaum wird in MONERIS darüber hinaus auch verwendet, um die Gesamteinträge hydrologisch verbundener Einzugsgebiete zu berechnen oder den Einfluss einzelner AUs auf die Frachten am Auslass eines Flusssystems zu ermitteln.

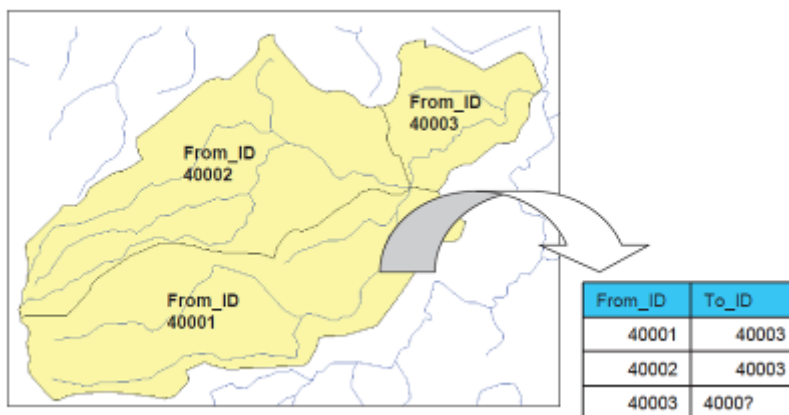


Abbildung 2: GIS-basierte Generierung des Abflussbaumes (Quelle IGB)

## 2.3 Modellierung des Gebietswasserhaushalts

Für die Berechnung der Nährstoffeinträge werden in MONERIS für jeden Eintragspfad die Abflusskomponente, die Nährstoffkonzentration und relevante Retentions- und Rückhalteprozesse berechnet, wobei hier für Stickstoff und Phosphor aufgrund der unterschiedlichen beteiligten Prozesse, die Bedeutung des Eintragspfades für den jeweiligen Stoff und die Datenverfügbarkeit unterschiedliche Methoden herangezogen werden. Neben der Berechnung der Nährstoffkomponenten ist die Modellierung des Wasserhaushalts daher von vergleichbarer Bedeutung für die Modellergebnisse.



## Abflussskalibrierung

Der unkorrigierte Gebietsabfluss ( $Q_{AU}$ ) wird wie folgt aus der Bilanz von Niederschlag und Verdunstung berechnet:

$$Q_{AU} = \text{Niederschlag} - \text{Evapotranspiration} - \text{Speicher}$$

Ein Speicherkorrekturfaktor kompensiert Wasserdefizite oder –überschüsse wie z.B. Grundwasserneubildung und Schneespeicherung.

In trockenen oder kleinen Analysegebieten kann ein relevanter Anteil des Abflusses aus Punktquellen stammen und dies kann zu einer räumlichen (und zeitlichen) Umverteilung der Wasserbilanzen führen.

Daher wird der Gebietsabfluss um den eintragsrelevanten Anteil des Abflusses aus Punktquellen nachkorrigiert.

$$Q_{AU} = \text{Niederschlag} - \text{Evapotranspiration} - \text{Speicher} - \text{Eintragsrelevanter Anteil des Abflusses aus Punktquellen}$$

## 2.4 Nährstoffeinträge durch Abschwemmung

Die Einträge gelöster Nährstoffe durch Abschwemmung werden entsprechend dem Schema der Abbildung 3 ermittelt:

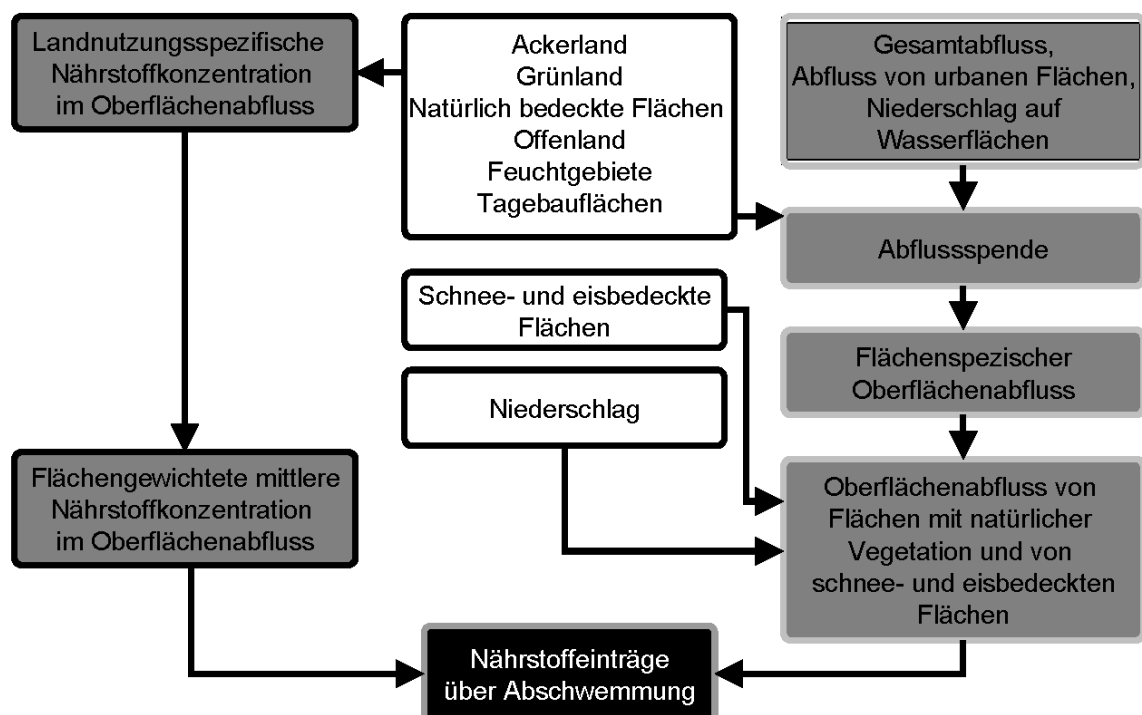


Abbildung 3: Nährstoffeinträge durch Abschwemmung (Quelle: IGB)

Der Oberflächenabfluss, zur Berechnung der Einträge über Abschwemmung, wird nach dem von CARL ET AL. (2008) und CARL & BEHRENDT (2008) entwickelten Ansatz als Funktion des Gesamtabflusses (siehe Kap. 2.3) ermittelt. Für den Abfluss von Schnee und Gletschern wird ein Exponent angenommen, der aus alpinen Gebieten nach ZESSNER (2011) abgeleitet wurde. Während die Abschwemmung für Stickstoff von eher vernachlässigbarer Bedeutung ist, kann sie für Phosphor in manchen Regionen von großer Bedeutung sein. Daher wurde zur Verbesserung der Modellergebnisse am IGB der Ansatz zur Beschreibung der Phosphorkonzentrationen kürzlich weiterentwickelt. Für die Ermittlung der Phosphorkonzentration im Oberflächenabfluss basiert auf der Ableitung der Phosphor-Sättigung in Böden nach PÖTHING ET AL. (2010). Da die Sättigung nicht direkt als Eingangsgröße zur Verfügung steht, wird sie über die bodenartenspezifischen Eigenschaften und die Phosphorakkumulation in Böden abgeleitet (Abbildung 4).

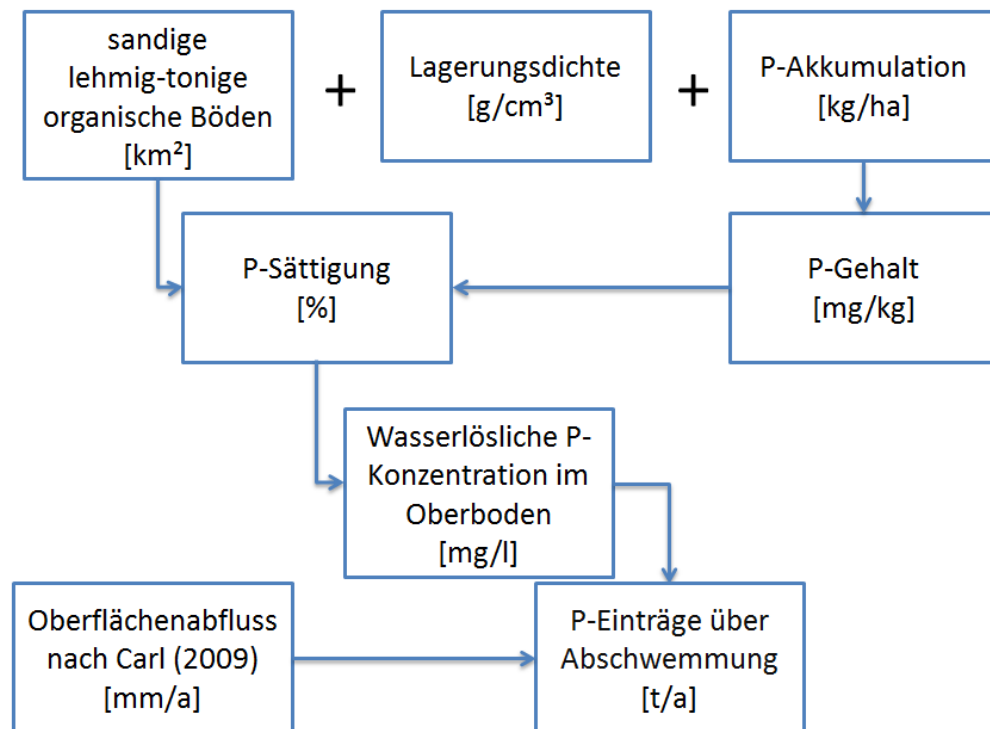


Abbildung 4: Berechnungsansatz Abschwemmung (Quelle: IGB)

## 2.5 Nährstoffeinträge durch Erosion

Die Stoffemission durch Erosion von Ackerflächen (siehe Abbildung 5) ergibt sich aus dem Sedimenteintrag, dem Nährstoffgehalt des Oberbodens und einem transportbedingten Anreicherungsfaktor (Enrichment Ratio, ER). Zur Quantifizierung des Sedimenteintrages wird die beim IGB erzeugte Bodenabtragskarte auf Basis des Digitalen Geländemodells (DGM), der Landnutzungsdaten nach CORINE und der europäischen Bodenkarte (FAO) verwendet. Der Bodenabtrag wurde über die allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) berechnet, die folgende Faktoren berücksichtigt: Hangneigungsfaktor, Hanglängenfaktor, Regen- und Oberflächenfaktor, Bodenerodierbarkeitsfaktor, Bodenbedeckungsfaktor und Erosionsschutzfaktor.

Nicht alle Flächen auf denen Erosion stattfindet sind hydrologisch an ein Gewässer angeschlossen und haben nicht zwingend einen erosiven Eintrag in die Oberflächengewässer zur Folge. Der Anteil der Flächen, der zu einem effektiven Eintrag über Erosion in die Oberflächengewässer führen kann (Sedimenteintragsverhältnis), wurde durch BEHRENDT ET AL. (1999) analysiert und in eine empirische Gleichung überführt. Bisher wurden alle Waldflächen als an das Gewässernetz angeschlossen betrachtet, in der aktuellen MONERIS-Version wurde hier ebenfalls das Konzept des Sedimenteintragsverhältnisses in den Berechnungsansatz übernommen.

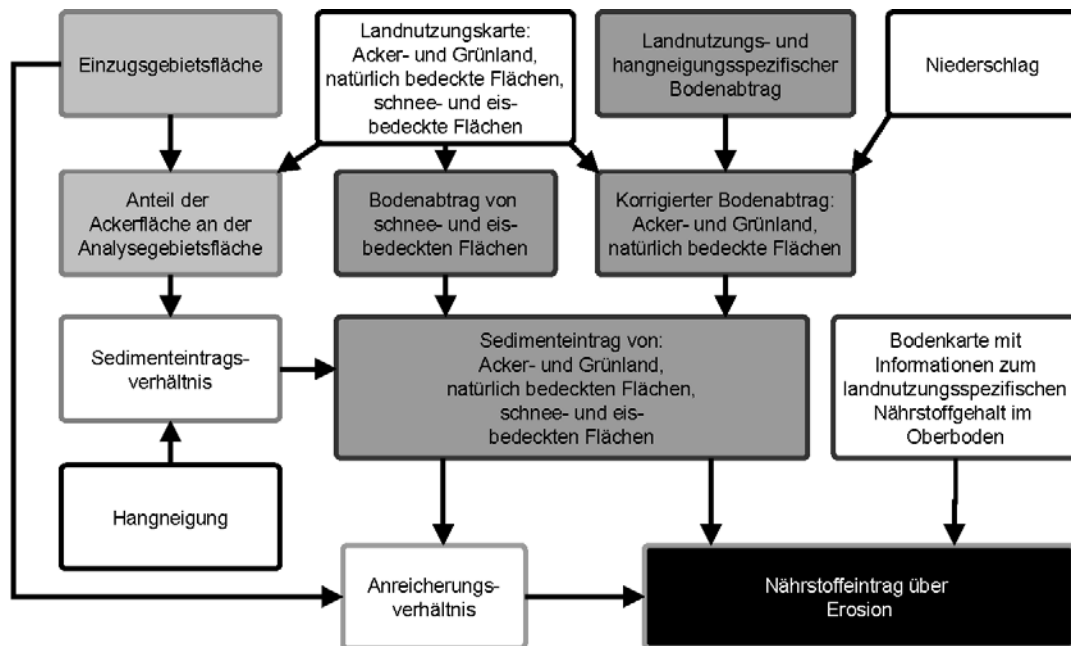


Abbildung 5: Berechnung der Nährstoffeinträge durch Erosion (Quelle: IGB)

## 2.6 Nährstoffeinträge über Drainagen

Die Quantifizierung der Stoffemissionen aus Drainagen erfolgt über die Größe der dränierten Fläche, die Dränspende und die Stoffkonzentration des Dränwassers. Die Dränspende wird nach KRETSCHMAR (1977) auf Basis der Annahme berechnet, dass 50 % der Winter- und 10 % der Sommerniederschläge über Drainagen abfließen. Bei diesem Ansatz werden die regionalen Unterschiede in der Niederschlagsverteilung berücksichtigt (Abbildung 6).

Die mittlere Phosphorkonzentration in den Analysegebieten wird flächengewichtet auf Flächen mit sandigen und lehmigen Böden, Niedermooren und Hochmooren berechnet (BEHRENDT ET AL., 2000).

Für Stickstoff wird der Abbau (Denitrifikation) in der Wurzelzone und die Fixierung und Überführung in Biomasse unter Grünland mit einbezogen.

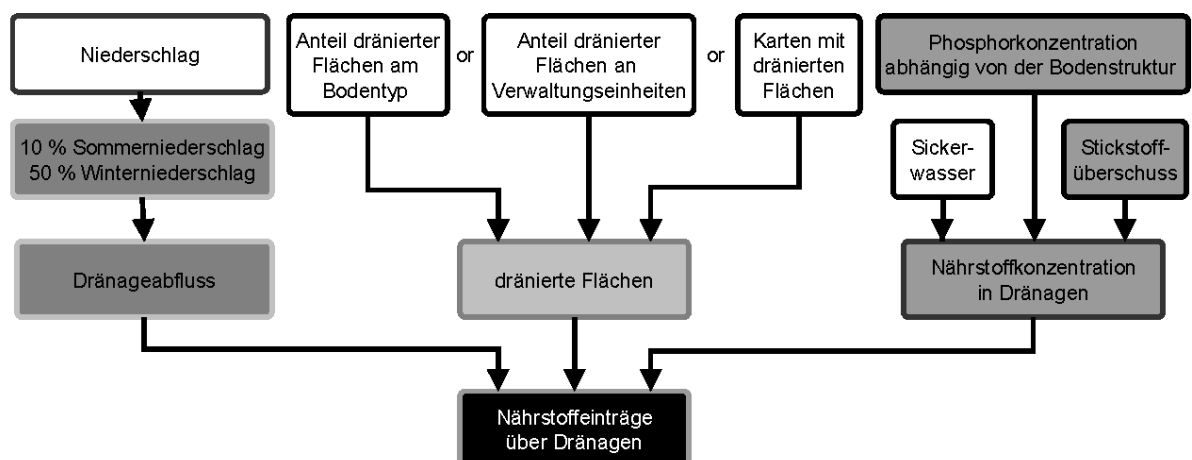


Abbildung 6: Nährstoffeinträge durch Drainagen (Quelle: IGB)

Die nach FREDE & DABBERT (1998) berechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser wird durch den Denitrifikationsfaktor  $C_{TN}$  reduziert, der von BEHRENDT ET AL. (2000) mit 0,85 angegeben wird. Im neuen Modellansatz werden die Anteile der drainierten Flächen nach Ackerland und Grünland unterschieden. Zahlreiche Grünlandflächen sind häufig auch drainiert, da aber auf Grund der höheren Denitrifikationskapazität ein geringerer Eintrag in die Gewässer erfolgt (höherer Rückhalt), wurde für die Grünlandflächen ein Faktor von 0,35 (Abbildung 7). angenommen. Die Phosphorkonzentrationen in Drainage werden bodenartenspezifisch und für degradierte Moore als Konstanten abgebildet. Vor allem degradierte Niedermoores können zu sehr hohen P-Konzentrationen führen und verdeutlichen die Bedeutung einer Renaturierung von Mooren.

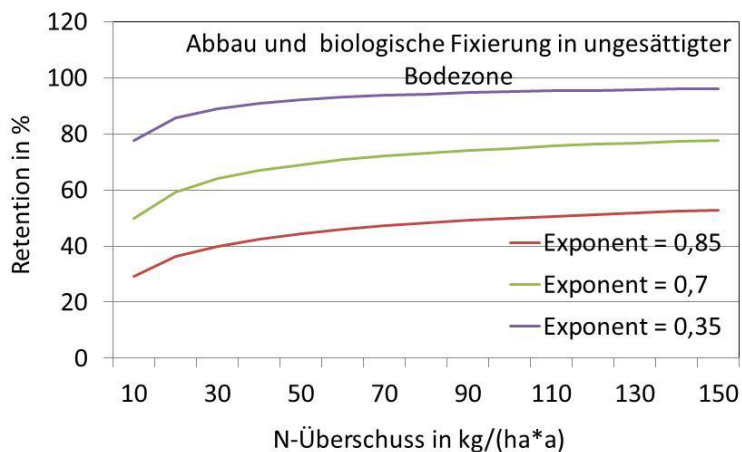


Abbildung 7: N-Abbau/Fixierung bei drainierten Grünlandflächen (Quelle: IGB)

## 2.7 Stickstoffeinträge über Grundwasser und Interflow (Zwischenabfluss)

Die Einträge über den Grundwasserpfad werden aus dem Produkt des Grundwasserabflusses und der Stoffkonzentration im Grundwasser ermittelt. Hierbei wird der natürliche Zwischen- und Basisabfluss einbezogen. Der Grundwasserabfluss wird für jedes Modellgebiet aus der Differenz zwischen dem Gesamtabfluss und der Summe der anderen Ausflusskomponenten (Dränageabfluss, Oberflächenabfluss, Abfluss von versiegelten Flächen, Abfluss aus Punktquellen und dem Niederschlag auf die Gewässer-oberfläche) ermittelt. Die Stickstoffkonzentration im Grundwasser wird von der potentiellen Stickstoffkonzentration im Oberboden hergeleitet. Da die Aufenthaltsdauer von Wasser und Substanzen auf dem Weg von der Wurzelzone zum Grundwasser und im Grundwasser mehrere Jahre betragen kann, muss die aktuelle Stickstoffkonzentration des Oberbodens durch einen Mittelwert ersetzt werden, der die gesamte Aufenthaltsdauer im Grundwasser widerspiegelt. Dies dient insbesondere der Berücksichtigung des sich ändernden Stickstoffüberschusses auf landwirtschaftlichen Flächen während der Aufenthaltszeit im Grundwasser. Liegen Grundwasseraufenthaltszeiten nicht vor, werden diese modellintern berechnet. Die von den hydrogeologischen Bedingungen abhängige Stickstoffretention im Boden, in der ungesättigten Zone und im Grundwasser wird aus dem Vergleich zwischen den regionalen Nitratkonzentrationen im Grundwasser und der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser berechnet (Abbildung 8). Eine negative Grundwasserneubildung wurde bisher mit einem Wert von 25 mm/a abgebildet, in der neuen Modellversion wird der Wert auf 0 mm/a gesetzt. Diese Infiltration wird jetzt als Versickerung aus den Oberflächengewässern bei der Frachtberechnung berücksichtigt.

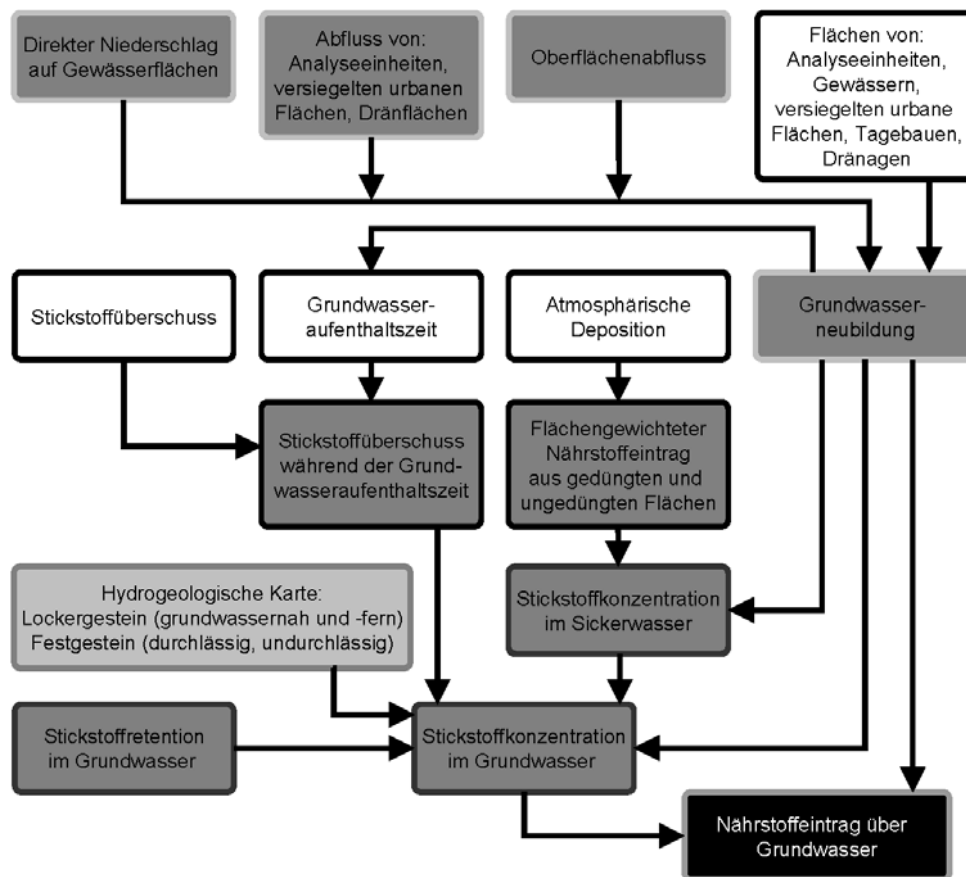


Abbildung 8: Stickstoffeinträge aus dem Grundwasser/Interflow (Quelle: IGB)

Die Berechnung der P-Konzentrationen in den Analysegebieten erfolgt auf Basis der nach Bodentypen unterschiedenen Grundwasserkonzentrationen von gelöstem, reaktivem Phosphor.

## 2.8 Nährstoffeinträge über Urbane Systeme und Punktquellen

Die Emissionen aus **urbanen Systemen** setzen sich aus vier verschiedenen Eintragspfaden (Abbildung 9) zusammen

- Einträge von versiegelten urbanen Flächen über Regenwasserkanäle,
- Einträge von Haushalten und versiegelten urbanen Flächen über Mischkanalisations-Überläufe,
- Einträge von Haushalten und versiegelten urbanen Flächen, die an eine Kanalisation, aber nicht an eine Kläranlage angeschlossen sind und
- Einträge von Haushalten und versiegelten urbanen Flächen, die nicht an die Kanalisation angeschlossen sind.

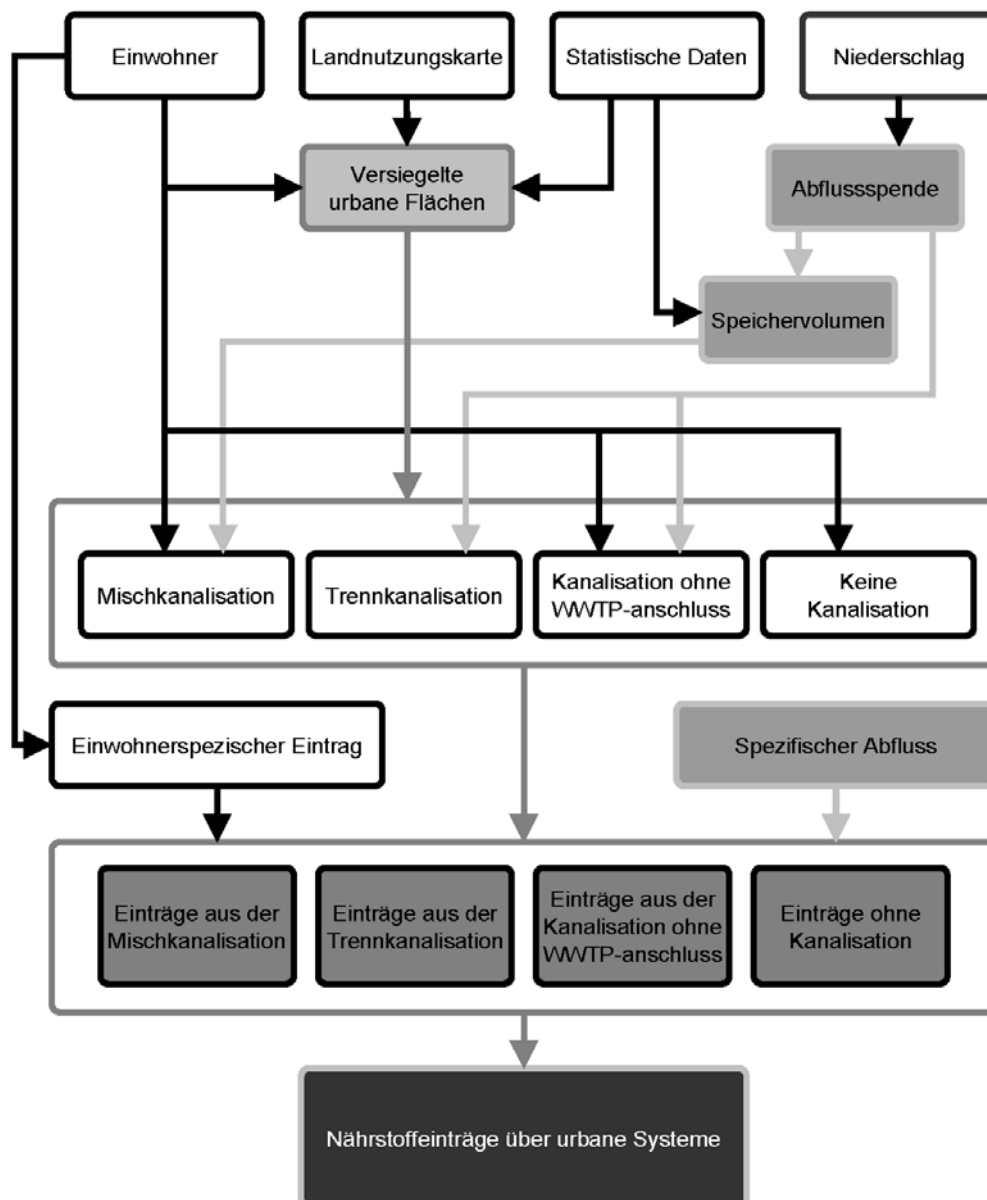


Abbildung 9: Nährstoffeinträge über urbane Systeme (Quelle: IGB)

Bei der Berechnung der Nährstoffeinträge aus **Punktquellen** werden Daten zu den kommunalen Kläranlagen und Direkteinleitern berücksichtigt.

## 2.9 Berechnung der Nährstoffretention in Oberflächengewässern

Zur Berechnung der Nährstoffretention in den Flüssen und Seen sowie der Einträge durch direkte atmosphärische Deposition ist die Berechnung der Gewässeroberfläche in den Analysegebieten nötig. Zur Abschätzung der Gewässeroberfläche wird der Ansatz nach VENOHR ET AL. (2005, 2012) zur Abschätzung der Flussbreite von Haupt- und Nebenflüssen verwendet (Abbildung 10). Die Länge der Fließgewässer wird hierbei aus topographischen Karten entnommen, wobei je nach Datenquelle und -maßstab, der Grad der Generalisierung über die von VENOHR (2006) ermittelten Skalierungsfaktoren für Haupt- und Nebenläufe korrigiert werden.

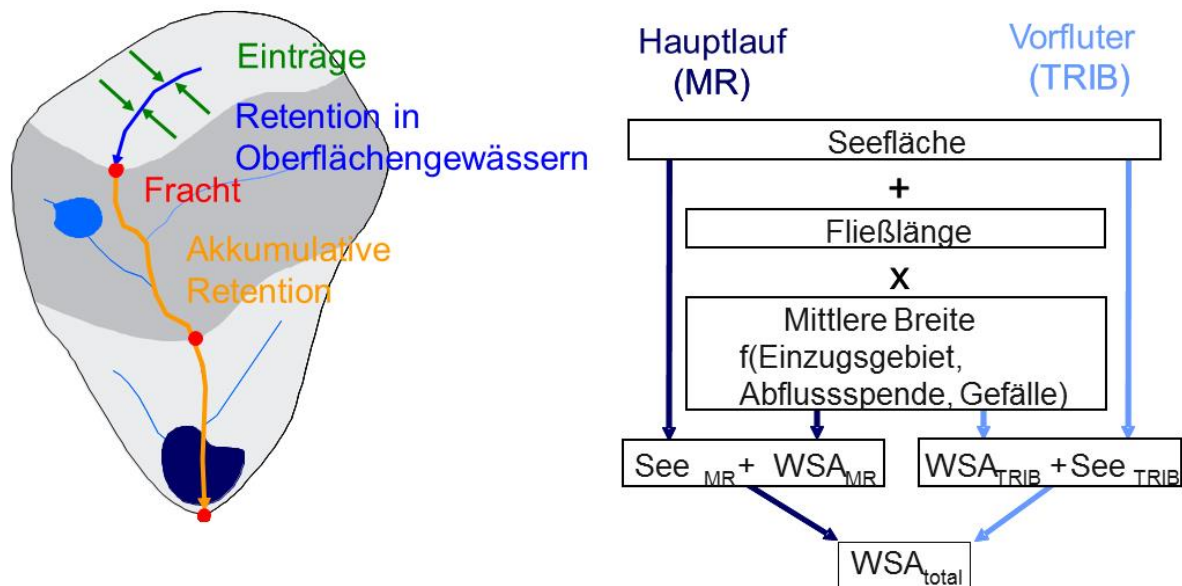


Abbildung 10: Berechnung der Gewässerfläche (WSA) von Haupt- (MR) und Nebenläufen (TRIB) (VENOHR, 2006))

Zentrale Retentionsprozesse sind der mikrobielle Abbau (Denitrifikation) von Stickstoff und die Sedimentation von Phosphor. Für die gewässerinterne Retention von Stickstoff und Phosphor wird als zentrale Steuergröße die hydraulische Belastung herangezogen. Diese ergibt sich aus dem Verhältnis von Abfluss zu Gewässeroberfläche und impliziert indirekt die Aufenthaltszeit bzw. das Verhältnis von Wasservolumen zu Sedimentoberfläche und ist somit für beide Nährstoffe als Steuergröße geeignet. Für Stickstoff wird zusätzlich die Wassertemperatur, als dominierende Steuergröße für die biologische Aktivität zur Berechnung der Denitrifikation herangezogen.

### 3 Datengrundlagen und deren Aufbereitung für das Modell

Das nachfolgende Kapitel gibt einen Überblick über die relevanten verwendeten Datengrundlagen. Fehlen in einem Untersuchungsgebiet wichtige Eingangsdaten, oder wiesen diese größere Lücken auf, so wurden europaweit vorliegende Daten ergänzend herangezogen.

#### 3.1 Einteilung des Modellierungsgebietes in Analysegebiete

Grundlage der Modellberechnungen ist eine Gebietsuntergliederung für das Flusssystem der Oder in 484 mit der IKSO und der Koordinierungsgruppe abgestimmte Analysegebiete (64 Gebiete mit ca. 9.000 km<sup>2</sup> in Deutschland; 377 Gebiete mit ca. 108.000 km<sup>2</sup> in Polen und 43 Gebiete mit ca. 7.300 km<sup>2</sup> in Tschechien), die zu Bearbeitungsgebieten und administrativen Einheiten aggregiert werden können. Die Analysegebiete berücksichtigen die im Rahmen der WRRL-Umsetzung ausgewiesenen hydrographischen Einheiten (Wasserkörper).

Für die polnischen und tschechischen Gebiete wurden die AUs komplett neu ausgewiesen. Die für Deutschland vorliegenden Analysegebiete (FUCHS ET AL., 2010) wurden nur im Grenzbereich zu Polen und Tschechien an die neuen, dort ausgewiesenen Grenzen angepasst. Die Analysegebiete wurden in Zusammenarbeit mit der IKSO und den Koordinierungspartnern abgestimmt und geometrisch durch den Auftraggeber aufbereitet. Das Stettiner Haff wird in der Modellierung berücksichtigt.

Die drei Länder- Gewässernetze der IKSO- Vertragsparteien wurden zu einem einheitlichen Datensatz harmonisiert und als Datengrundlage für Abflussbaum und Berechnung der Gewässeroberfläche verwendet. In der folgenden Abbildung 11 ist eine Übersichtskarte für die verwendeten Analysegebiete und das Gewässernetz dargestellt.



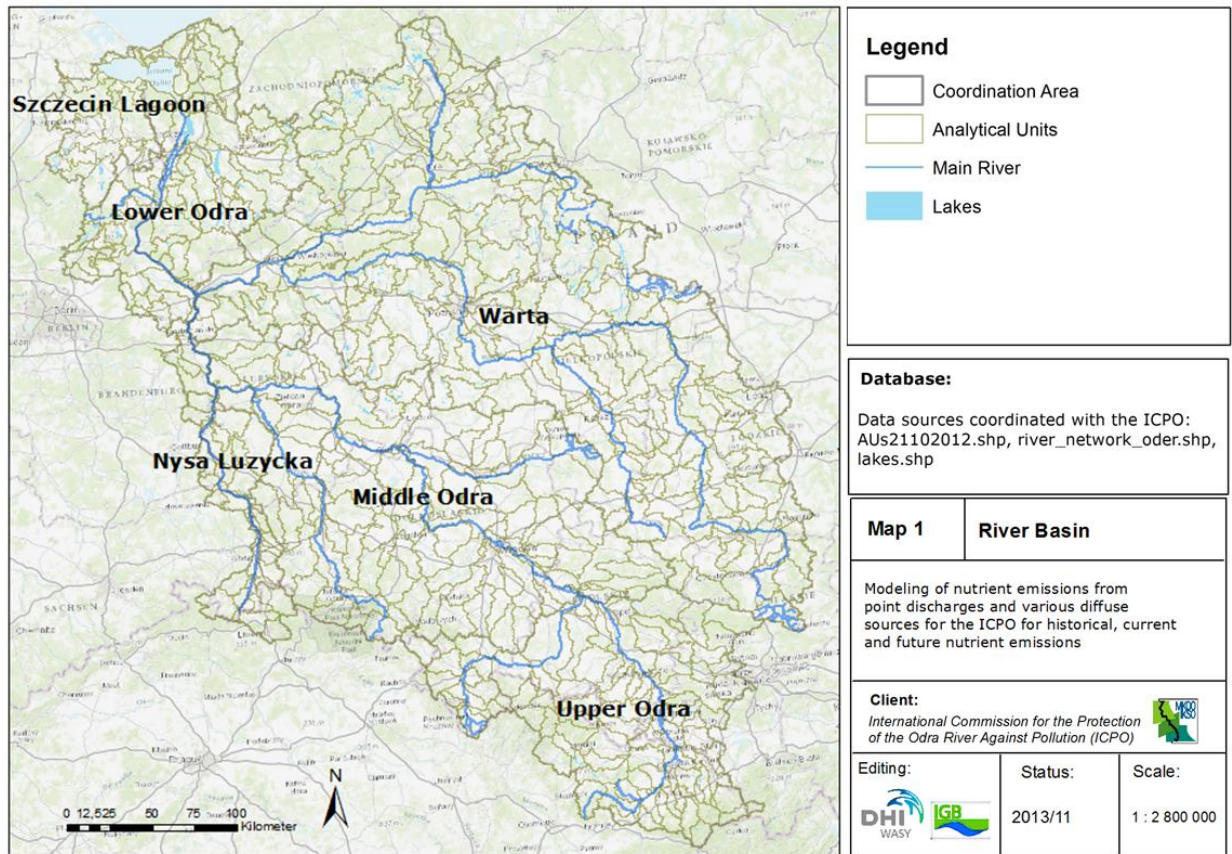


Abbildung 11: Einzugsgebiet, Analysegebiete und Gewässernetz

## 3.2 Flächenbezogene Eingangsdaten

### 3.2.1 Landnutzung

Der größte Teil des Odereinzugsgebiet wird landwirtschaftlich genutzt. Im Bereich der Oberen Oder und der Warthe liegt der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche bei etwa 70 %.

Im Bereich der Oberen Oder existieren auch einige große (Industrie-) Städte, wie beispielsweise Opole und Ostrau in der Tschechischen Republik.

Für die Klassifikation der Landnutzung lagen Daten des CORINE Land Cover ((CLC 2006; DLR-DFD 2009) vor. Die Klassen des CORINE Land Cover wurden für die Modellierung wie folgt zusammengefasst (Tabelle 1):

Tabelle 1: Landnutzungsklassen nach MONERIS

Klasse	Erläuterung/Einheit
--------	---------------------



Urban area	[km <sup>2</sup> ]
ArableLandSlopeLess1	Arable land with slope less 1%, [km <sup>2</sup> ]
ArableLandSlope1To2	Arable land with slope between 1 and 2%, [km <sup>2</sup> ]
ArableLandSlope2To4	Arable land with slope between 2 and 4%, [km <sup>2</sup> ]
ArableLandSlope4To8	Arable land with slope between 4 and 8%, [km <sup>2</sup> ]
ArableLandSlopeGreater8	Arable land with slope greater 8%, [km <sup>2</sup> ]
Grassland	[km <sup>2</sup> ]
NaturalCoveredArea	[km <sup>2</sup> ]
WaterSurfaceArea	[km <sup>2</sup> ]
OpenPitMine	[km <sup>2</sup> ]
OpenArea	[km <sup>2</sup> ]
Wetland	[km <sup>2</sup> ]
Other	Remaining area, [km <sup>2</sup> ]

Abbildung 12 zeigt die Klassifizierung der Landnutzungsdaten im Odergebiet.

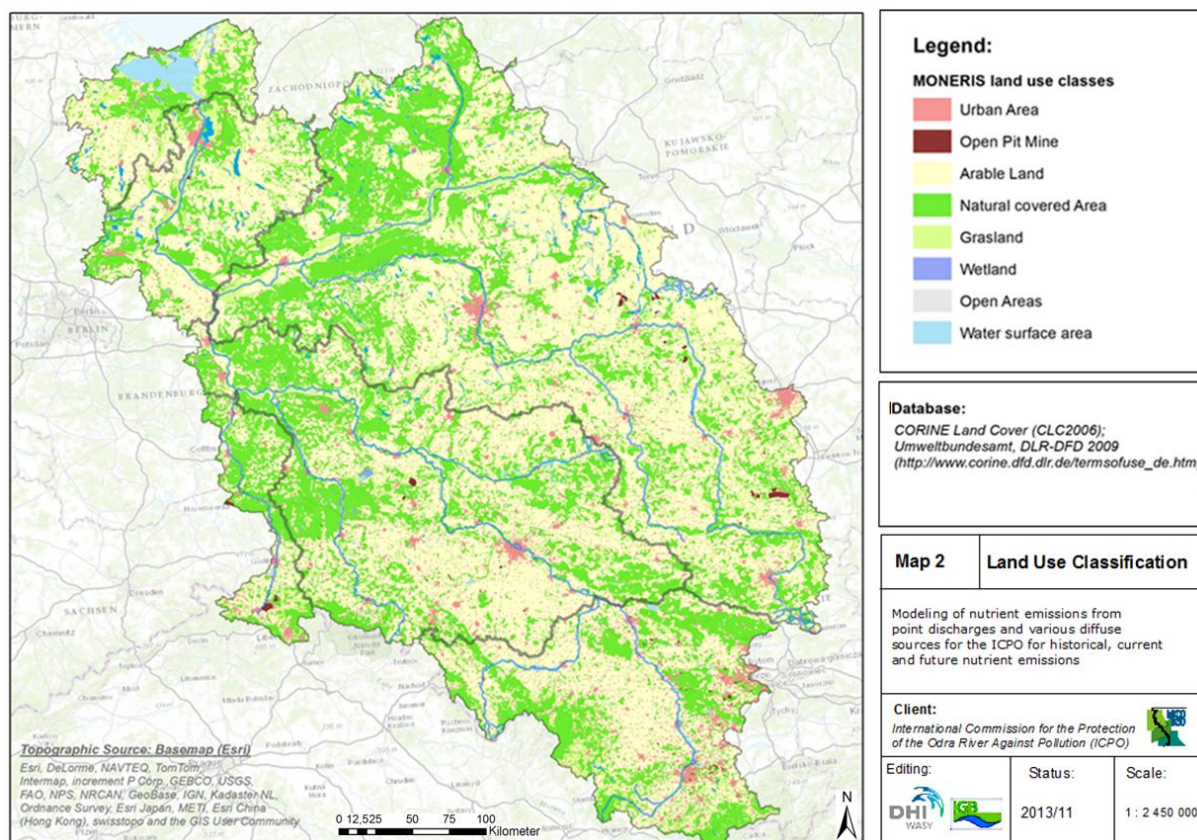


Abbildung 12: Klassifizierung der Landnutzungsdaten (CORINE)

### 3.2.2 Höhendaten

Das mittlere Gefälle wird bei der Ableitung der Bodenabträge, der Wasserflächenberechnung und für die Ausweisung von Flächen auf denen Erosion stattfinden kann, verwendet. Für die Ableitung des mittleren Gefälles (slope) und der mittleren Höhe der Einzugsgebiete wurden das Höhenmodell DEM100

(DEM100, digital elevation model, NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, 2005); 90x90m Auflösung aufbereitet zu 100x100 m Auflösung) und DEM1000 (U.S. Geological Survey, 1996, GTOPO30; 1000x1000m) verwendet. Die Hangneigung wird als Basis für die Erosionsberechnung verwendet. MONERIS unterscheidet fünf Hangneigungsklassen (Tabelle 2):

Tabelle 2: Hangneigungsklassen nach MONERIS

Klasse	Hangneigung in %
1	<1
2	1-2
3	2-4
4	4-8
5	>8

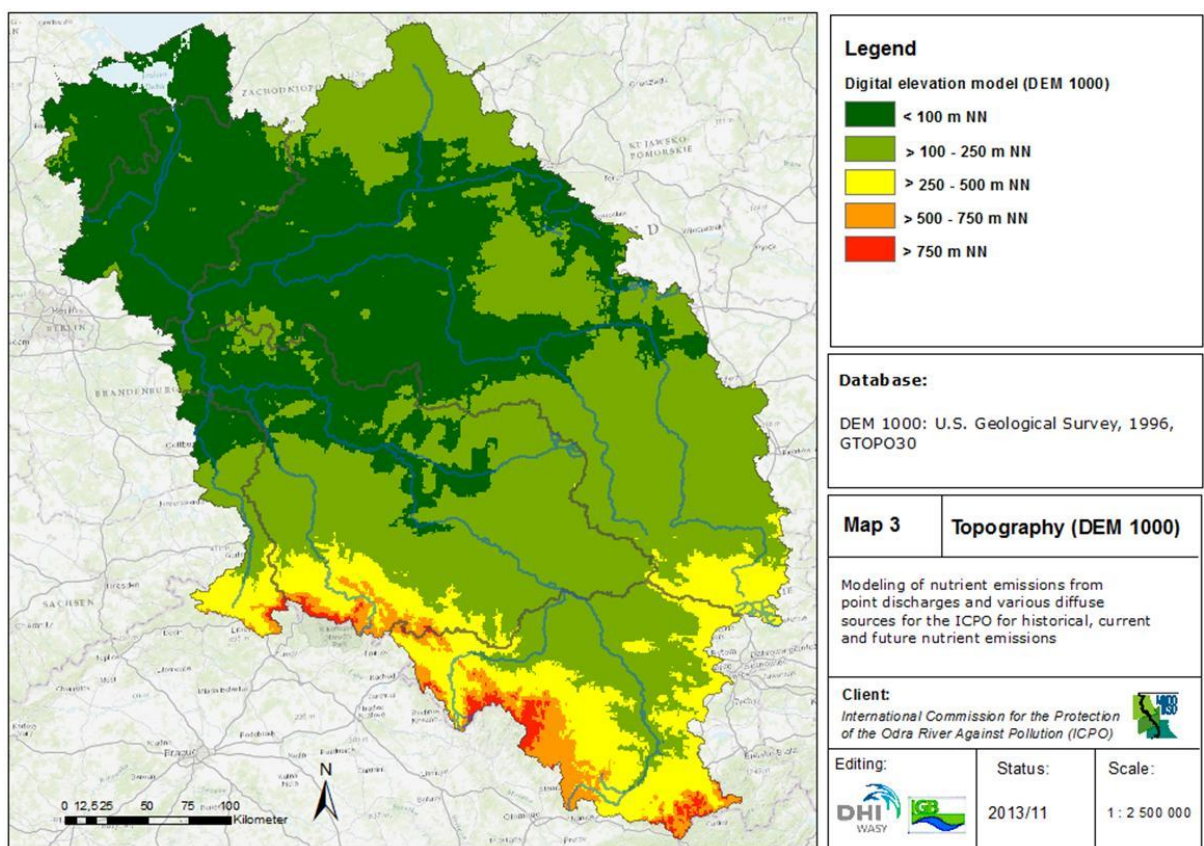


Abbildung 13: Topografie im Odereinzugsgebiet

### 3.2.3 Atmosphärische Deposition

Daten zur atmosphärischen Gesamtd deposition für Stickstoff der Jahre 2000-2010 wurden den Ergebnissen des Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP) vom Det Norske Meteorologiske Institut (DNMI, Norwegen) entnommen. Die EMEP-Daten liegen für das gesamte Einzugsgebiet in Form von Rasterkarten mit einer Auflösung von 50 x 50 km als NO<sub>x</sub>-N und NH<sub>4</sub>-Deposition in kg/km<sup>2</sup> vor (Abbildung. 15).

Durch die Verschneidung der Depositionsdaten mit den Einzugsgebietsgrenzen wurde die mittlere NO<sub>x</sub>-N- und NH<sub>4</sub>-N-Deposition innerhalb jedes Analysegebietes ermittelt.

Für Polen lagen zusätzlich monatliche Niederschlagsfrachten für Nitrite/ Nitrate, Ammonium-Stickstoff und Phosphor von 14 Überwachungsmessstationen für die Jahre 2000-2010 vor. Ausgehend von den aufsummierten Monatswerten wurden über das Interpolationsverfahren Inverse Distance Weighted (IDW) die Werte regionalisiert. Das IDW-Verfahren berücksichtigt die horizontale Variabilität der Stationsdaten im Raum, wobei unterstellt wird, dass die Relevanz mit zunehmender Entfernung abnimmt. Diese erhaltenen Ergebnisse der nassen Deposition im Niederschlag wurden mit den EMEP-Ergebnissen in Bezug auf ihre räumliche Verteilung verglichen. Die Untere Oder, Obere Oder und das Stettiner Haff konnten auf Grund nicht ausreichender Messdichte nur unzureichend abgebildet werden.

Die Abbildung 14 stellt einen Vergleich der regionalisierten EMEP-Daten mit den interpolierten Messdaten für NH<sub>y</sub> für das Jahr 2002 dar. Die maximalen Werte befinden sich in den industriellen Scherpunktbereichen (Poznan, Katowice) und in den Gebirgsregionen (Schneekoppe/Sniezka).

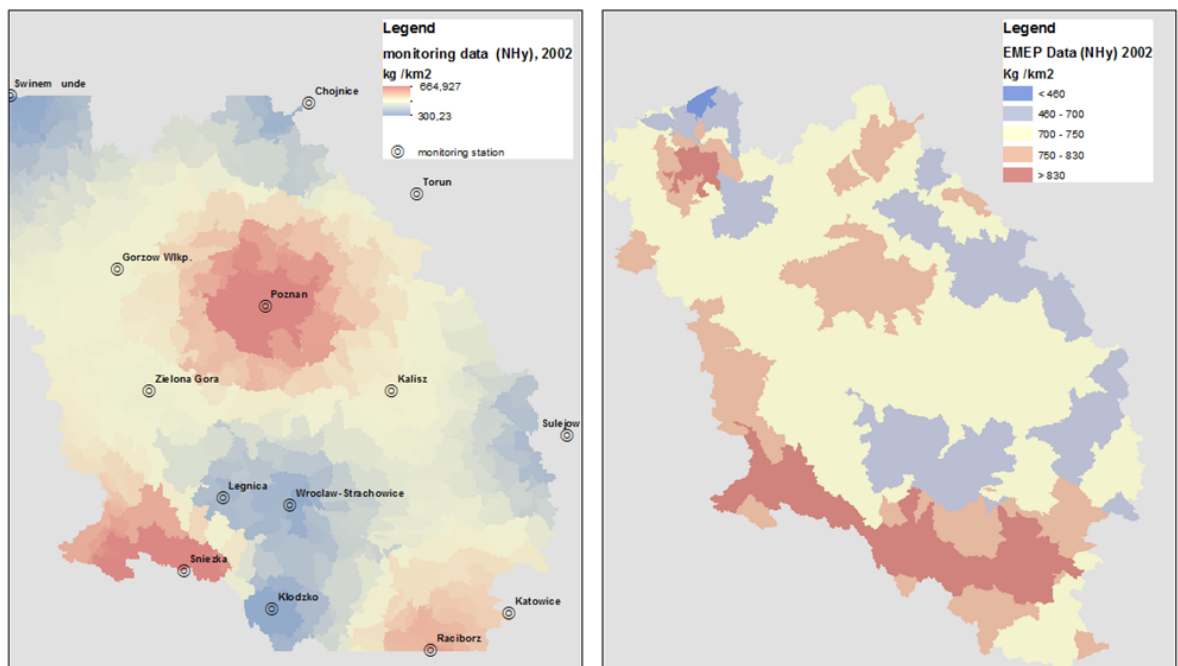


Abbildung 14: Vergleich der gemessenen Depositionsfrachten NH<sub>y</sub> von 14 Überwachungsstationen (links) mit den EMEP-Depositionswerten für das Jahr 2002 (rechts)

Für die gesamte P-Depositionsrate, die von der Landnutzung der betrachteten Fläche abhängig ist, lässt sich für europäische Einzugsgebiete ein Mittelwert von 0,37 kg P/(ha\*a) (BEHRENDT ET AL., 2002b) ableiten. Die aufsummierten Monatsfrachten für Phosphor aus den polnischen Überwachungsmessstationen wurden ebenfalls regionalisiert. Die Interpolationsergebnisse zu den P-Depositionsraten schwanken zwischen 0,15- 0,37 kg P/(ha\*a).



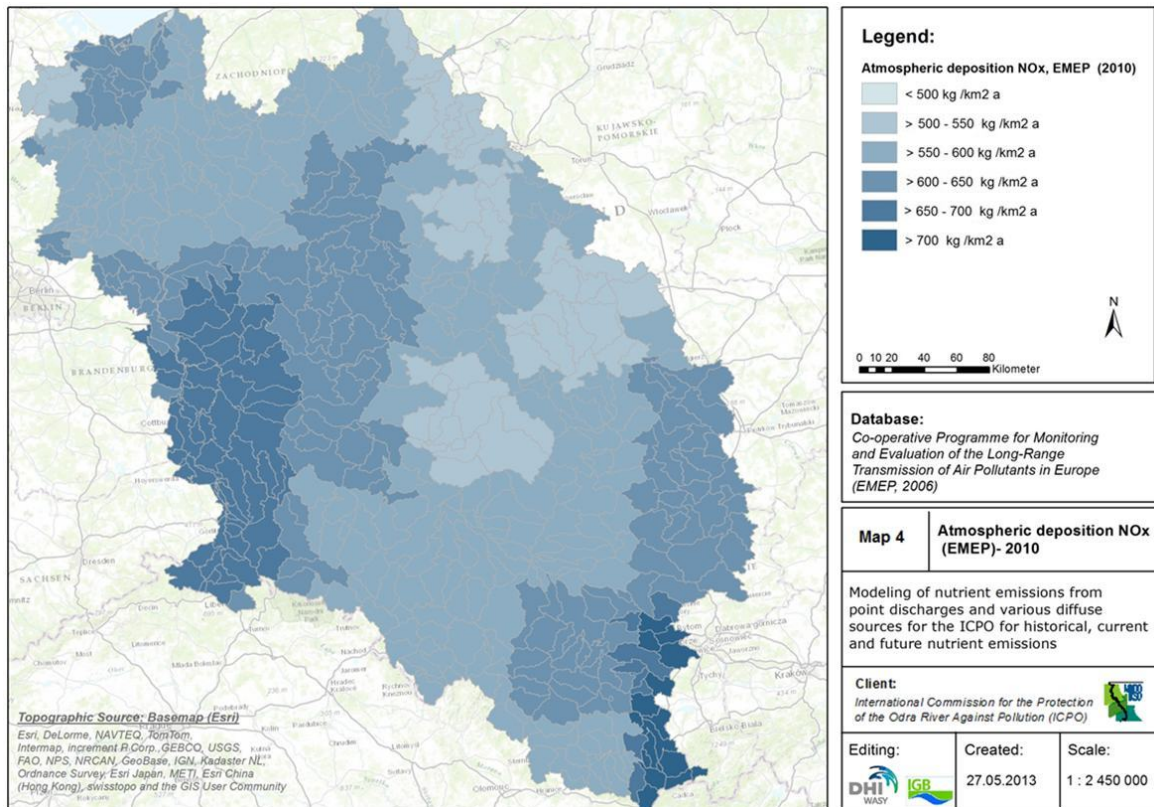


Abbildung 15: Atmosphärische NO<sub>x</sub>-Deposition basierend auf EMEP-Daten für das Jahr 2010

### 3.2.4 Bodendaten

Für die Modellierung in MONERIS werden die zentralen Bodenarten (Sande, Lehme, Schluffe, Tone) und die Flächen von Nieder- und Hochmooren unterschieden. Für das gesamte Einzugsgebiet wurde die Europäische Bodenkarte des European Soil Bureau (1:1000000) verwendet. Basierend auf den Angaben in der FAO Bodenkarte zum Ton und Schluffgehalt im Oberboden wurden mittels der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden, Bodenkundlichen Kartieranleitung, 5. Aufl., 438 S., 2005, siehe Abbildung 16, S. 142) die Bodenartenhauptgruppen ausgewiesen. Für jede Bodenarthauptgruppe wurden die Flächenanteile je Analysegebiet in km<sup>2</sup> berechnet. In Abbildung 16 ist für jedes Analysegebiet die Bodenart dargestellt, welche den größten Flächenanteil im Gebiet besitzt (mean soil type). Niedermoorflächen sind nur gering im Untersuchungsgebiet vorhanden, in der Abbildung wurden die Analysegebiete extra dargestellt, in welchen der Anteil der Moorfläche an der Gesamtfläche mehr als 20 Prozent ist.

Zusätzlich wurden die erforderlichen regionalisierten prozentualen Informationen zum Stickstoffgehalt und Tongehalt der oberen Bodenschicht aus der FAO-Bodenkarte (DSMW = digital soil map world, 2007) verwendet.

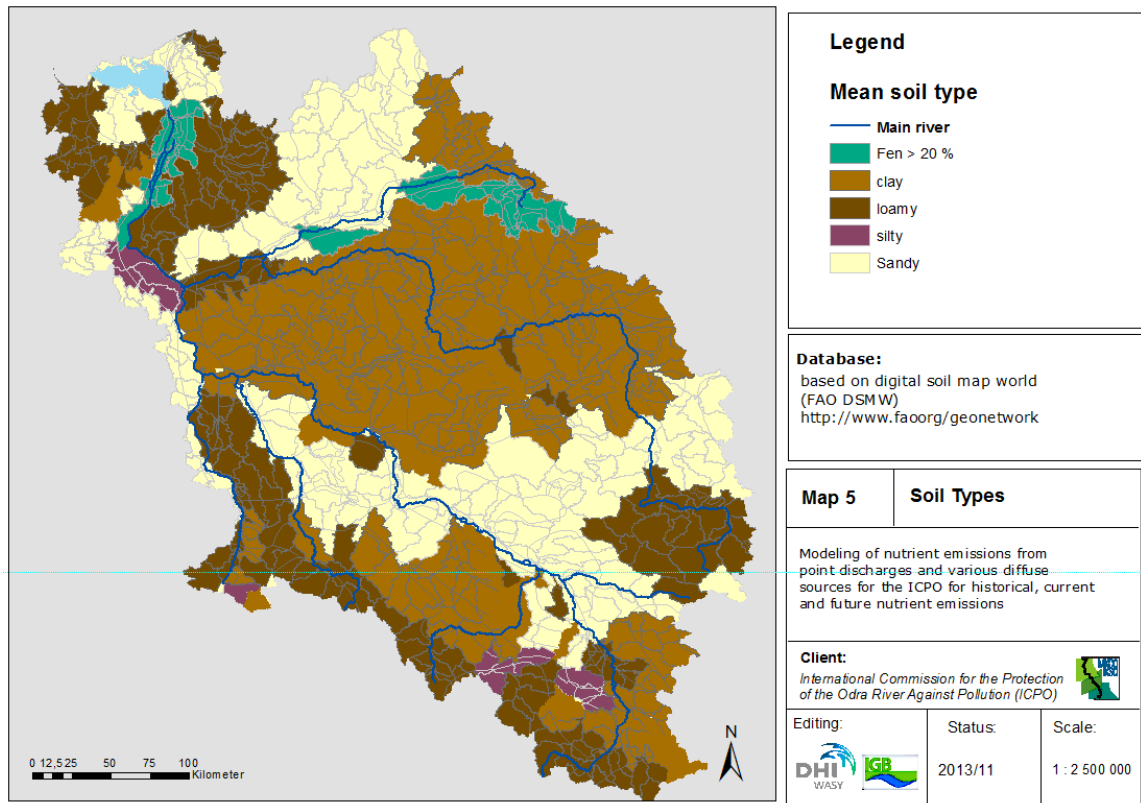


Abbildung 16: Bodenarten im Odereinzugsgebiet

### 3.2.5 Drainagedaten

Die Ableitung des Anteils dräniertter Flächen an der gesamten Ackerfläche basiert auf den Arbeiten von BEHRENDT ET AL. (1999), wobei die Dränflächen der Gebiete im Bereich der deutschen Bundesländer über eine Gewichtung der Bodenstandorttypen abgeschätzt wurde (Abbildung 17). Diese Daten wurden für die deutschen und polnischen Analysegebiete verwendet. Für die tschechischen Gebiete waren Angaben zu den Dränflächen und Flächenangaben zu Acker- und Grasland und Obstanbauflächen vorhanden. Diese Daten wurden regionalisiert und für diese Gebiete verarbeitet.



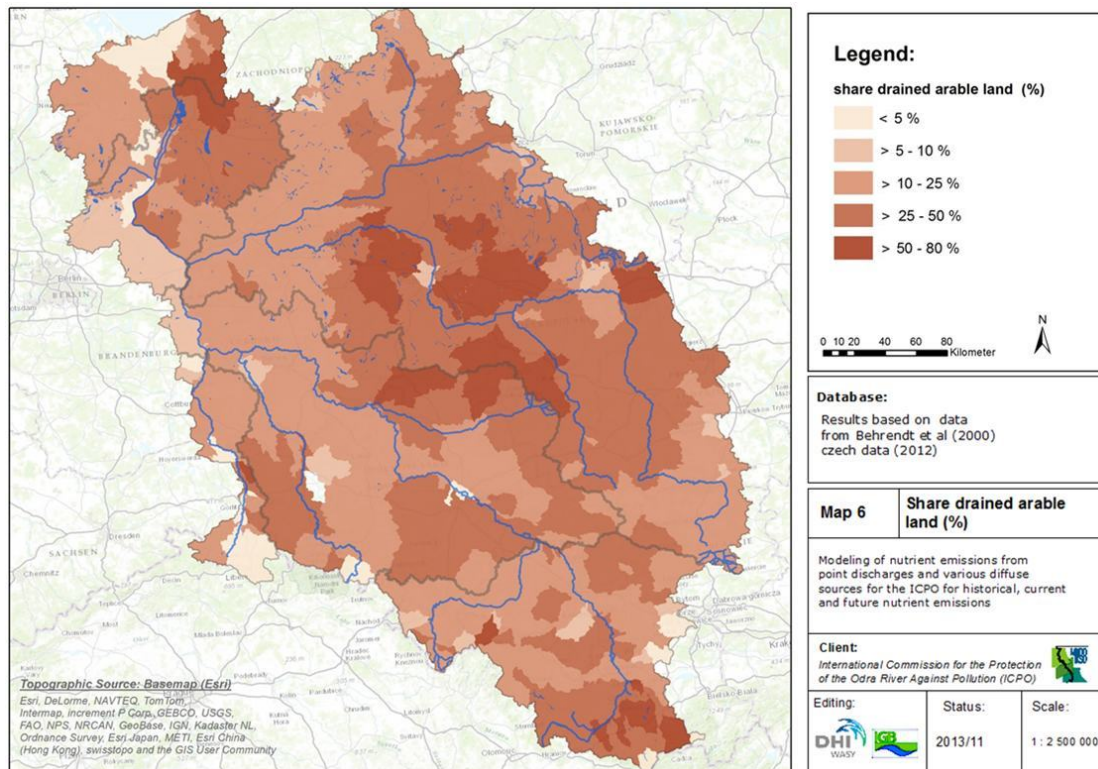


Abbildung 17: Anteil der drainierten Gebiete auf landwirtschaftlichen Fläche (in %)

### 3.2.6 Hydrogeologie

Die Unterscheidung von grundwassernahem bzw. grundwasserfernem Lockergestein, sowie durchlässigem bzw. undurchlässigem Festgestein ist zur Abschätzung der Stickstoffretention in der ungesättigten Zone notwendig. Die Unterscheidung der hydrogeologischen Verhältnisse für alle Analysegebiete wurde aus der hydrogeologischen Karte von Europa des National Institute for Public Health and Environment (1:1000000; RIVM, 2007) entnommen (Abbildung 18).

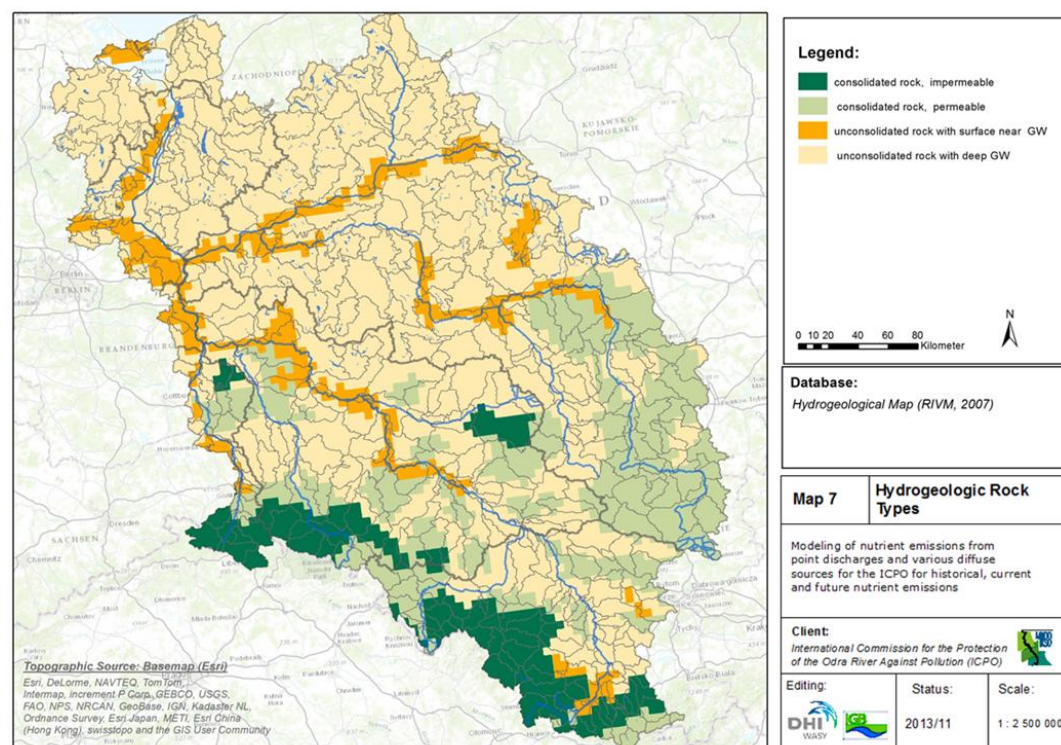


Abbildung 18: Hydrogeologie im Odereinzugsgebiet

### 3.2.7 Niederschlag und Evapotranspiration

Die langjährigen Mittel der Niederschläge und die zur Berechnung der Dränspende erforderlichen Werte der Jahres- und Sommerniederschlagssummen wurden aus den interpolierten Niederschlagsdaten (monatliche Werte, für den Zeitraum 2000-2010) des Global Precipitation Climatology Centre (GPCC, 2006) abgeleitet und mit den Einzugsgebietsgrenzen verschnitten (Abbildung 19).

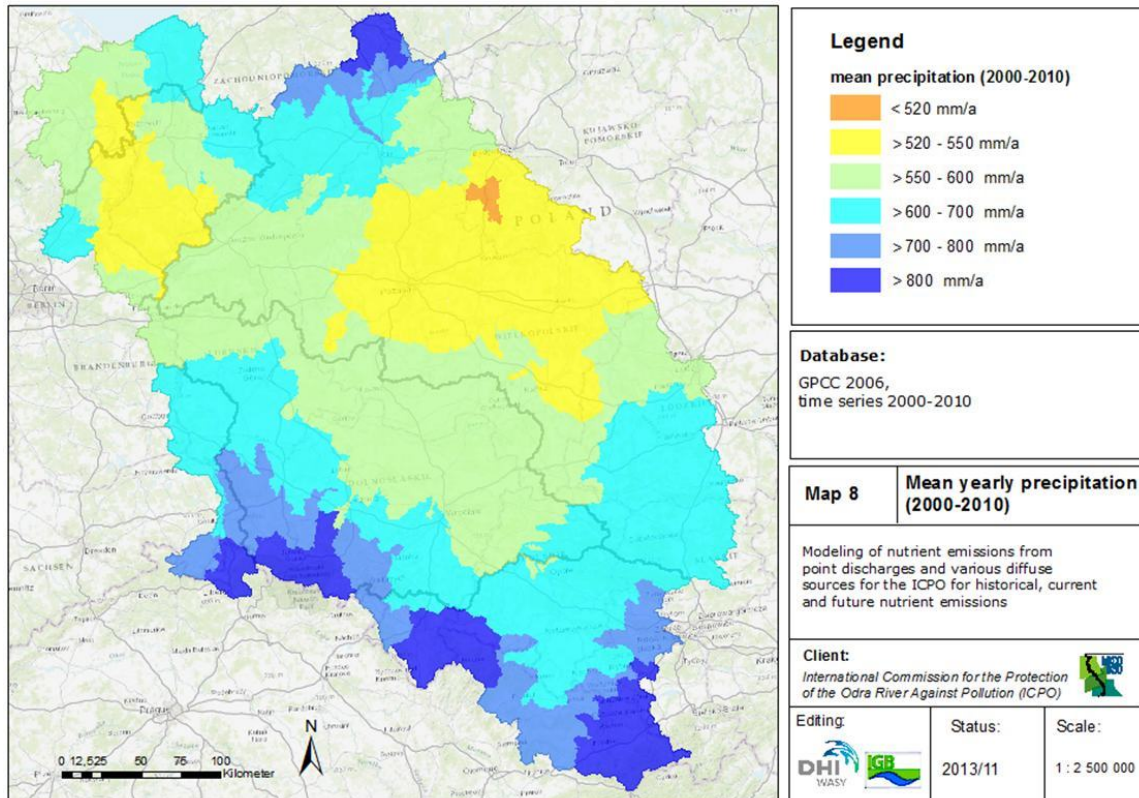


Abbildung 19: mittlere Niederschlagssummen für die Jahre 2000-2010

Die für die tschechischen Gebiete vorhandenen Niederschlagszeitreihen für die Jahre 2000-2010 wurden ebenfalls aufbereitet und mit den GPCC-Daten verglichen. Trotzdem diese Daten eine feinere Auflösung besitzen, wurden die GPCC-Daten wegen der besseren Vergleichbarkeit der Wasserbilanzkomponenten Niederschlag und Evapotranspiration im Rahmen dieses Projektes verwendet.

Für die mittlere und jährliche tatsächliche Verdunstung (2000-2010) wurden die MODIS-Daten (Mode rate Resolution Imaging Spectroradiometer, Forschungsprogramm der NASA, [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/dataproducts.php?MOD\\_NUMBER=16](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/dataproducts.php?MOD_NUMBER=16) ) analysegebietsbezogen aufbereitet. Für die Evapotranspiration als Wasserbilanzkomponente lagen keine länderspezifischen Daten vor.

### 3.3 Kläranlageninventar und Industrielle Direkteinleiter

Für das Kläranlageninventar wurden alle Kläranlagen der drei Länder mit einer Größenklasse von > 2000 Einwohner berücksichtigt (Abbildung 20). Die Anzahl der Einwohnergleichwerte war für die Kläranlagen der betrachteten Länder gegeben. Teilweise waren Angaben zu Abwassermengen und Konzentrationen einzelner Kläranlagen relativ hoch, hier konnte im Rahmen des Projektes nur bedingt eine Validierung auf Plausibilität der Eingangsdaten erfolgen.

Waren nur Nährstofffrachten vorhanden wurden diese mittels Abwassermengen für das Inventar in N- und P-Konzentrationen umgerechnet.

Bezüglich der Einträge für Phosphor aus den Kläranlagen ist bei der langfristigen zeitlichen Entwicklung insbesondere für den deutschen Teil der Odergebietes ein Rückgang durch Elimination phosphathaltiger



Waschmittel seit 1986 zu verzeichnen. Für eine Verbesserung der Daten- und Wissensgrundlage und der Bewertung der Wirkung von Maßnahmen im urbanen Bereich erfolgte durch das IGB eine Zusammenstellung der personenspezifischen P-Abgaben (P-Eintrag pro Einwohner und Tag; Eintrag von Phosphaten in Waschmaschinenmitteln pro Einwohner und Tag und Eintrag von Phosphaten in Spülmaschinentabs pro Einwohner und Tag), die als Datengrundlage verwendet wurde.

Die Datenquellen zu den TP und TN Frachten von direkten industriellen Einleitern waren länderbezogen sehr unterschiedlich. Die polnischen Daten lagen lediglich auf Gemeindeebene ab dem Jahre 2005 – 2010 vor, wodurch eine analysegebietsbezogene Zuordnung nur annähernd abgebildet werden konnte. Die tschechischen und deutschen Daten wurden koordinatenbezogen zur Verfügung gestellt. Grundlage der deutschen Daten sind die an die EU im Rahmen der Berichterstattung zur Umsetzung der KommunalabwasserRL gemeldeten Daten (UWWTD database).

Im Rahmen dieses Projektes konnte eine ausreichende Validierung der polnischen Daten (mit dem größten Anteil am Odereinzugsgebiet), wie zum Beispiel Interpolation und Ergänzung fehlender und unplausibler Daten nur unzureichend durchgeführt werden. In möglichen weiterführenden Arbeiten sollte die Präzisierung und Plausibilisierung der Informationen zu den Punktquellen ein wichtiger Arbeitsschwerpunkt der Datenaufbereitung sein. Dabei sollten die an die EU im Rahmen der Berichterstattung zur Umsetzung der KommunalabwasserRL gemeldeten Daten ebenfalls für Polen zu Vergleichszwecken herangezogen werden.

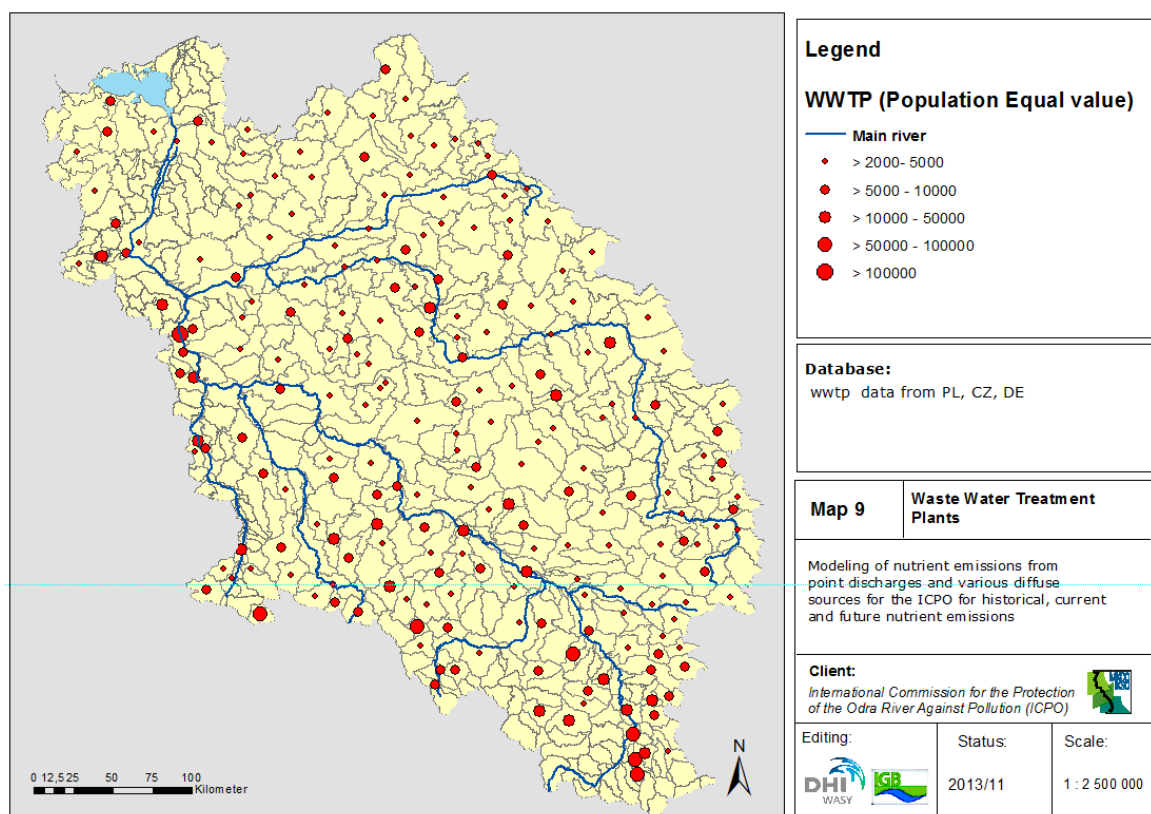


Abbildung 20: Kläranlageninventar

### 3.4 Zeitreihendaten

#### 3.4.1 Monitoringdaten

Von den IKSO- Vertragsparteien wurden mittlere Abflüsse für ca. 250 Messstationen zur Verfügung gestellt. Zunächst wurden die Messdaten hinsichtlich ihrer Kontinuität der Messungen untersucht, da ein Teil der Pegel nur wenige Jahresreihen aufwiesen. Da beobachtete Abflüsse von kleineren Fließgewässern



aufgrund der höheren Abflussdynamik einer größeren Unsicherheit unterliegen, wurden für die Kalibrierung 17 relevante Pegelmessstellen unter Berücksichtigung von geeigneten Monitoringmessstellen für die Frachtberechnung von den Hauptflüssen Oder, Warthe, Lausitzer Neiße, Bobr und Notec ausgewählt. Als Grenzmessstelle an der Oder wurde der Pegel RACIBÓRZ-MIEDONIA mit zugehöriger Monitoringmessstelle Krzyżanowice verwendet (siehe Abbildung 21).

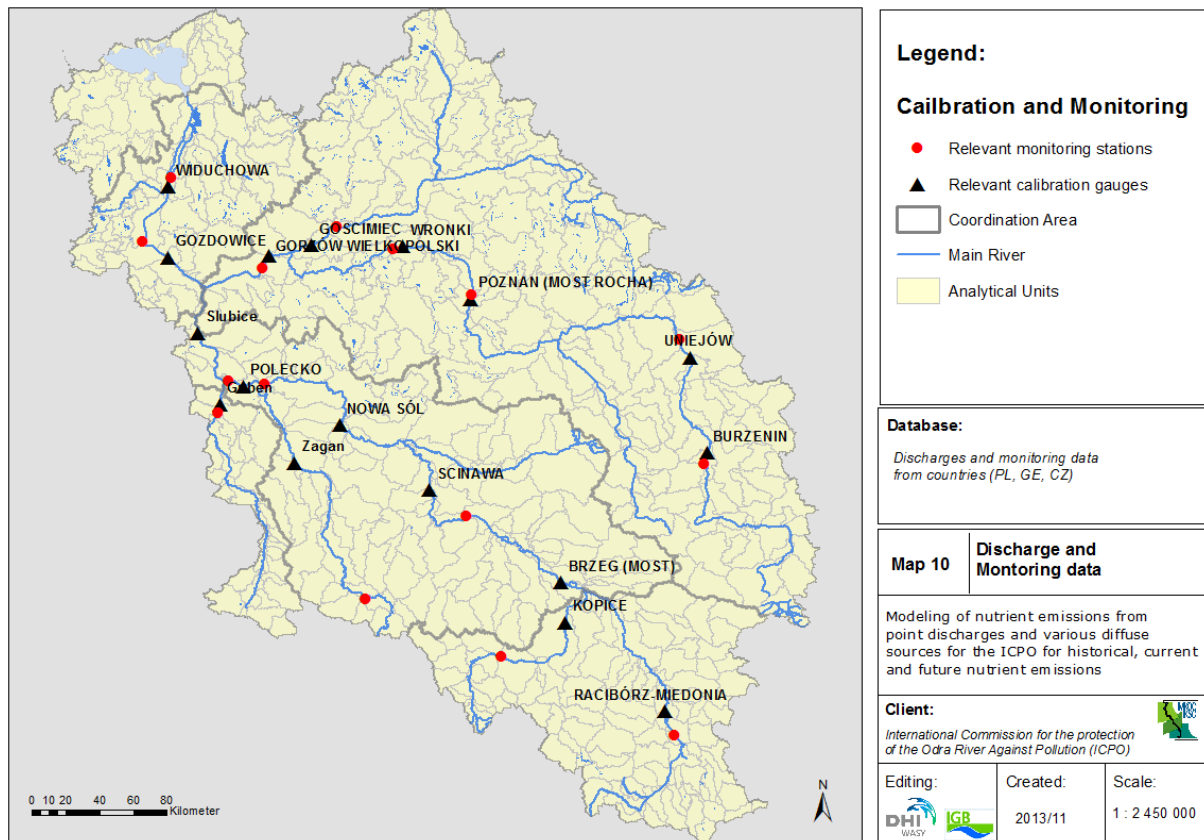


Abbildung 21: Standorte verwendeter Abflusspegel und Gütemessstellen für die Kalibrierung

### 3.4.2 Stickstoffüberschüsse und P-Akkumulation

Für die Parameter N-Überschuss und P-Akkumulation wurde durch das IGB basierend auf den in BEHRENDT ET AL. (2003) aufbereiteten Daten eine Datenfortschreibung für den deutschen als auch die polnischen und tschechischen Teile des Einzugsgebietes durchgeführt. Die Einschätzung der Sensitivität dieser Eingangsdatensätze für die Bilanzierung auf Ebene der Analysegebiete dient der Verbesserung der Daten- und Wissensgrundlage und der Bewertung der Wirkung ausgewählter Maßnahmen.

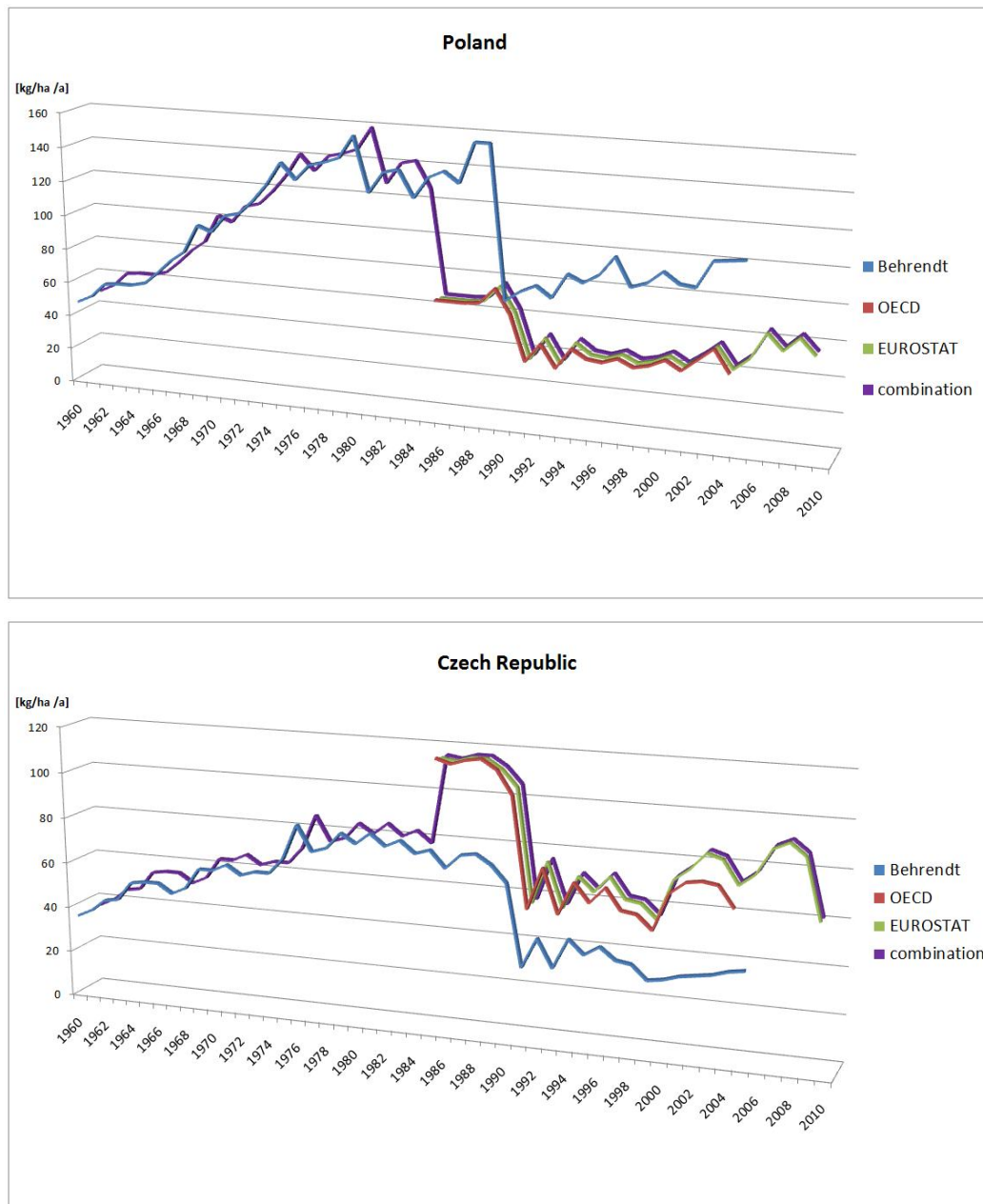
Die Fortschreibung erfolgte für N und P auf Grundlage folgender verfügbaren Daten:

- Bach: N und P-Überschüsse in den deutschen Bundesländern, in: BEHRENDT ET AL. (1999)
- OECD-Daten :  
<http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryName=516&QueryType=View>
- EUROSTAT-Daten:  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/images/b/b3/Nitrogen\\_surpluses\\_%28kg\\_N\\_per\\_ha%29%2C\\_1990-2008%2C\\_EU-27%2C\\_CH\\_and\\_NO.png](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/images/b/b3/Nitrogen_surpluses_%28kg_N_per_ha%29%2C_1990-2008%2C_EU-27%2C_CH_and_NO.png)
- Kombination aus den obigen Methoden.

Bei der Kombination der Methoden wurden für die Jahre 1985- 2010 EUROSTAT bzw. OECD Daten verwendet. Für Deutschland wurden die flächengewichteten Überschüsse nach Bach (1984-2008) verwendet. Die Daten 1961 bis 1984 wurden auf Basis der Ergebnisse von BEHRENDT ET AL. (2003) auf-

gefüllt. MONERIS berücksichtigt für die Modellierung der Einträge über Grundwasser und Interflow die Entwicklung der N-Überschüsse der maximal 50 zuvor liegenden Jahre. Für die Fortführung der Zeitreihen von 1950 bis 1961 lagen in der Regel nur vereinzelte Abschätzungen vor. Diese wurden verwendet, um einen allgemeinen Verlauf für die Jahre zu rekonstruieren. Für den angestrebten Modellierungszeitraum spielen diese jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

In der nachfolgenden Abbildung 22 ist für den Parameter N-Überschuss ein länderbezogener Vergleich der in den jeweiligen Methoden verwendeten Werte dargestellt. Teilweise ergeben sich erhebliche Unterschiede zwischen den auf Grundlage der unterschiedlichen Methoden /Quellen jeweils ermittelten N- Überschuss- Werte. Diese sind in der Regel jedoch nicht systematisch sondern zufällig, so dass sich bei der späteren Verwendung der Daten (gemittelt und in 5-Jahresschritten klassifiziert), nur geringe Effekte ergeben würden. Da die Datenquelle und Berechnungsgrundlage nach BEHRENDT nur teilweise dokumentiert vorliegt, wurde soweit vorhanden auf die Angaben von EUROSTAT als aktuellste und offizielle Datenquelle zurückgegriffen.



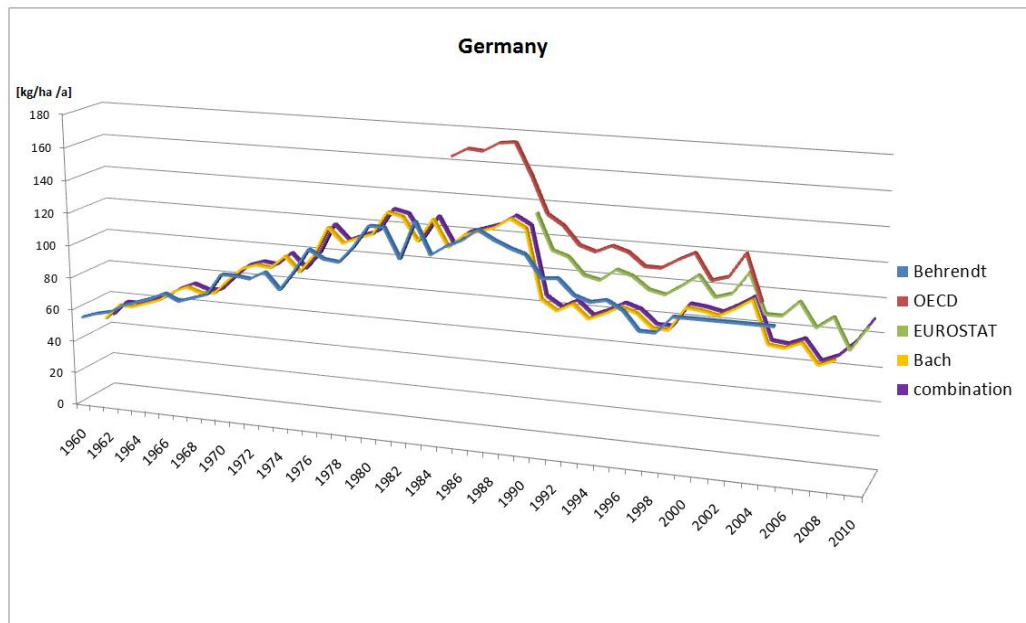


Abbildung 22: länderbezogener Verlauf der mittels der verschiedenen Methoden abgeleiteten N-Überschüsse für die Jahre 1960 -2010 der drei IKSO- Vertragsstaaten Polen, Tschechien und Deutschland

Die polnischen Daten zu Stickstoff-Bilanzen liegen auf Wojewodschaftsebene und jeweils für drei Jahre zusammengefasst vor.

In Abbildung 23 wurden die errechneten jährlichen Gesamtmittelwerte für Polen mit den ebenfalls zu drei Jahren zusammengefassten OECD-und EUROSTAT-Daten aus dem laufenden Projekt zur Berechnung der deutschlandweiten Einträge des UBA verglichen.

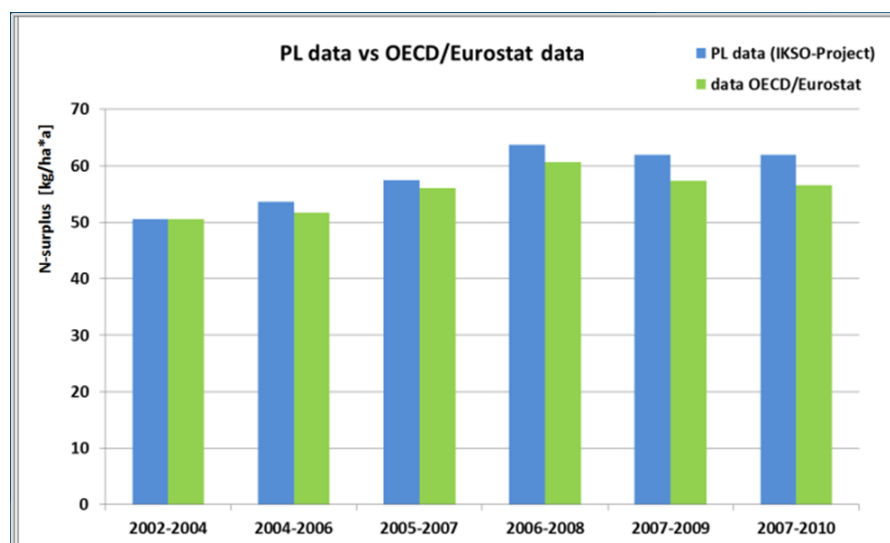


Abbildung 23: Vergleich der gelieferten polnischen Datengrundlagen zu N-Überschüssen mit OECD/EUROSTAT- Daten

Generell ist eine gute Übereinstimmung der Werte festzustellen (siehe Abbildung 23).

Zwischen den Wojewodschaften sind die Werte aber teilweise sehr unterschiedlich. So schwanken die Maximalwerte zwischen 50 kg/ha\*a und 90 kg/ha\*a. Der dreijährige Mittelwert für das gesamte polnische Gebiet überschreitet nur gering den laut Düngeverordnung (als deutsche Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie) ab 2011 festgelegten Wert von 60 kg Stickstoffüberschuss je ha und Jahr.

Die gelieferten tschechischen Daten liegen bis auf die Jahre 2007-2010 deutlich (tlw. bis zu 40%) unter den von der OECD/EUROSTAT veröffentlichten Daten. Das trifft ebenso für die deutschen Daten (nach Bach) zu (siehe Abbildung 22).

Die Ergebnisse der Kombinationen der Methoden mit den OECD/EUROSTAT –Daten wurde als Datengrundlage für die deutschen und tschechischen Analysegebiete genutzt. Für die polnischen Gebiete wurden die aufbereitet gelieferten Daten auf Wojewodschaftsebene als Eingangsdaten verwendet (Abbildung 24).

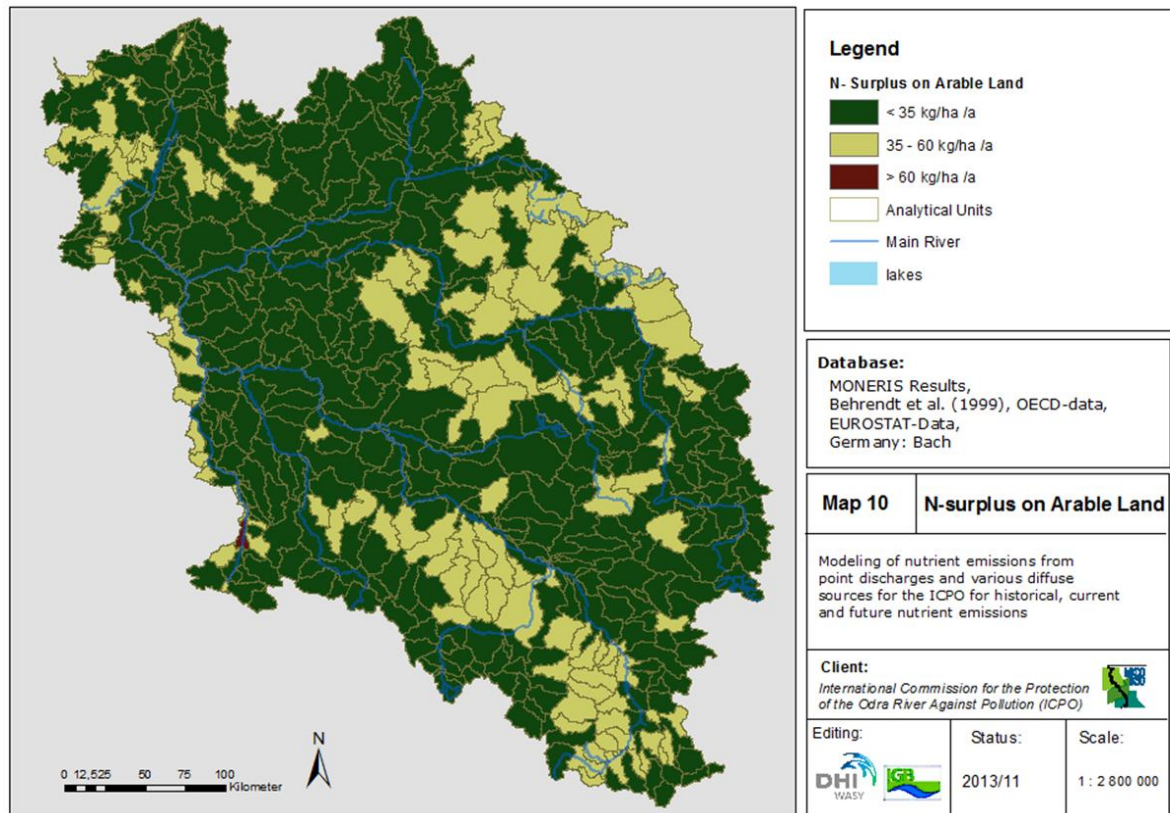


Abbildung 24: Vergleich der gelieferten polnischen Datengrundlagen zu N-Überschüssen mit OECD/EUROSTAT- Daten

## 4 Kalibrierung und Überprüfung des Modells

### 4.1 Abflusskalibrierung

Als Grundlage für die Emissionsberechnung mit MONERIS werden mittlere jährliche Abflüsse von allen Modellgebieten benötigt. Es wurde für die Einzeljahre 2000 -2010 eine Abflusskalibrierung durchgeführt.

Die hier verwendete Methodik berücksichtigt die jährlichen Niederschlagssummen und die mittlere tatsächliche Verdunstung nach MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, Forschungsprogramm der NASA). Zusätzlich werden die über Kläranlagen eingeleiteten Wassermengen in die Kalibrierung mit einbezogen, da diese in trockeneren Regionen erheblichen Anteil an dem Gebietsabfluss einzelner Analysegebiete besitzen können, aber nicht für die diffusen Einträge relevant sind. Daher wird in der Kalibrierung und in der späteren Berechnung mit MONERIS zwischen der eintragsrelevanten Wassermenge und dem Gesamtgebietsabfluss unterschieden. Unter Verwendung dieser Daten wird eine mittlere Wasserbilanz für die Analysegebiete berechnet. In einem Folgeschritt wird der resultierende Gesamtabfluss den gemessenen Abflüssen gegenübergestellt und über eine Kalibrierung die modellierten Abflüsse so angepasst, dass eine minimale Abweichung zu den gemessenen Abflüssen erreicht wird. Für MONERIS gilt dabei die Randbedingung, dass keine negativen Abflüsse pro Analysegebiet entstehen. Sollten sich auf Basis der Niederschlagsverhältnisse und den anderen Abflusskomponenten negative Abflüsse ergeben, so werden diese rechnerisch als Versickerung in das Grundwasser, sowohl für die Wassermenge als auch die transportierten Nährstoffe, berücksichtigt. Durch diese Randbedingung kann es zu geringeren Abweichungen zwischen gemessene und berechneten Abflüssen kommen, die jedoch für die hier berück-



sichtigen Jahre und Pegel in der Oder nur in einem Fall 10 % (GORZEW WIELKOPOLSKI, Jahr 2006) und ansonsten vereinzelt 1-3 % (im Mittel 0,5 %) betragen.

## 4.2 Frachtberechnung

Die Überprüfung der Modellergebnisse erfolgt in den meisten Fällen über den Vergleich von modellierten und auf Basis von gemessenen Konzentrationen und Abflüssen ermittelten, „beobachteten“ Frachten. Die modellierten Frachten ergeben sich als Restglied aus den Einträgen, die in die Oberflächengewässer gelangen und den gewässerinternen Transport-, Transformations- und Abbauprozessen. Letztere werden im Folgenden als netto Summe aller beteiligten Prozesse als „Retention“ bezeichnet. Da die Einträge und Retention räumlich und zeitlich sehr variabel sind und weil die beobachtete Fracht das Integral aller Prozesse im gesamten oberhalb gelegenen Einzugsgebiet darstellt, lässt der Vergleich von modellierten und beobachteten Frachten allenfalls eine Überprüfung der Plausibilität und Konsistenz der Modellergebnisse zu. Dennoch stellt er in der Regel die einzige Überprüfungsmöglichkeit der Ergebnisse dar.

Als Grundlage zur Frachtberechnung wurden monatliche Abflüsse und mittlere monatliche Konzentrationen durch Polen und Tschechen zur Verfügung gestellt. Auf dieser Datenbasis ist eine Frachtberechnung z.B. nach OSPAR (1996) nicht möglich, sodass hier die monatlichen Frachten aus dem jeweiligen Produkt von Abfluss und Konzentration berechnet wurde und über eine Summenbildung die Jahresfracht bestimmt wurde. Im Weiteren werden zur Unterscheidung die Frachten, die aus gemessenen Konzentrationen und Abflüssen ermittelt wurden als „beobachtete“ Frachten bezeichnet, wohingegen die Ergebnisse aus MONERIS als „berechnete“ Frachten gekennzeichnet werden. Für den Frachtvergleich wurden zunächst nur die Stationen berücksichtigt, die auch zur Abflusskalibrierung herangezogen worden sind und für die durchgehende monatliche Werte vorlagen. Obwohl dies nur eine Teilmenge der gelieferten Pegel darstellt, bilden sie jedoch das Gesamtgebiet der Oder und Ihre Teilräume repräsentativ ab.

Abbildung 25 zeigt den Frachtvergleich der Messstellen für die einzelnen Jahre. Im Wesentlichen streuen die Frachten um die 1:1 Linie und zeigen keine systematische Abweichung zwischen den beobachteten und berechneten Frachten, auch für die Einzeljahre, außer an der Station Widuchowa kaum Abweichungen größer als 30%. Insgesamt liegt die mittlere Abweichung zwischen den beobachteten und gemessenen Frachten für Gesamt-Stickstoff (TN) bei 17,5 % ( $r^2 = 0,86$ ) und für Gesamt-Phosphor (TP) bei 22,3 % ( $r^2 = 0,95$ ). Die ist unterhalb des zu erwartenden Fehlers der beobachteten Fracht von etwa 25 % (ZWEYNERT, 2008).

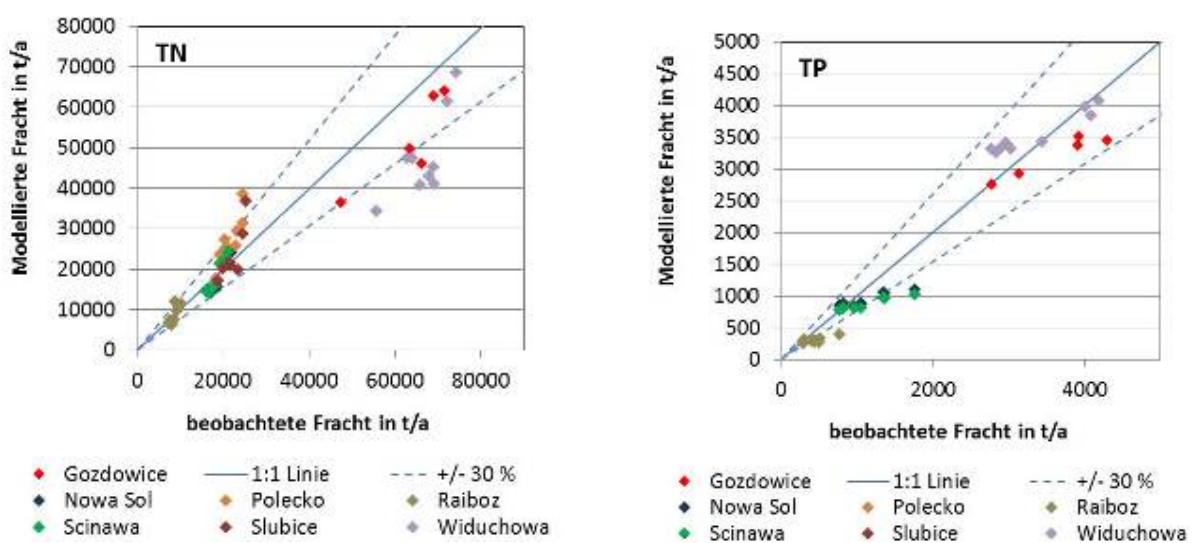


Abbildung 25: Frachtvergleich für TN (links) und TP (rechts)

## 5 Modellierung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der IFGE Oder (Ergebnisse)

### 5.1 Übersicht über die Betrachtungszeiträume

Für die vorliegende Untersuchung der Veränderung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der internationalen Flussgebietseinheit Oder wurden drei Zeiträume unterschieden. Es sollte ein quasi „historischer“ Zeitraum dem aktuellen Stand gegenübergestellt werden. Weiterhin sollte untersucht werden, welcher Zustand sich in der Zukunft einstellen wird, wenn keine Veränderung der äußeren Faktoren (Demografischer Wandel, Entwicklung der Landwirtschaft, der Industrie sowie der kommunalen Einträge) angenommen wird. Hierbei spielte die vorhandene Datengrundlage der drei IKSO-Vertragsstaaten als limitierender Faktor eine entscheidende Rolle. So konnte für den historischen Zeitraum nicht weiter als bis zum Jahr 2000 zurückgegangen werden. Damit musste ein sehr kurzer historischer Zeitraum (Jahre 2000 bis 2007) definiert werden, der hinsichtlich der Fragestellung nicht allzu große Veränderungen erwarten lässt. Gleichwohl waren Veränderungen dieses (historischen) Zeitraums gegenüber dem als aktuell bezeichneten Zeitraum (Jahre 2008 bis 2010) festzustellen. Hinsichtlich des Prognose- Zeitraumes wurde 10 Jahre in die Zukunft projiziert (Jahre 2011 bis 2021).

- **historischer** Zeitraum der Jahre 2000 – 2007 und
- **aktueller** Zeitraum der Jahre 2008 – 2010
- **Prognose** für den Zeitraum von 2011 bis zum Jahr 2021

### 5.2 Modellierung des historischen Zeitraumes

#### 5.2.1 Gesamtbetrachtung historischer Zeitraum

Der aufgrund der Datenverfügbarkeit betrachtete „historische“ Zeitraum von 2000-2007 stellt für dieses Projekt einen Startpunkt dar. Gleichwohl darf als bekannt vorausgesetzt werden, dass die Nährstoffeinträge in den 1980er Jahren in der Flussgebietseinheit Oder deutlich höher lagen. Im Zusammenhang mit den politisch-strukturellen Änderungen in der Landwirtschaft nach 1990 sind die Nährstoffüberschüsse deutlich zurückgegangen. Für Stickstoff sind in Teilbereichen Zunahmen seit Beginn des Jahrhunderts einhergehend mit einer Intensivierung der Landwirtschaft zu beobachten.

Für Phosphor ist langfristig die stärkste Verringerung bei Einträgen aus urbanen Systemen und Kläranlagen festzustellen, was vorwiegend in der Erhöhung der Anschlussgrade der Bevölkerung an die Abwassersysteme sowie der Verbesserung der technischen Zustände der Kläranlagen begründet ist. Dieser Veränderungsprozess hat ebenfalls in den 1990er Jahren begonnen und reichte in den hier als „historisch“ zugrunde gelegten Zeitraum hinein. Damit kann dieser „historische“ Zeitraum durchaus als eine Art Startpunkt angesehen werden, für den für die Oder Gesamteinträge von ca. 80.000 t/a (TN) und 5.000 t/a (TP) berechnet wurden.

#### 5.2.2 Anteil der Eintragspfade und Nährstoffquellen

Die dominanten Eintragspfade für Stickstoff sind Drainagen, Grundwasser und Interflow und Urbane Systeme/Kläranlagen (Abbildung 26).

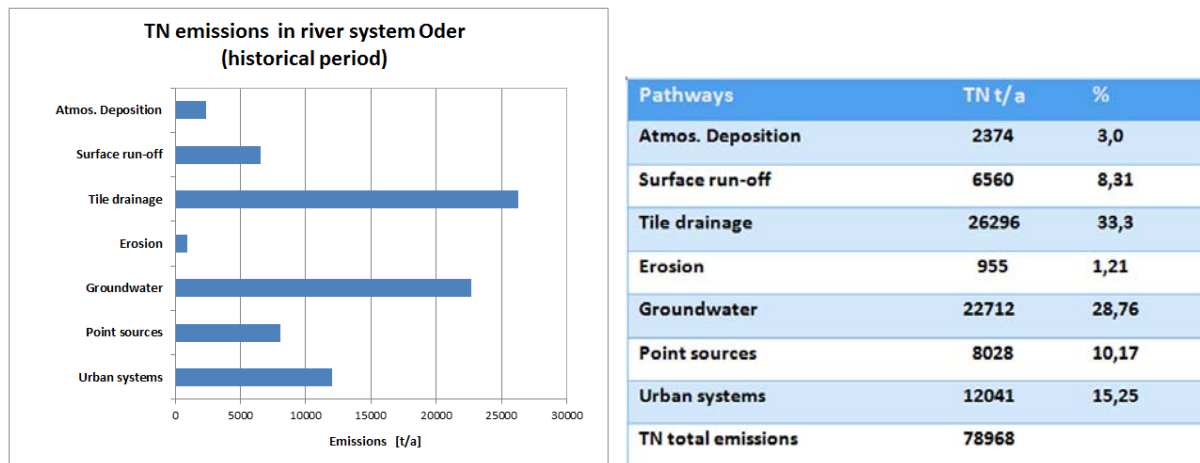


Abbildung 26: Eintragspfade der Stickstoffeinträge für den historischen Zeitraum (2000-2007)

Für Stickstoff sind die Herkunftsquellen (atmosphärische Deposition Landwirtschaft, urbane Quellen und Landwirtschaft) relativ gleichmäßig verteilt. Die Hintergrundbelastung stellt die Einträge dar, die es ohne menschliche Aktivität gäbe.

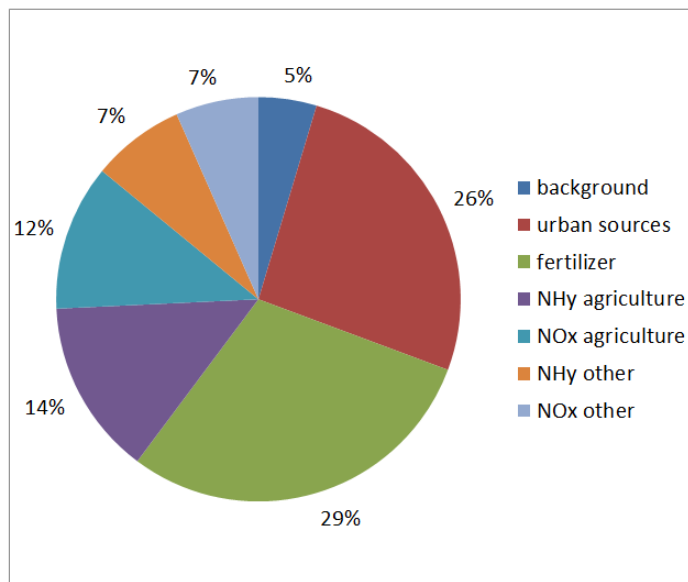


Abbildung 27: Anteile der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Stickstoff für den historischen Zeitraum (2000-2007)

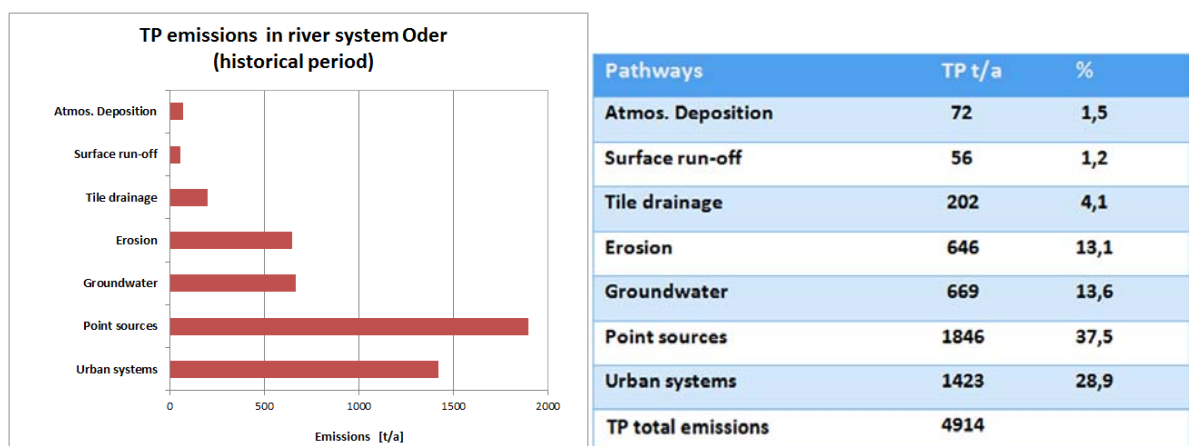


Abbildung 28: Phosphoreintragspfade für den historischen Zeitraum (2000-2007)

Für Phosphor liefern die Punktquellen und urbanen Gebiete über 60% der Gesamteinträge. Die Landwirtschaft als Eintragsquelle umfasst hier einen Anteil von knapp 20%. (Abbildung 29)

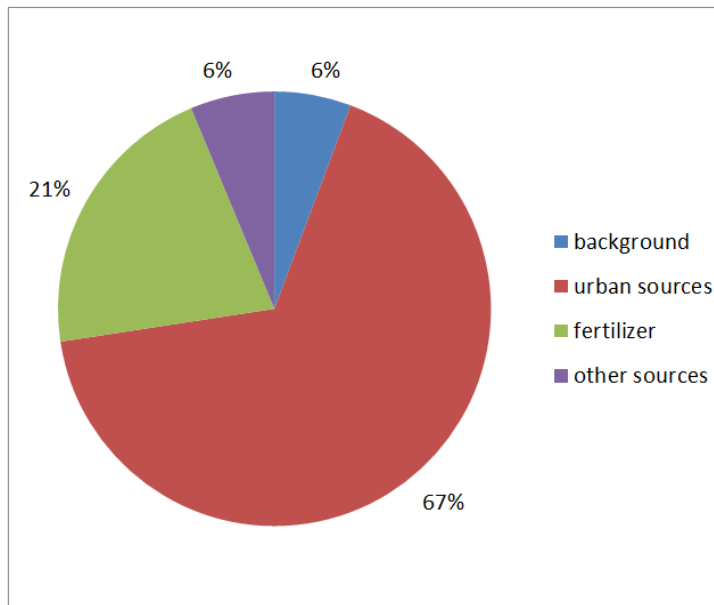


Abbildung 29: Anteil der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Phosphor für den historischen Zeitraum(2000-2007)

Die Stickstoffeinträge variieren über die unterschiedlichen Pfade innerhalb der sechs Bearbeitungsgebiete der IFGE Oder deutlich. Das polnische Bearbeitungsgebiet Warthe hat den größten Anteil an den Einträgen über Drainage. Zum einen ist der Flächenanteil dieses Gebietes am Gesamteinzugsgebiet der Oder relativ groß (ca. 45 %) und zum anderen liegen die N-Bilanzen für die Wojewodschaften Lodzkie und Wielkopolskie im Warthe-Einzugsgebiet etwas höher als in den anderen Wojewodschaften. (siehe auch Kapitel 3.5.2) Bei den Stickstoff-Einträgen über Kläranlagen und industrielle Einleiter haben Gebiete der Oberen Oder und Warthe den Hauptanteil.

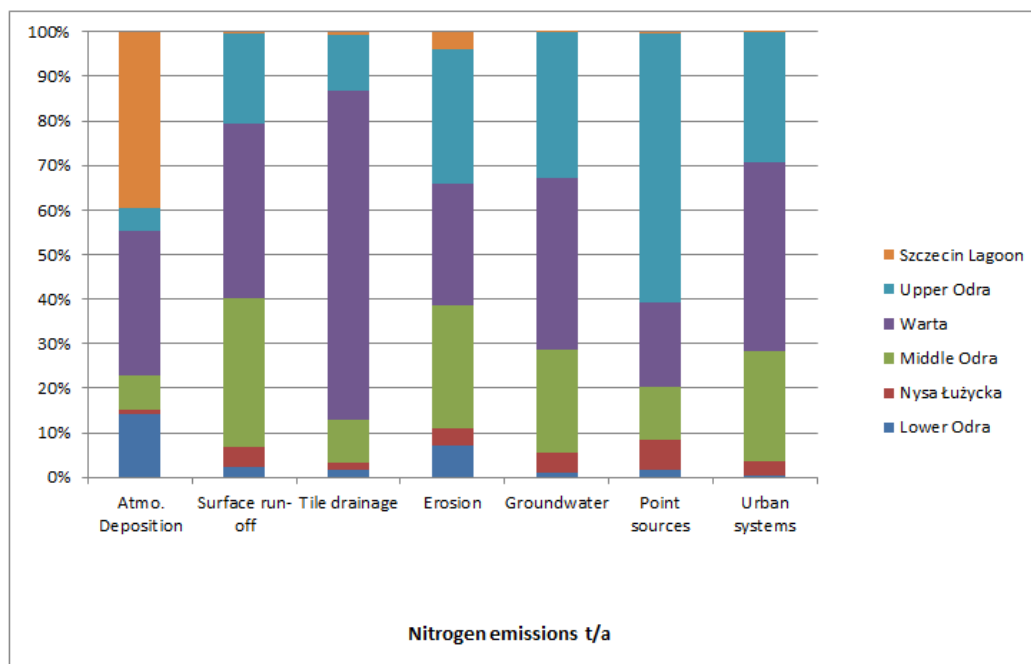


Abbildung 30: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Stickstoff) nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007)



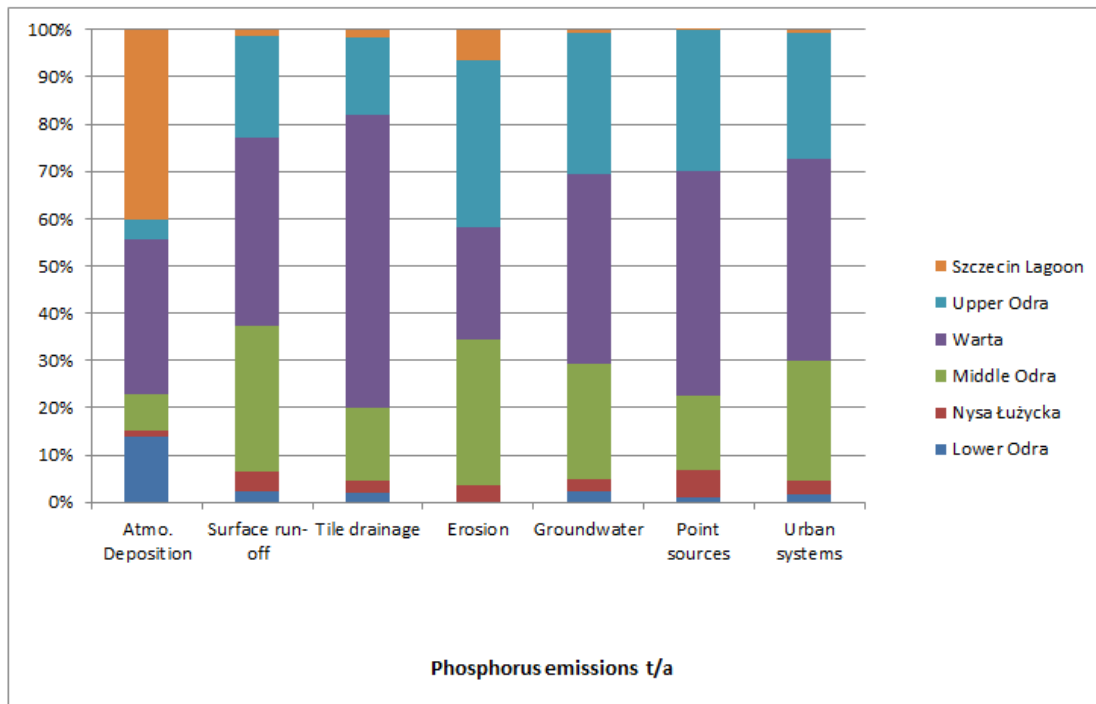


Abbildung 31: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Phosphor) nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007)

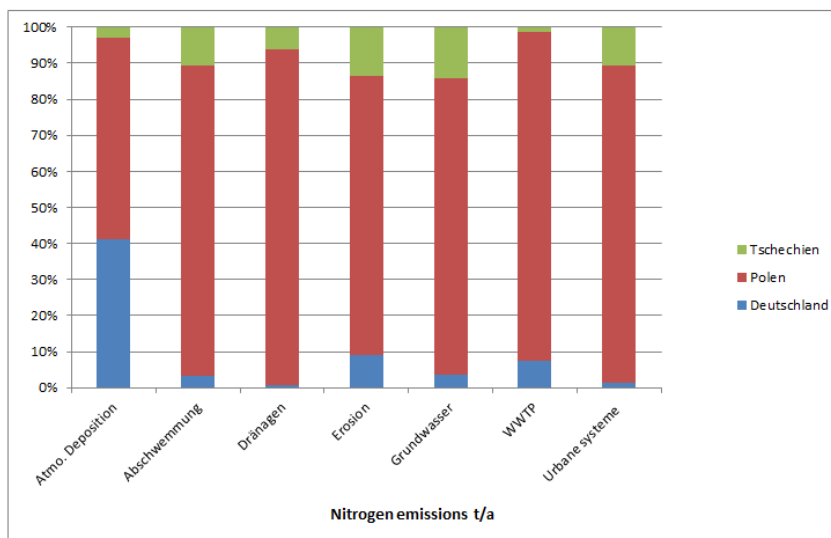


Abbildung 32: Anteil der IKSO-Vertragsparteien an den Gesamteinträgen Stickstoff nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007)

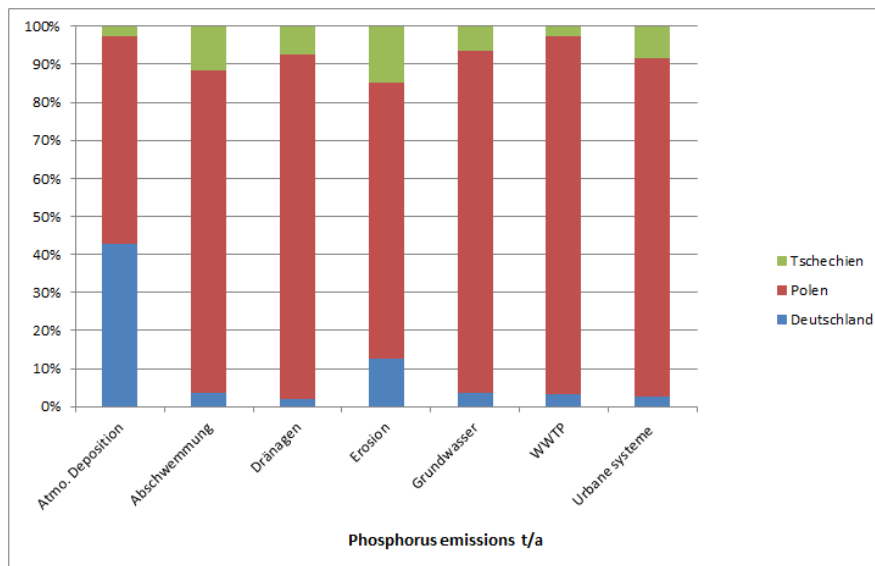


Abbildung 33: Anteil der IKSO-Vertragsparteien an den Gesamteinträgen Phosphor nach Pfaden für den historischen Zeitraum (2000-2007)

### 5.2.3 Räumliche Verteilung der Nährstoffeinträge

Bei der räumlichen Verteilung der Nährstoffeinträge lassen sich höhere Einträge in den Gebieten der Warthe und der Oberen Oder als landwirtschaftlich intensiv genutzten Bereiche des Einzugsgebietes und teilweise in urbanen Bereichen (z.B. Poznan) feststellen. Einige Analysegebiete besitzen erhöhte Einträge im südlichen gebirgigen Teil der Oberen Oder.

In den Abbildungen 34 und 35 sind die flächenspezifischen Einträge für Stickstoff und Phosphor für den historischen Zeitraum in kg/ ha\*a dargestellt.

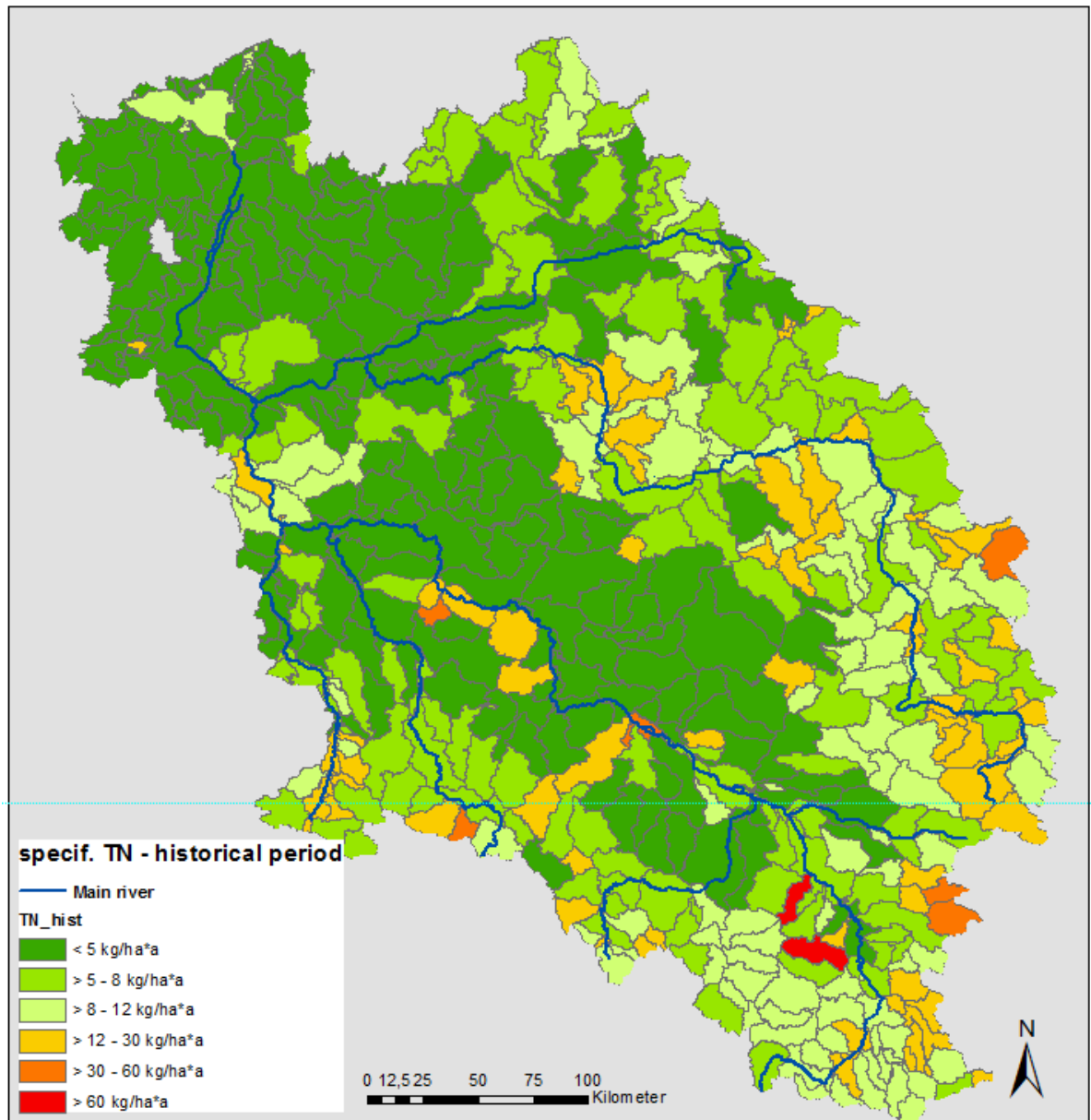


Abbildung 34: Flächenspezifische Stickstoffeinträge (Analytical Units) für den historischen Zeitraum (2000-2007)

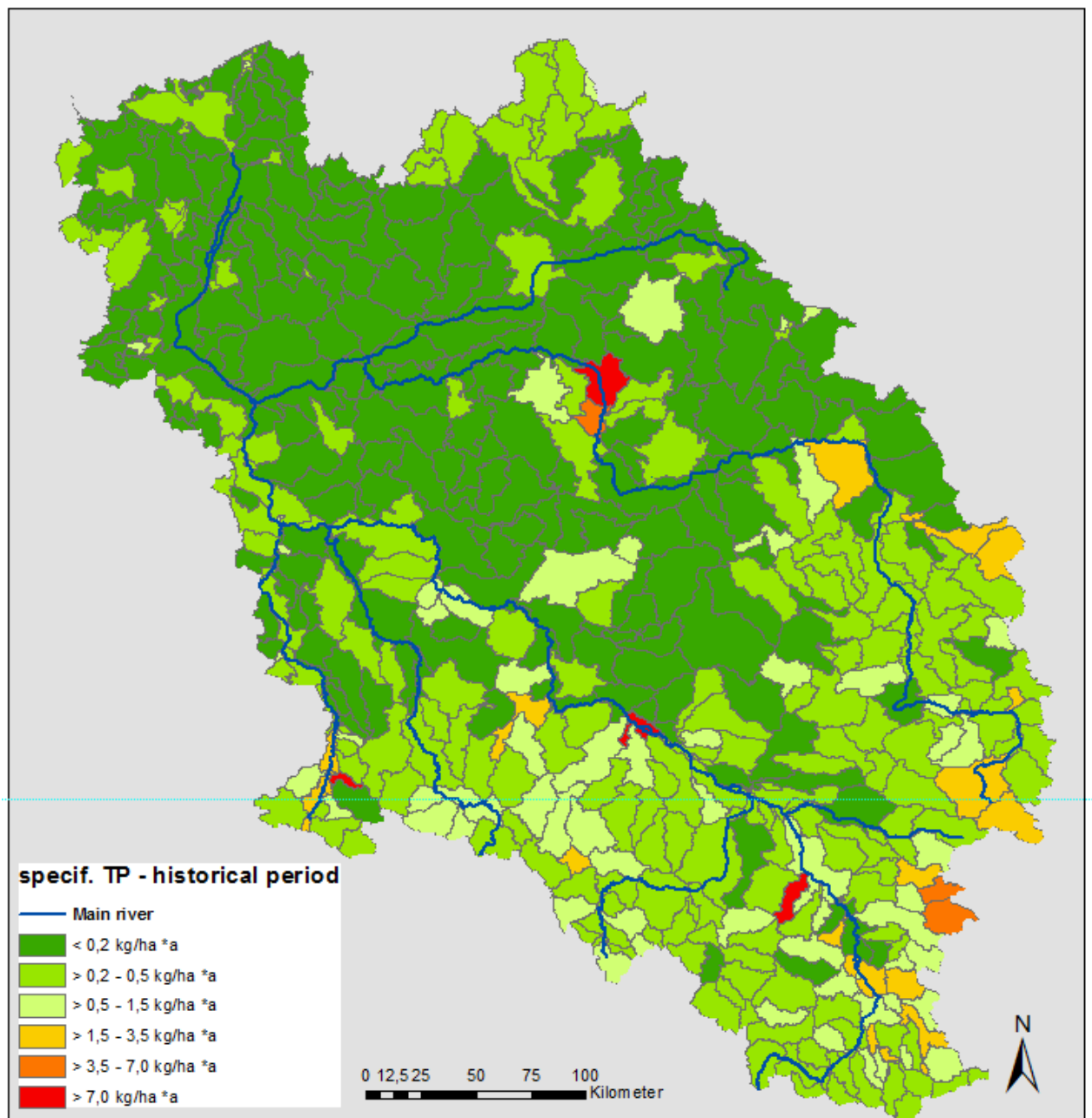


Abbildung 35: Flächenspezifische Phosphoreinträge für den historischen Zeitraum (2000 -2007)

## 5.3 Modellierung des aktuellen Zeitraumes

### 5.3.1 Gesamtbetrachtung aktueller Zeitraum

Für den aktuellen Zeitraum wurden die Jahre 2008-2010 berücksichtigt. Insgesamt wurden mittlere Einträge von ca. 81.000 t/a (TN) und 4.750 t/a (TP) berechnet (siehe Abbildungen 36 und 38). Im Jahre 2010 stiegen die Stickstoffeinträge auf fast 91.000 t/a (TN), was vorwiegend auf die extrem hohen Abflüsse im Hochwasserzeitraum Mai und Juni 2010 zurückzuführen ist und welche zu erhöhten Einträgen über das Grundwasser (+20% zu Mittelwert 2000\_2010) und Abschwemmung führte. Da für die Phosphoreinträge die Hauptpfade urbane Quellen und Kläranlagen sind, wurde für das Hochwasserjahr 2010 kein relevanter Anstieg der Einträge ermittelt.

### 5.3.2 Anteil der Eintragspfade und Nährstoffquellen

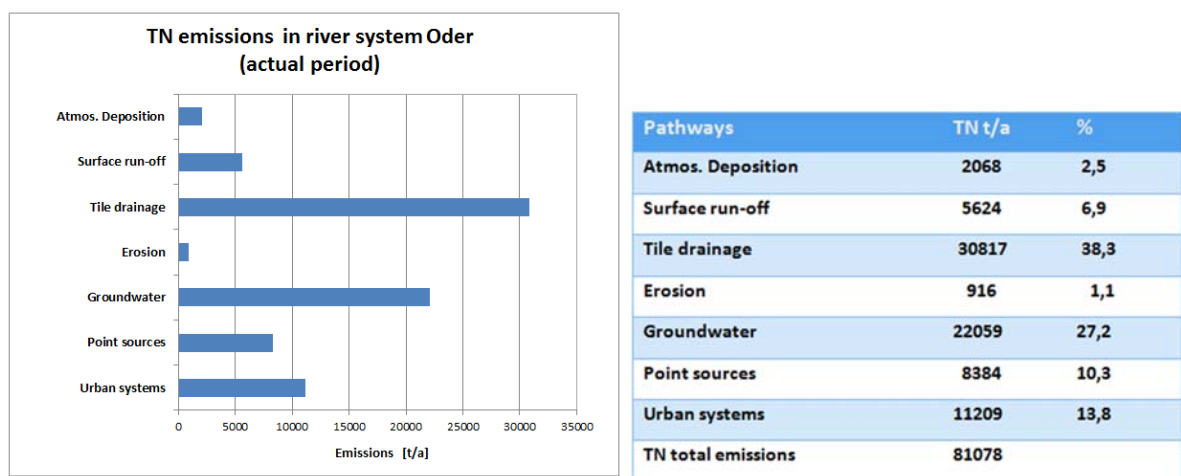


Abbildung 36: Eintragspfade der Stickstoffeinträge für den aktuellen Zeitraum (2008-2010)

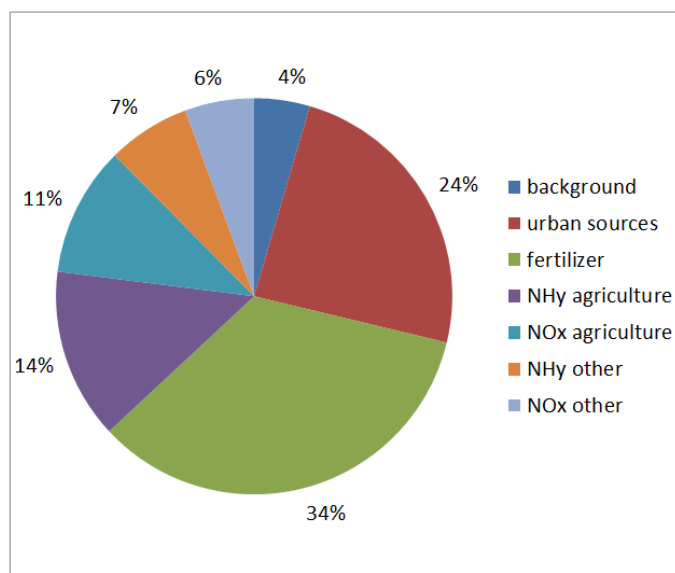


Abbildung 37: Anteil der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Stickstoff für den aktuellen Zeitraum (2008-2010)

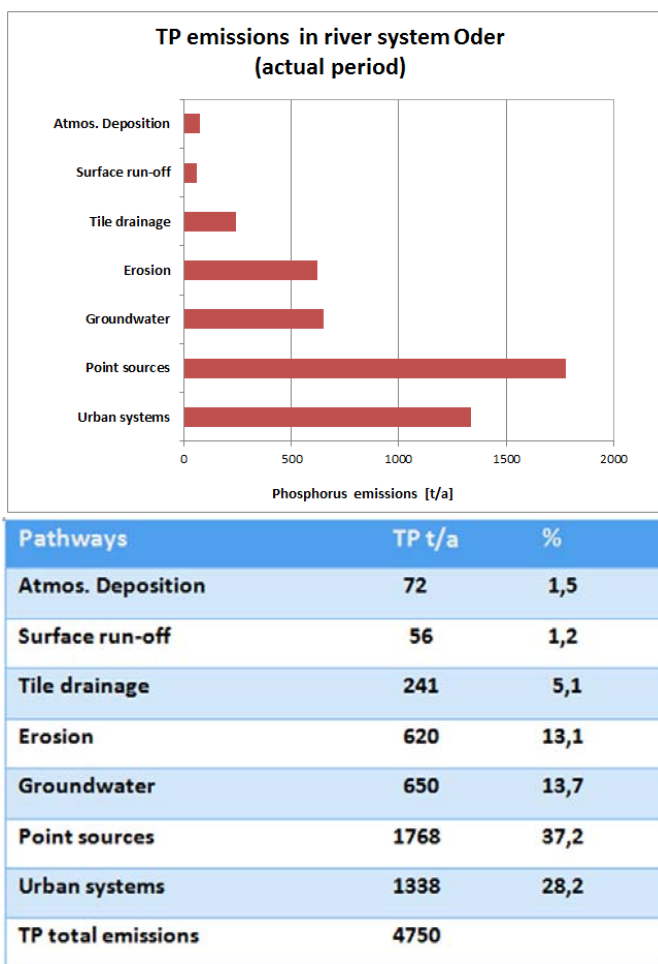


Abbildung 38: Eintragspfade der Phosphoreinträge für den aktuellen Zeitraum (2008-2010)

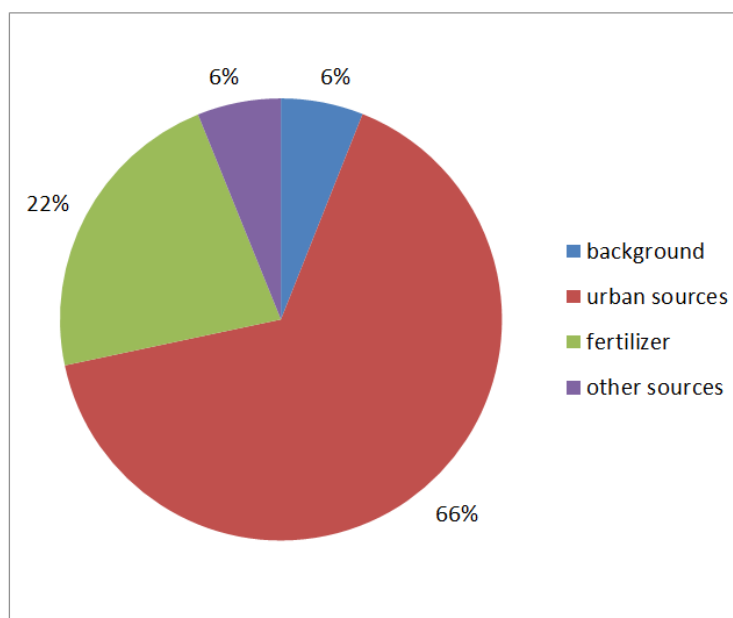


Abbildung 39: Anteil der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Phosphor für den aktuellen Zeitraum (2008-2010)

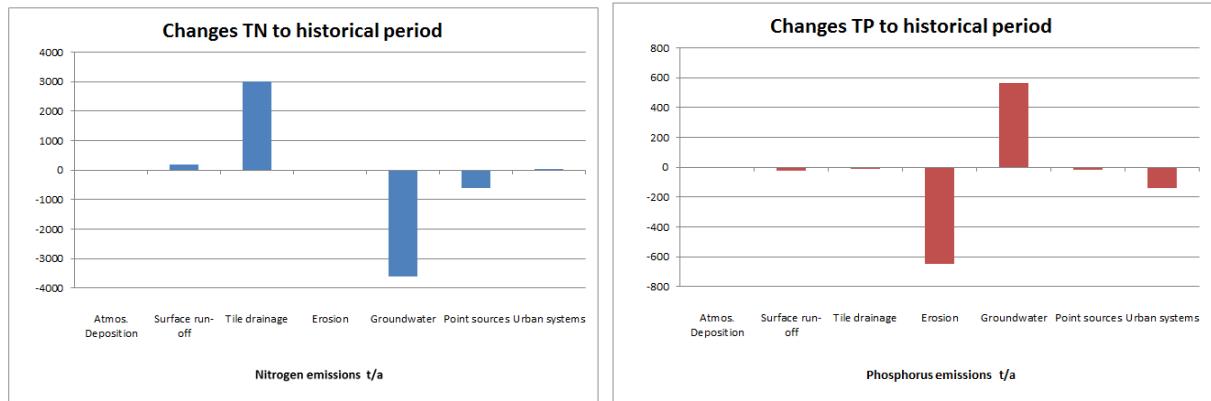


Abbildung 40: Änderungen der Gesamteinträge (Stickstoff, links und Phosphor, rechts) nach Pfaden in Bezug vom historischen (2000 bis 2007) zum aktuellen Zeitraum (2008 bis 2010).

Grundsätzlich sind nur leichte Veränderungen in den Eintragspfaden der einzelnen Einzugsgebiete für Stickstoff festzustellen. Im Vergleich zum historischen Zeitraum nehmen im aktuellen Bezugszeitraum die Stickstoffeinträge über Drainagen zu. Grund dafür sind höhere Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft.

Das zeigt sich deutlich in den mit über 70% landwirtschaftlich geprägten Bearbeitungsgebieten Warthe und Obere Oder. Die mittleren Stickstoffeinträge für den historischen Zeitraum erhöhen sich in diesen Bearbeitungsgebieten um 10-15%.

Der Anstieg der Nährstoffeinträge über den Eintragspfad Grundwasser und Interflow ist weitestgehend auf die erhöhten Werte im Hochwasserjahr 2010 zurückzuführen. Die Grundwassereinträge liegen hier fast 25% über den Mittelwerten der vergangenen Jahre (Abbildung 40).

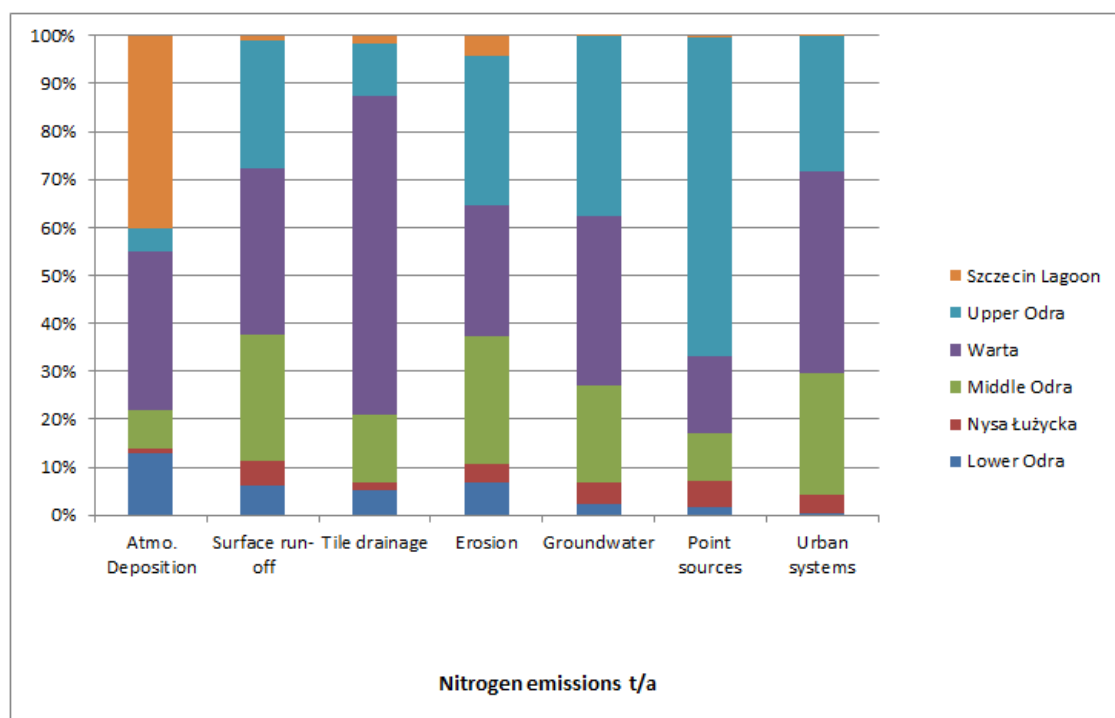


Abbildung 41: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Stickstoff) nach Pfaden für den aktuellen Zeitraum (2008-2010)

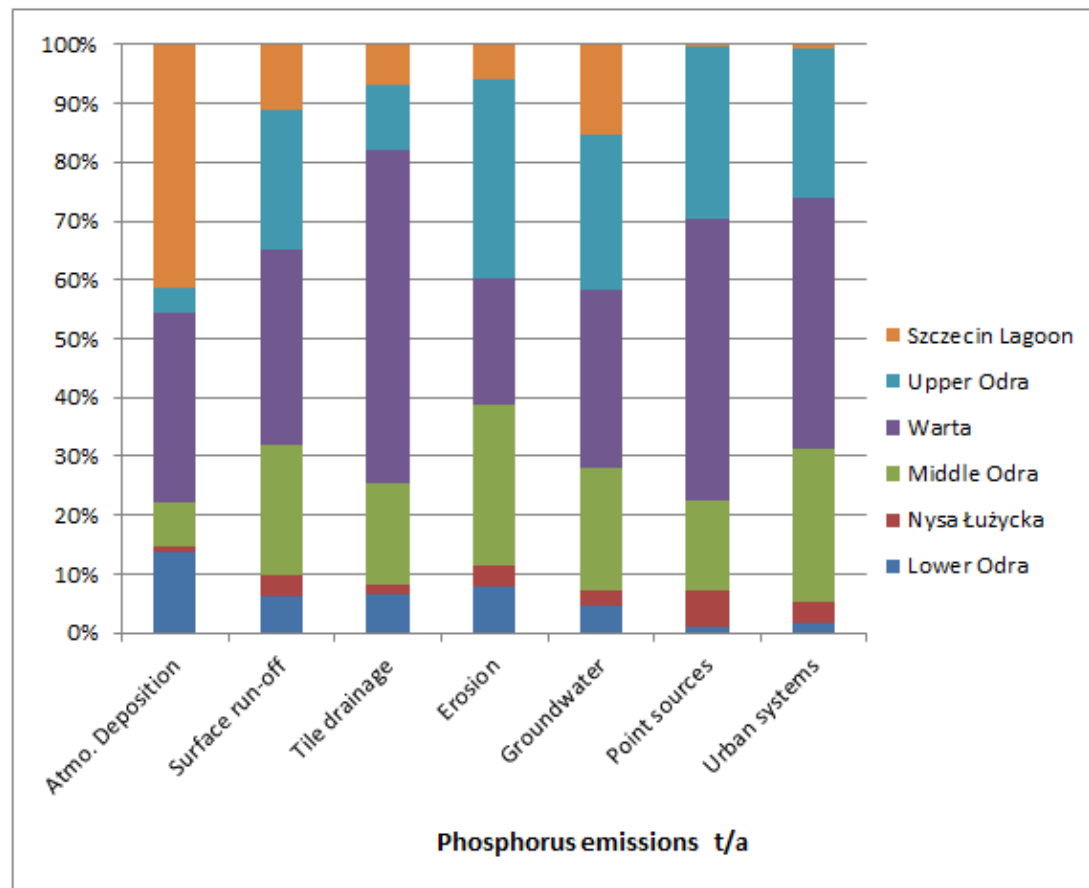


Abbildung 42: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Phosphor) nach Pfaden für den aktuellen Zeitraum (2008-2010)



### 5.3.3 Räumliche Verteilung der Nährstoffeinträge

Die leicht höheren Stickstoffeinträge über Dränagen im Vergleich zum historischen Zeitraum lassen sich nicht differenziert auf lokale Hot Spots festlegen. Das gilt auch für Phosphoreinträge, wo nur in einigen wenigen urbanen Gebieten eine Reduzierung der Einträge räumlich sichtbar ist.

In den Abbildungen 43 und 44 sind die flächenspezifischen Einträge für Stickstoff und Phosphor für den aktuellen Zeitraum in kg/ ha\*a dargestellt.

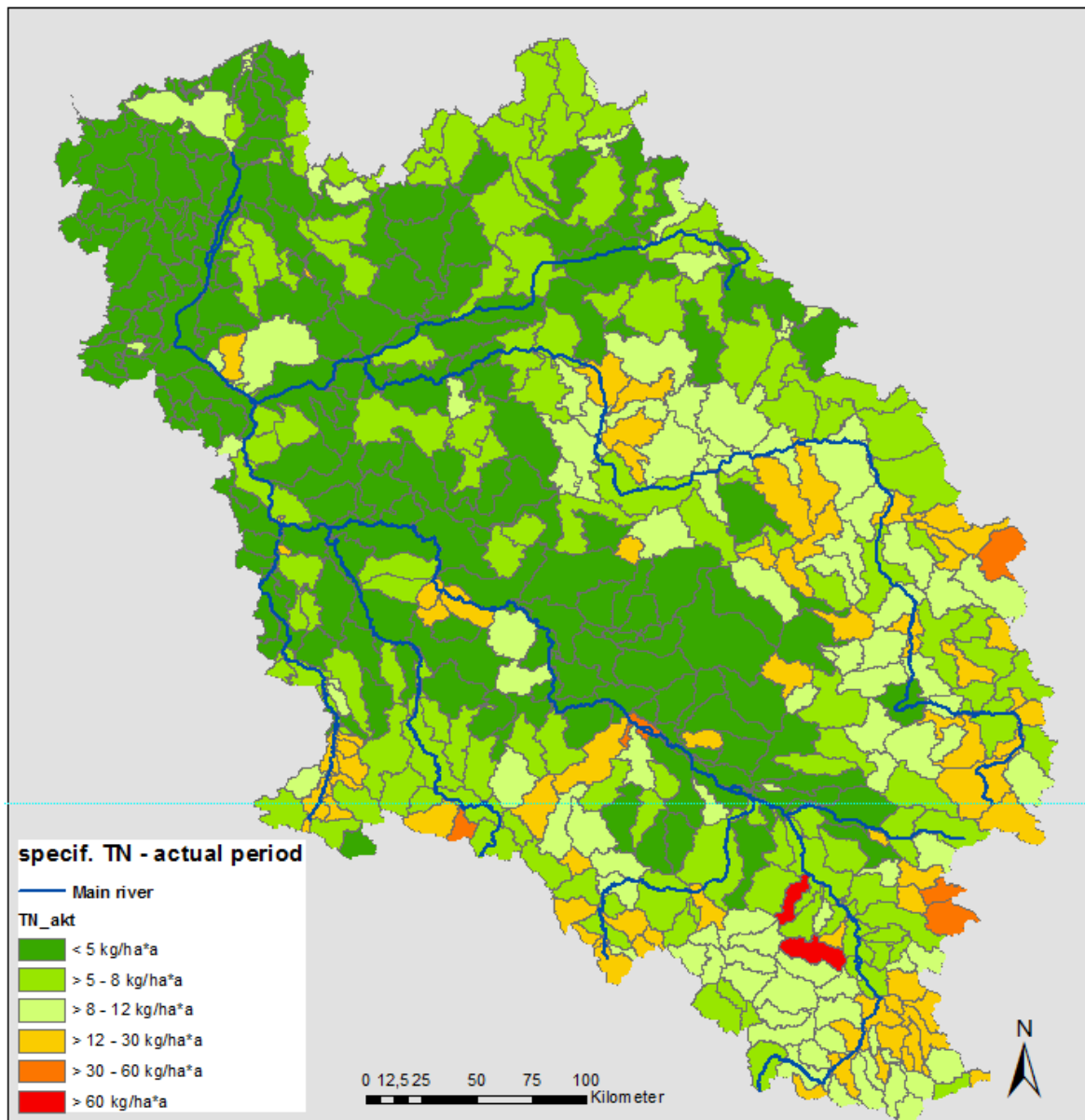


Abbildung 43: Flächenspezifische Stickstoffeinträge (Aktueller Zeitraum -2008-2010)

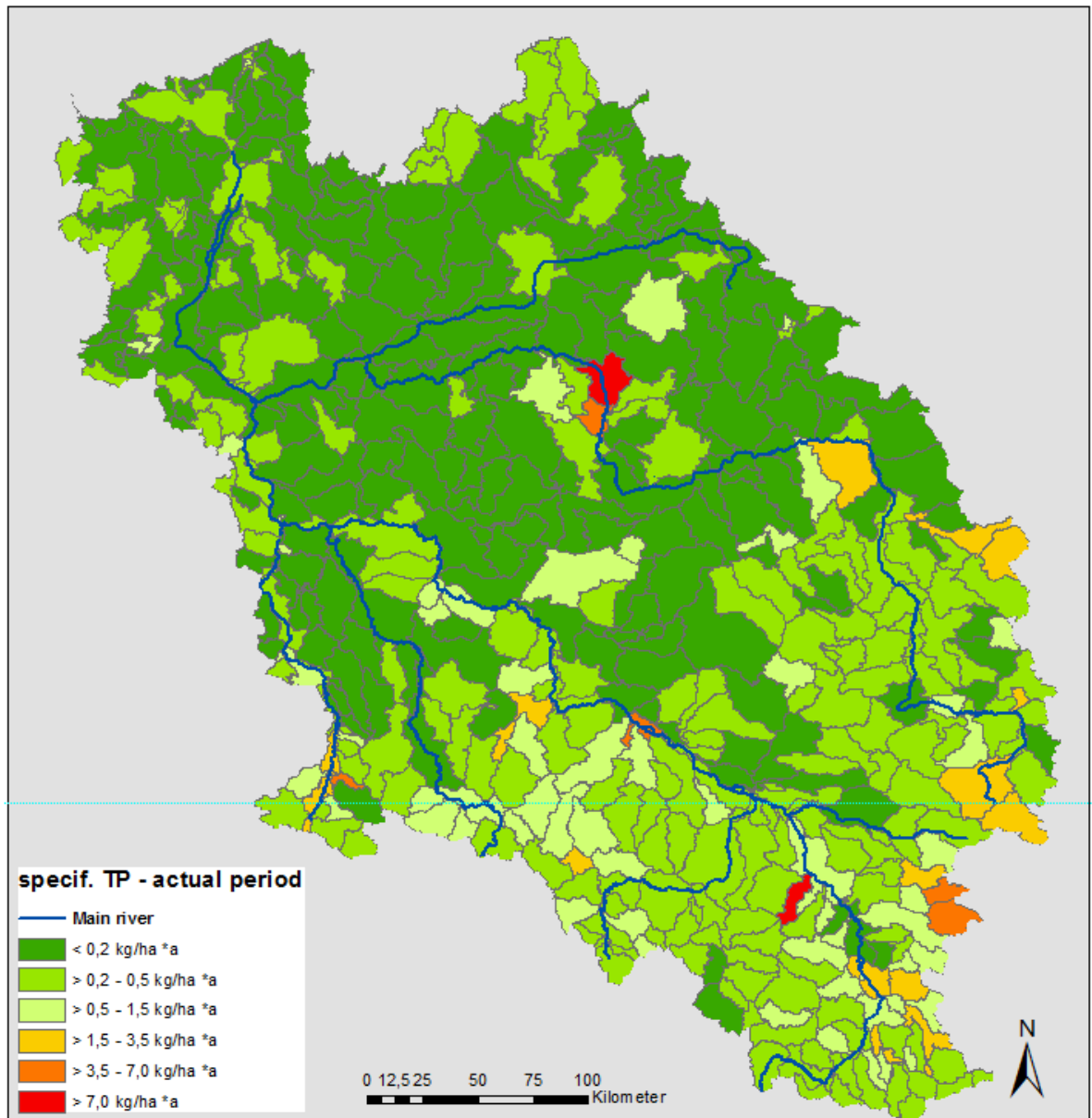


Abbildung 44: Flächenspezifische Phosphoreinträge (Aktueller Zeitraum 2008-2010)

## 5.4 Modellierung des zukünftigen Zeitraumes

### 5.4.1 Gesamtbetrachtung zukünftiger Zeitraum

Das berechnete Standardszenario (Keine Veränderung der Basisdaten, aber Berücksichtigung der sich zeitlich verändernden Verhältnisse im Grundwasser) bis zum Jahre 2021 ergab keine großen Änderungen der Stickstoff- und Phosphoreinträge. Die Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft sind aufgrund der langen Grundwasseraufenthaltszeit auch Jahre nach Aufbringung immer noch wirksam, die Stickstoffeinträge reduzieren sich in einem geringen Maß.

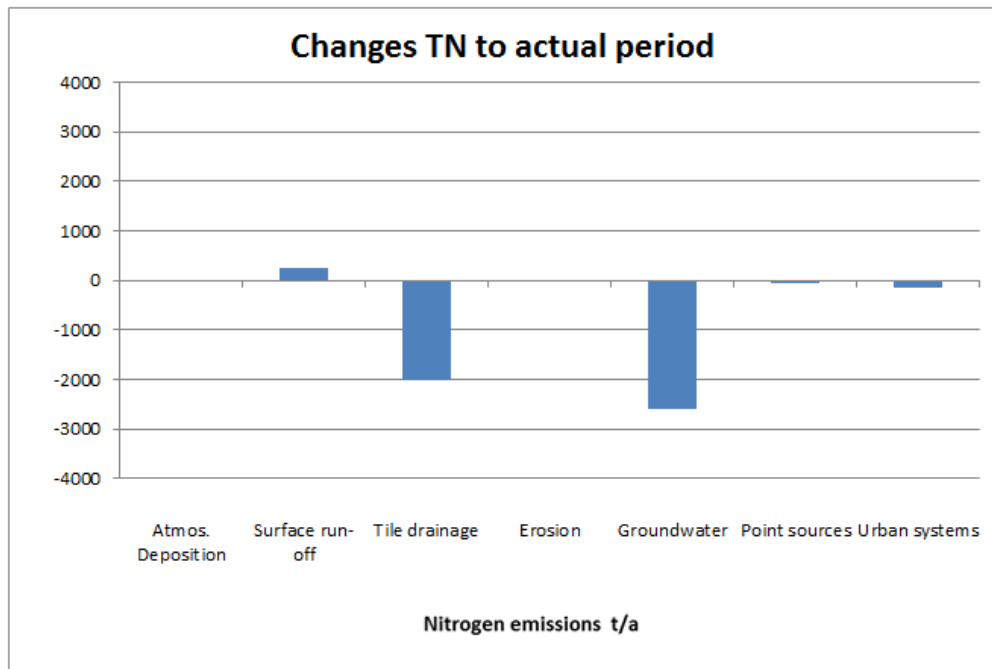


Abbildung 45: Änderungen der Stickstoffeinträge in Bezug des Prognose- Zeitraumes (2011-2021) zum aktuellen Zeitraum (2008 bis 2010)

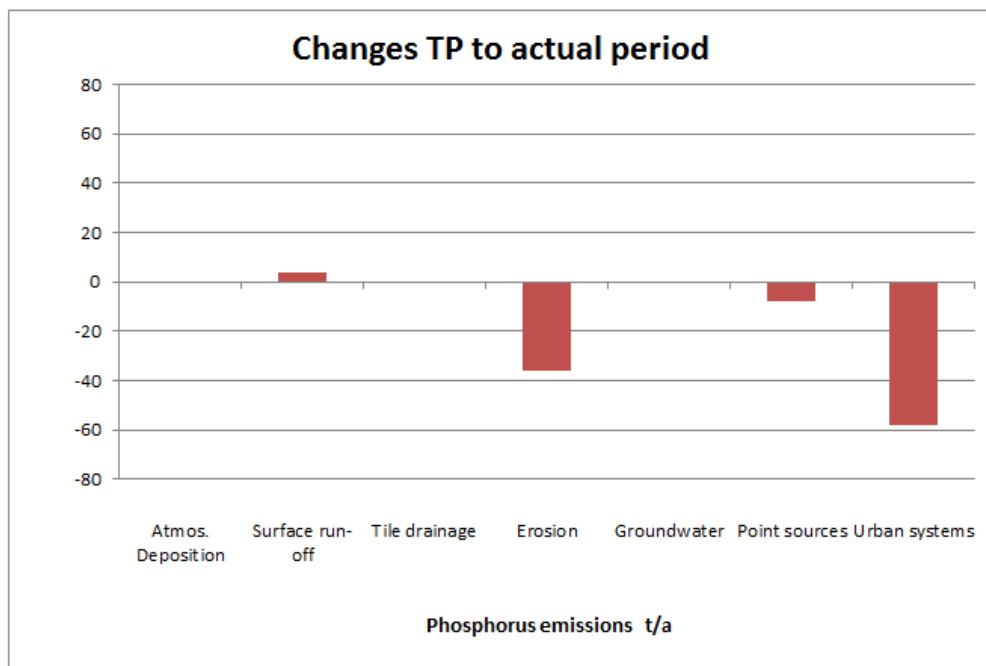


Abbildung 46: Änderungen der Phosphoreinträge in Bezug des Prognose- Zeitraumes (2011-2021) zum aktuellen Zeitraum (2008 bis 2010)

### 5.4.2 Anteil der Eintragspfade und Nährstoffquellen

Die Eintragspfade und Nährstoffquellen wurden für den zukünftigen Zeitraum als unverändert angenommen, da hierzu verlässliche Angaben über mögliche Veränderungen für die Flussgebietseinheit Oder fehlten. Damit kann bei dieser Analyse allein die Veränderung der Auswirkungen des Pfades Grundwasser und Interflow berücksichtigt werden. Für Stickstoff ist damit eine Abnahme des Eintrags über diesen Pfad für die Flussgebietseinheit Oder von über 15% festzustellen.

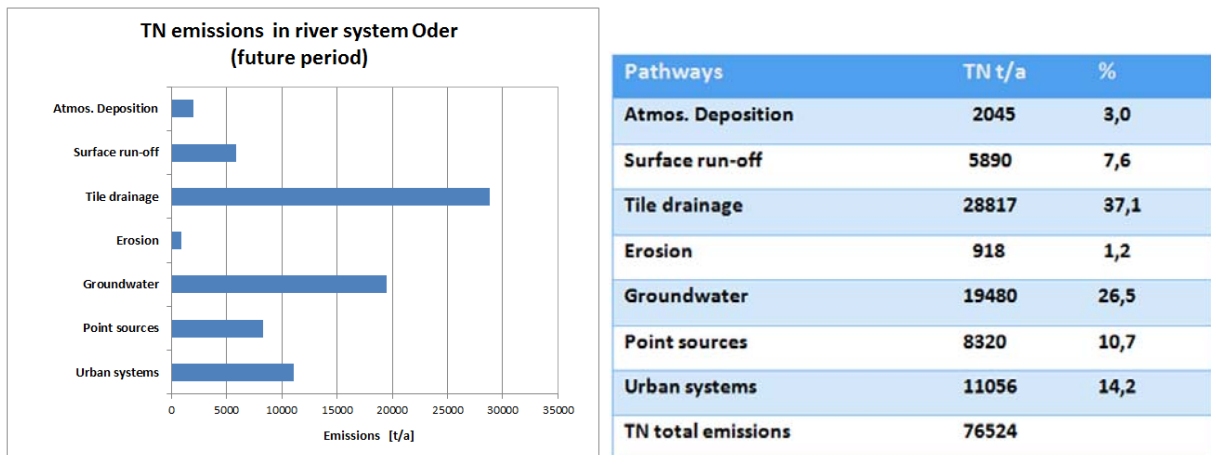


Abbildung 47: Stickstoffeinträge nach Eintrags- Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 – 2021)

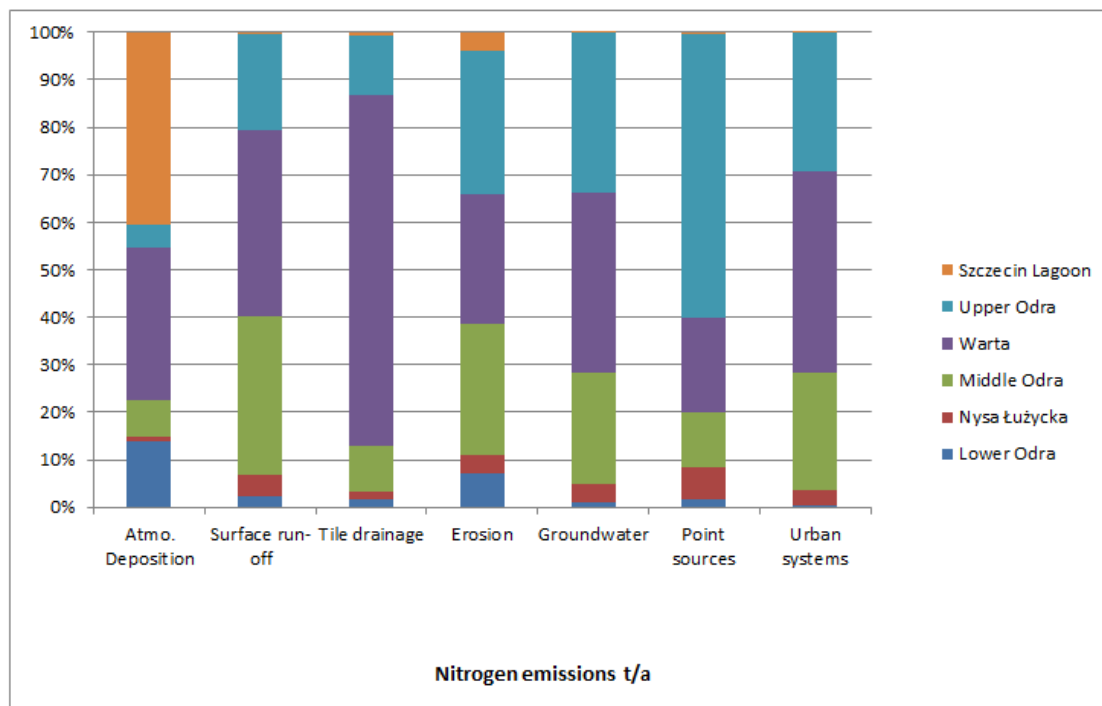


Abbildung 48: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Stickstoff) nach Eintrags- Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 – 2021)

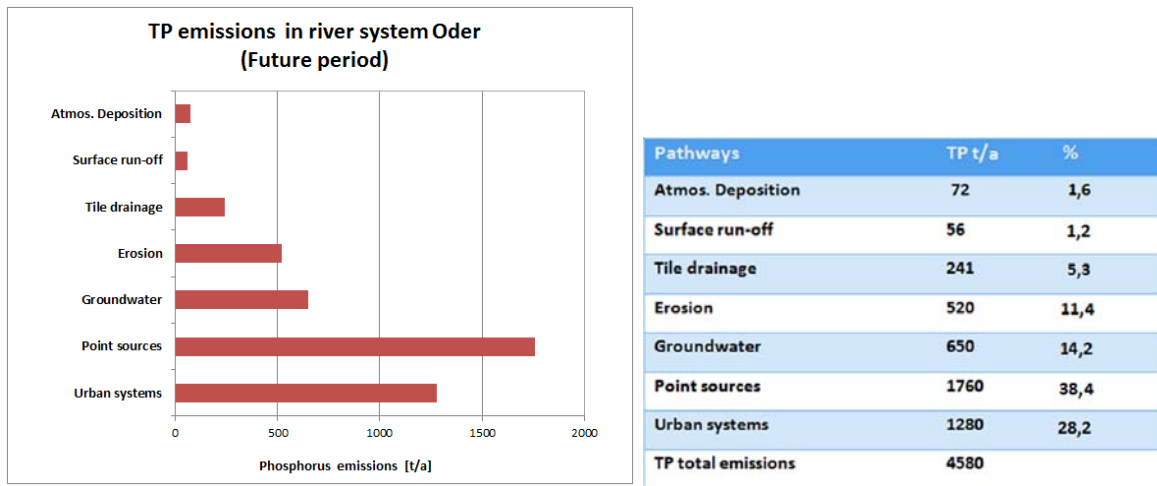


Abbildung 49: Eintragspfade der Phosphoreinträge nach Eintrags- Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 – 2021)

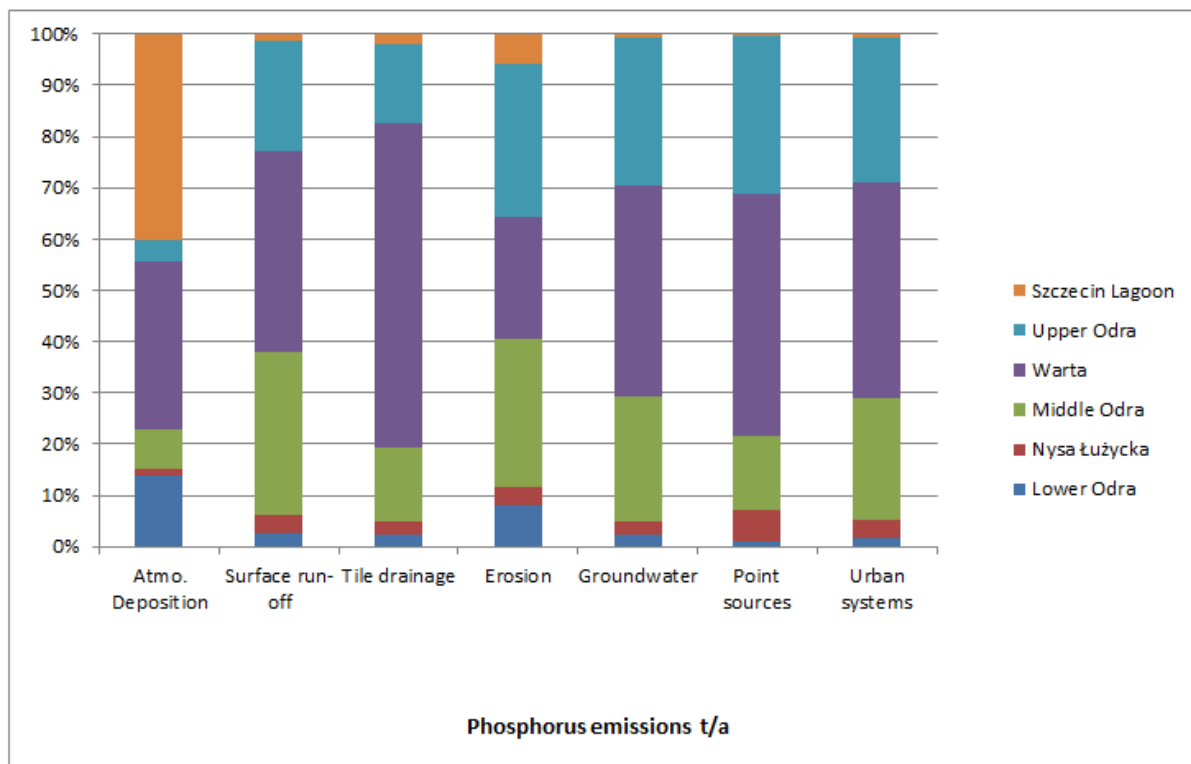


Abbildung 50: Anteil der Bearbeitungsgebiete an den Gesamteinträgen (Phosphor) nach Pfaden für Prognose- Zeitraum (2011 bis 2021)

### 5.4.3 Räumliche Verteilung der Nährstoffeinträge

In den Abbildungen 51 und 52 sind die flächenspezifischen Einträge für Stickstoff und Phosphor für den zukünftigen Zeitraum in kg/ ha\*a dargestellt. .

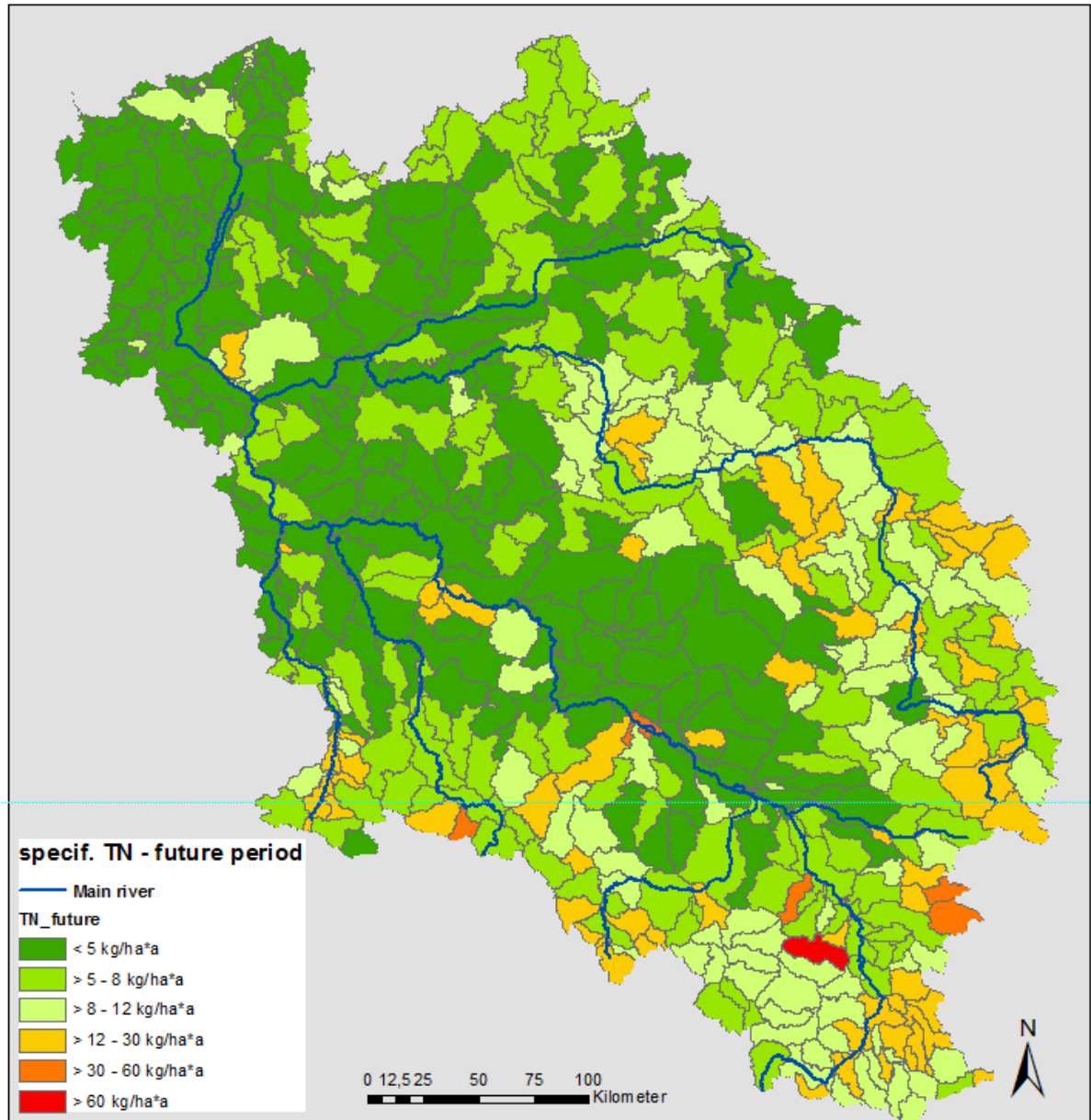


Abbildung 51: Flächenspezifische Stickstoffeinträge (2011-2021)

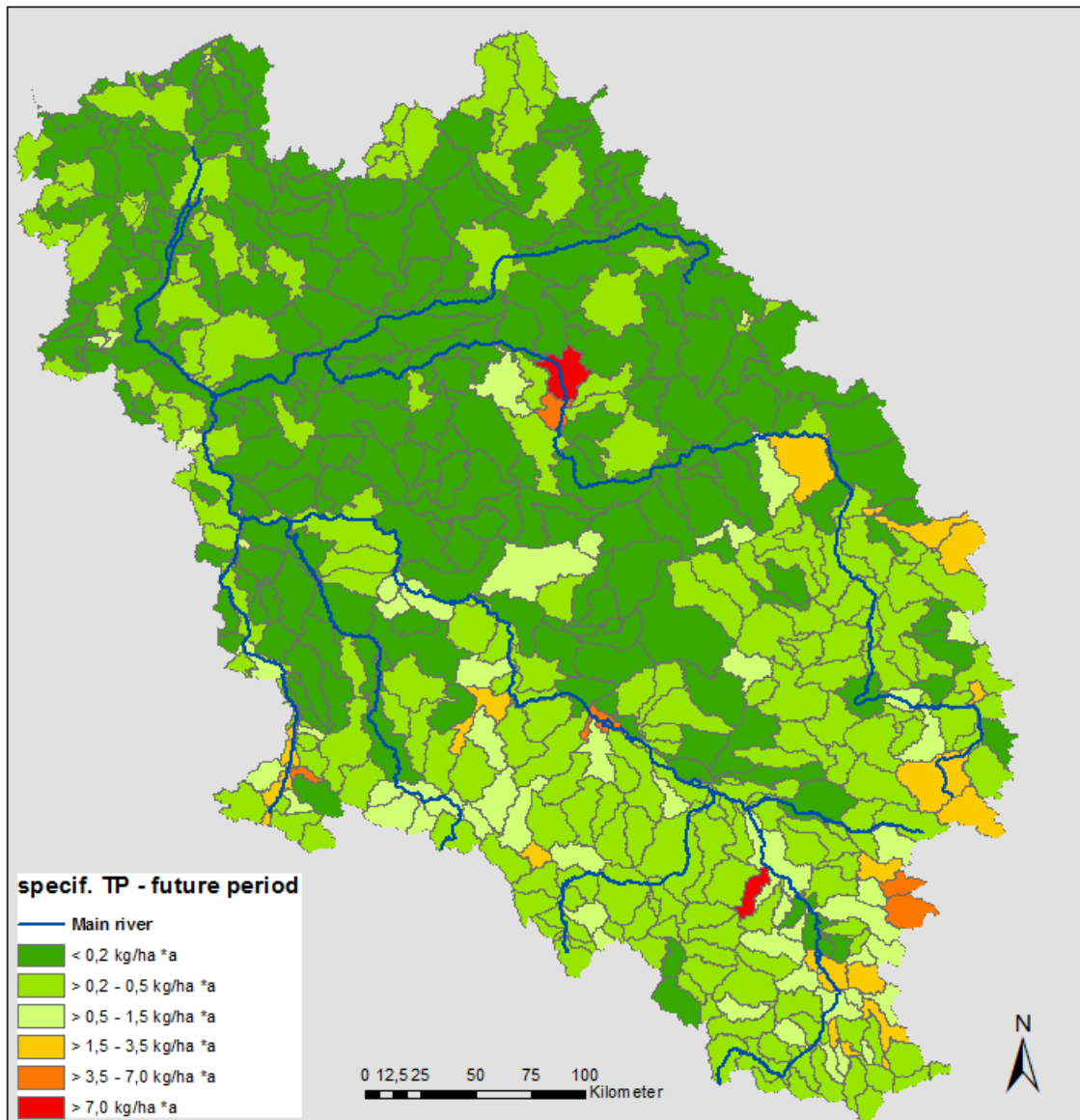


Abbildung 52: Flächenspezifische Phosphoreinträge (2011-2021)



## 5.5 Analyse und Bewertung der drei Zeiträume

Werden die drei Zeiträume mit einander verglichen, dann lässt sich feststellen, dass die Änderungen insgesamt bezogen auf die untersuchten Zeiträume nur gering ausfallen. Dies liegt zum einen daran, dass sich die Veränderungen durch Nutzungsformen in der Landwirtschaft deutlich langsamer auswirken, als die, die durch die Modernisierungen in der Abwassertechnik bewirkt wurden.

Zu berücksichtigen ist ebenfalls, dass im Rahmen des Projektes die zeitliche Entwicklung auf Grund teilweise nicht vorhandener bzw. nicht für den gesamten Zeitraum vollständig vorliegender Eingangsdaten nur annähernd abgebildet werden konnte. Für einige Parameter wurden bei der Interpolation und Ergänzung von fehlenden oder unplausiblen Daten gleiche Werte für die Zeiträume angenommen.

Die Stickstoffüberschüsse als zeitlicher Parameter zeigen bei den Eingangsdaten die größte Variabilität (siehe auch Kapitel 3.4.2). Die Unterschiede in der Bevölkerungsentwicklung zwischen dem historischen und aktuellen Zeitraum sind im gesamten Einzugsgebiet geringfügig (ca. 1%). In Polen sind Opolskie und Slaskie (Obere Oder) am stärksten vom Bevölkerungsrückgang betroffen (bis zu 6%), während in den Gebieten um größere Städte herum (u.a. Wroclaw, Poznan, Gorzow Wielopolski) sich ein Bevölkerungswachstum um 5-15% verzeichnen lässt.

In den flächenspezifischen Darstellungen zeichnen sich die urban geprägten Räume vor allem bei Phosphor deutlich ab. Dies ist ein Hinweis auf das vorhandene Potenzial für zukünftige Managementoptionen. Bei Stickstoff spielen die urbanen Systeme inklusive der Kläranlagen eine untergeordnete Rolle. Da sich der technische Ausbauzustand der Kläranlagen in Polen und Tschechien bereits seit Anfang 2000 (vor allem verstärkt ab 2004) im Vergleich zu früheren Jahren verbessert hat, lassen sich in dem relativ kurzen Untersuchungszeitraum eben auch hier nur geringfügige Veränderungen feststellen.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Nährstoffeinträge für den historischen, den aktuellen und den zukünftigen Zeitraum

	Betrachtungszeiträume		
	2000 - 2007	2008 - 2010	2011 - 2021
<b>TN-Eintrag (t/a)</b>	80.010	81.900	76.332
<b>TP-Eintrag (t/a)</b>	5.060	4.800	4.497
<b>TN-Änderung</b>		2,4%	-6,8%
<b>TP-Änderung</b>		-5,1%	-6,3 %

## 6 Vorschläge der Managementoptionen zur Nährstoffreduzierung

### 6.1 Überblick über die in MONERIS integrierten Managementoptionen

MONERIS bildet nicht einzelne Maßnahmen ab, sondern nur deren Nettoeffekt auf die Nährstoffeinträge, sie entsprechen somit eher übergeordneten Managementoptionen. Im Modell sind verschiedene Managementoptionen vordefiniert, die einzeln und kombiniert, analysegebietsbezogen oder auch gebietsübergreifend eingesetzt werden können. Die Managementalternativen beziehen sich auf die Handlungsfelder Landwirtschaft, Renaturierung von kleinen Fließgewässern und urbane Systeme und können in fünf Gruppen unterschieden werden: Landnutzung (z.B. Bodenkonservierende Maßnahmen), Landnutzungsintensität (z.B. Veränderung der Stickstoffüberschüsse), Kanalisation, Kleinkläranlagen (DCTP) und kommunale Kläranlagen (WWTP).

Zur besseren Transparenz der im Modell implementierten Managementoptionen und deren Wirksamkeit hat das IGB Datenblätter (fact sheets) erstellt. Beispielhaft zeigt die Tabelle 5 den Aufbau und Inhalt dieser Datenblätter. Im Anhang ist eine vollständige Liste der Datenblätter für die Managementoptionen aufgeführt.

Tabelle 5: Datenblatt (fact sheet) für die Managementoption Reduktion des Stickstoffüberschusses

Managementoption	Beschreibung
Reduktion des Stickstoffüberschusses um einen bestimmten Wert	<p><b>Art der Implementierung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion des Stickstoff-Überschusses, nach erfolgter Korrektur über Langzeitdaten (Country-Data)</li> <li>- Berücksichtigt zusätzlich eine Szenario induzierte Änderung der N-Deposition</li> </ul> <p><b>Betroffene Pfade:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundwasser / Interflow, Drainagen</li> </ul> <p><b>Optionen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Separate Angabe der N-Überschussänderung in kg/ha*a für Acker- und Grünland</li> <li>- Werte dürfen nach Abzug der N-Deposition nicht negativ sein</li> </ul> <p><b>Wirksamkeit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergibt sich aus dem Verhältnis des aktuellen N-Überschuss und der Reduktionsannahmen</li> </ul> <p><b>Einschränkung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Rückkopplung zu den Ernteerträgen</li> <li>- Keine Berücksichtigung eines Düngedarfs</li> <li>- Keine Berücksichtigung des Ausbringe-Zeitpunkts</li> </ul>

## 6.2 Managementoptionen zur Reduzierung der Einträge über Landnutzungsmaßnahmen

Für das Handlungsfeld Landwirtschaft wurden bezüglich der Reduktion der Stickstoffüberschüsse zwei Managementoptionen umgesetzt und deren Wirkung auf die Stoffeinträge berechnet:

- Fixierung der Überschüsse auf maximal 60 kg/ha\*a (festgesetzter Wert ab 2011 nach deutscher Düngeverordnung) und
- Verringerung der Stickstoffüberschüsse um 5 bzw. 10 kg/ha\*a auf landwirtschaftlichen Flächen.

Da die in der deutschen Düngeverordnung festgelegte Obergrenze für Stickstoff- Überschüsse von 60 kg/ha\*a im aktuellen Zeitraum weitestgehend auch in den polnischen und tschechischen Gebieten erreicht wird, ist nur ein sehr geringer Effekt dieser Managementoption zu verzeichnen.

Für die Managementoption 1 aus b) (Verringerung der Stickstoffüberschüsse) wurde eine pauschale Reduzierung um 5 kg/ha\*a für alle Gebiete angenommen. Das führt zu einer Gesamtreduktion von Stickstoffeinträgen über den Eintragspfad Dränagen um 11 %. Der Effekt verstärkt sich bei der Reduzierung um 10 kg /ha\*a für alle Gebiete analog. Die nachfolgende Tabelle stellt die Prognosen der Reduzierung der Einträge über Dränagen für die beiden Managementoptionen im Vergleich zum aktuellen Zeitraum dar.

Tabelle 6: Stickstoffeinträge über Dränagen im Vergleich einer Reduzierung von 5 bzw. 10 kg/ha\*a

TN- Einträge über Dränagen [t/a]			
	Aktueller Zeitraum	Managementoption 1 N_Red_5	Managementoption 2 N_Red_10
<b>Gesamt</b>	<b>26.698</b>	<b>23.536</b>	<b>20.656</b>
<b>Reduzierung [%]</b>		<b>-11,8</b>	<b>-21,8</b>
<b>Obere Oder</b>	<b>3.899</b>	<b>3.064</b>	<b>2.734</b>
<b>Reduzierung [%]</b>		<b>-21,4</b>	<b>-29,9</b>
<b>Mittlere Oder</b>	<b>6.527</b>	<b>5.841</b>	<b>5.103</b>
<b>Reduzierung [%]</b>		<b>-10,5</b>	<b>-21,8</b>
<b>Untere Oder</b>	<b>1.883</b>	<b>1824</b>	<b>1.592</b>
<b>Reduzierung [%]</b>		<b>-3,1</b>	<b>-15,5</b>
<b>Lausitzer Neiße</b>	<b>620</b>	<b>610</b>	<b>570</b>
<b>Reduzierung [%]</b>		<b>-1,7</b>	<b>-8,1</b>
<b>Warthe</b>	<b>12.887</b>	<b>11.486</b>	<b>10.019</b>
<b>Reduzierung [%]</b>		<b>-10,9</b>	<b>-22,3</b>
<b>Stettiner Haff</b>	<b>700</b>	<b>708</b>	<b>636</b>
<b>Reduzierung [%]</b>		<b>-</b>	<b>-9,3</b>

Als zweites Handlungsfeld für die Landwirtschaft wurden für den Parameter Phosphor Managementoptionen zur Reduktion des Bodenabtrages auf Ackerland konzipiert. In MONERIS sind folgende Managementoptionen für dieses Handlungsfeld implementiert:

- Bodenkonservierung (Direktsaat, pfluglose Bodenbearbeitung, Mulchsaat, Untersaat)
- Kontourpflügen und
- Zwischensaat

Diese Managementoption basiert auf einer Reduzierung von Bodenabträgen (nach allgemeiner Bodenabtragsgleichung) und erlaubt die Simulation der Maßnahmenanwendung für, nach Gefälleklassen unterschiedenen, Ackerstandorten. Die Maßnahme modifiziert den ermittelten Bodenabtrag und reduziert ihn um einen zuvor definierten prozentualen Anteil.

Da bei den betrachteten Flächen von einer gemischten Zusammensetzung von Ackerfrüchten auszugehen ist, wird der Effekt der Maßnahme nicht über den C-Faktor abgeleitet, sondern als summarische Größe über einen Reduktionsfaktor festgelegt. Für dieses Szenario wurde für alle Gefälleklassen von einer effektiven Bodenabtragsreduktion um 30% ausgegangen.

Auch wenn der Anteil der Phosphoreinträge über Erosion im Gesamteinzugsgebiet der Oder mit gut 5% relativ niedrig liegt so kann insbesondere in den Gebieten mit hoher landwirtschaftlicher Nutzung und steileren Lagen (Warthe und Obere Oder) ein erhebliches Reduzierungspotenzial initialisiert werden.

Auf Basis einer Studie der Warschauer Naturwissenschaftlichen Universität (LÜTZ ET AL., 2010) wird geschätzt, dass die konservierende Bodenbearbeitung im polnischen Durchschnitt in den nächsten fünf Jahren auf 35 % der Ackerflächen ansteigt. In Gebirgs- und Vorgebirgslagen wird die pfluglose Bodenbearbeitung bereits verstärkt angewendet. Diese Managementoption wurde aufgrund der vorliegenden Information nur für die polnischen Ackerflächen angewendet.

Aus diesen Annahmen wurden zwei Pakete für Managementoptionen konzipiert und untersucht:

- konservierende Bodenbearbeitung auf 35% der polnischen Ackerflächen
  - Managementoption 1:** Für alle Gebiete unabhängig von Hangneigung
  - Managementoption 2:** Für alle Gebiete mit Hangneigungsklasse 4-8% und > 8%
- konservierende Bodenbearbeitung auf 50% der polnischen Ackerflächen
  - Managementoption 3:** Für alle Gebiete unabhängig von Hangneigung
  - Managementoption 4:** Für alle Gebiete mit Hangneigungsklasse 4-8% und > 8%

Nachfolgend sind die Ergebnisse zu den polnischen Gebieten und den Bearbeitungsgebieten dargestellt.

Tabelle 7: Bearbeitungsgebietsbezogene Reduzierung von Phosphor durch die Managementoptionen 1 und 2

Bearbeitungsgebiete	Aktueller Zustand		Managementoption 1		Managementoption 2	
	Erosion	TP [t/a]	Erosion	TP [t/a]	Erosion	TP [t/a]
<b>Alle Gebiete (PL)</b>		626		554		388
<b>Warthe</b>		144		125		82
<b>Untere Oder</b>		45		42		38
<b>Lausitzer Neiße</b>		21		20		17
<b>Mittlere Oder</b>		163		141		55
<b>Stettiner Haff</b>		39		39		39
<b>Obere Oder</b>		214		187		156

Tabelle 8: Bearbeitungsgebietsbezogene Reduzierung von Phosphor durch die Managementoptionen 3 und 4

Bearbeitungsgebiete	Aktueller Zustand		Managementoption 3		Managementoption 4	
	Erosion	TP [t/a]	Erosion	TP [t/a]	Erosion	TP [t/a]
<b>Alle Gebiete (PL)</b>		626		407		229
<b>Warthe</b>		144		131		54
<b>Untere Oder</b>		45		42		42
<b>Lausitzer Neiße</b>		21		21		19
<b>Mittlere Oder</b>		163		158		114
<b>Stettiner Haff</b>		39		39		39
<b>Obere Oder</b>		214		199		179

### 6.3 Managementoptionen zur Reduzierung der Einträge über Kläranlagen

Diese Managementoption simuliert eine Erhöhung der Reinigungsleistung in kommunalen Kläranlagen orientiert sich an den Vorgaben der Abwasserverordnung bzw. der EU-Kommunalabwasser-Richtlinie. Das heißt, dass die Ablaufkonzentrationen aus den Kläranlagen auf einen größenklassenspezifischen Maximalwert festgelegt wurden. MONERIS überprüft dann die in der Datenbank angegebenen Ablaufkonzentrationen und ersetzt die Werte bei Überschreitung durch die in nachfolgende Tabelle angegebenen Maximalkonzentrationen.

Tabelle 9: angesetzte Ablaufwerte nach Größenklassen der Kläranlagen

Größenklasse	EW	TN in mg/l (Ablauf)	TP in mg/l (Ablauf)
1	< 1000	60	6
2	1000- 5000	60	6
3	5000- 10000	15	2
4	10000-10000	15	2
5	>100000	10	1



## 7 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung zeigt die Entwicklung der Nährstoffeinträge für Stickstoff und Phosphor getrennt nach Eintragspfaden über die vergangenen Jahre seit 2000 sowie eine Prognose bis 2021.

Die Darstellung der einzelnen Eintragspfade in den Einzugsgebieten zeigt unterschiedliche Eintragschwerpunkte und lässt Rückschlüsse auf die mögliche Auswahl bzw. Prioritätensetzung von Managementoptionen zu. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Einträge für Stickstoff im Odergebiet seit Beginn des Jahrtausends nur unwesentlich (etwa 2%) zugenommen haben. Diese nur geringe Änderung unterliegt einem komplexen Wirkungsgefüge von Abflussspende, Änderung der N-Überschüsse und der Verweilzeit im Grundwasser. Für die meisten untersuchten Pegel konnte eine leichte (aber nicht für alle Pegel feststellbare) Zunahme der Abflüsse von 2000-2010 festgestellt werden. Zusätzlich kommt es aufgrund der Grundwasseraufenthaltszeit zu einer allmählich nachlassenden Wirkung der hohen N-Überschüsse in den 1990er Jahren. Diese Entwicklung wird wiederum durch eine Zunahme der N-Überschüsse in Polen (+17 %) und eine Abnahme der N-Überschüsse in den Nachbarländern (Tschechien: -17%, Deutschland: -14%) zwischen 2000 und 2010 überprüft. Die genauen Anteile an dieser Entwicklung konnten innerhalb dieser Studie nicht analysiert werden.

Für Phosphor ist im gleichen Zeitraum eine Abnahme von 5% zu verzeichnen. Dieses lässt sich für Stickstoff im Wesentlichen auf einen leichten Anstieg der Stickstoffüberschüsse und für Phosphor auf einen erhöhte Anschlussgrad der Haushalte an die Kanalisation und an Kläranlagen (mit einem gesteigerten Retentionsvermögen) zurückführen. Darüber hinaus wurde in Polen und Tschechien der Verbrauch von Phosphaten seit 2000 deutlich reduziert, was sich ebenfalls auf den Rückgang der P-Einträge ausgewirkt hat.

Als Grundlage für weiterführende Szenarien weist diese Studie ebenfalls eine Entwicklung der Einträge in die Zukunft bis 2021 unter der Annahme unveränderter hydro-klimatischer Verhältnisse Klimas aus. Für Stickstoff bildet dieses Szenario somit ab, wie sich die Einträge, insbesondere über das Grundwasser, verändern, wenn die teilweise deutlich höheren Stickstoffüberschüsse aus den 1980-1990er Jahren allmählich aus dem Grundwasser ausgewaschen werden und nicht weiter eintragsrelevant werden. Für Phosphor hingegen wurde angenommen, dass in allen Staaten der IKSO-Vertragsparteien ein weitest gehender Verzicht auf Phosphate in Waschmitteln durchgesetzt wird. Für beide Stoffe wäre demnach von einem Rückgang der Einträge um etwa 6 % für beide Stoffe auszugehen.

Welche Auswirkungen könnten verschiedene Managementoptionen bewirken? Dieser Frage wurde für Stickstoff mit einer pauschalen Reduzierung der Stickstoff-Überschüsse auf landwirtschaftlichen Flächen (um 5 bzw. 10 kg/ha\*a) nachgegangen und für Phosphor mit einer Reduzierung der Einträge durch Erosion als auch der Eintrag aus Kläranlagen untersucht. Mit den untersuchten Managementoptionen lassen sich weitere Reduzierungen erreichen, die z. T. in einzelnen Analysegebieten und nur bezogen auf die jeweiligen Eintragspfade deutliche Effekte zeigen können. Bezogen auf das Gesamteinzugsgebiet und die Gesamteinträge über alle Pfade liegen sie allerdings sowohl für Stickstoff, als auch für Phosphor deutlich im mittleren einstelligen Bereich.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Auswahl der Gebiete in denen Maßnahmen angewendet werden sollen, in Kombination mit einem geeigneten Maßnahmenumfang von großer Bedeutung für die Gesamtwirksamkeit der Maßnahmen ist. Für die Berechnung des Effektes einer Reduktion der Stickstoff-Überschüsse um 10 kg/ha\*a ergab sich eine Abnahme der N-Einträge im Mittel um 0,5 kg/ha\*a. Dabei lagen die höchsten spezifischen Reduktionen bei 0,7 kg/ha\*a in der Oberen Oder, wohingegen in der Lausitzer Neiße und in den Gebiete im Bereich um das Stettiner Haff sich die Reduktion sich nur auf 0,1 kg/ha\*a beläuft. Dies lässt sich durch die Verteilung der N-Überschüsse, der Niederschläge, und dem Anteil an drainierten Acker bzw. Grünland erklären. Bei der Reduktion der Phosphor-Einträge über erosionsmindernde Maßnahmen zeigte sich, dass eine Anwendung auf Ackerflächen mit einer mittleren Neigung >4 % (13 % der Ackerfläche in Polen) eine Reduktion der erosiven Einträge um 35 % zu erreichen ist, wohingegen eine zusätzliche Anwendung der Maßnahmen auf den verbleibenden 87 % der Ackerflächen nur zu einer Verdoppelung des Effektes führt. Für Phosphor sind Punktquellen und urbane Systeme immer noch die dominierenden Eintragspfade. Eine Reduktion der Ablaufkonzentrationen aus

Kläranlagen auf die in Kapitel 6.3 beschriebenen Werte würde auf Basis der derzeit vorliegenden Daten zu einer Eintragsreduktion um 6 % (TN) und 15 % (TP) führen und damit vor allem für Phosphor eine wichtige Reduktionsmaßnahme darstellen.

Alles in allem deuten die bisherigen Ergebnisse an, dass eine Reduktion der Einträge um mehr als 20 % bereits einen erheblichen Umsetzungsaufwand erfordern würde und somit eine weiterführende differenzierte Analyse der Schwerpunktgebiete für Einträge, Hot-spots und eine Maßnahmenanwendung im Sinne einer kostengünstigen Umsetzung von großer Wichtigkeit wäre. Auch eine Betrachtung auf monatlicher Ebene könnte helfen, ein optimiertes Management zu unterstützen, indem gezielt Maßnahmen getestet und angewendet werden, die zu einer Reduktion der sommerlichen Einträge führen und somit eine hohe Effektivität zur Verbesserung der Wasserqualität bewirken würden.

## 8 Ausblick

Die vorliegende Studie über die Verteilung der Einträge der Stickstofffrachten in der Flussgebietseinheit Oder stellt gewissermaßen eine Aktualisierung und Fortschreibung der in den Projekten AMBER, RADOST, IKZM-Oder durchgeführten Modellierung und Berechnungen des UBA dar. Die vorliegenden Daten weisen nach wie vor Lücken auf und sollten weiter vervollständigt werden. Entsprechend kann diese Studie nur eine orientierende Aussage liefern. Es wird für sinnvoll erachtet, die Datengrundlage und bearbeiteten und zusammengestellten Eingangsdatensätze weiter zu vervollständigen und hinsichtlich weiterer Studien zu nutzen.

Eine generelle Reduzierung der Stickstoffüberschüsse durch rechtliche Umsetzung von Vorgaben wie z.B. die der deutschen Düngeverordnung führen zu keiner relevanten Minimierung der Einträge, da die Stickstoffüberschüsse nur in einigen Gebieten die Vorgaben der Düngeverordnung überschreiten. Hier bewirkt eine Umsetzung in Schwerpunktgebieten, wie die ausgewählten Maßnahmen zeigten, in der Summe eine größere Minderung der Einträge über Dränagen. Das gilt ebenso für Maßnahmen im urbanen Bereich.

Eine Berechnung auf monatlicher Ebene und eine verbesserte Datengrundlage hinsichtlich der N-Überschüsse könnten eine deutliche Verbesserung der Modellergebnisse und der Aussagekraft bewirken.

## 9 Literatur

- BEHRENDT, H., P.-H. HUBER, D. OPITZ, O. SCHMOLL, G. SCHOLZ & R. UEBE (1999): „Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands“, *UBA Texte 75/99*, Umweltbundesamt: Berlin, 288 S.
- BEHRENDT, H., HUBER P., KORNMILCH, M., OPITZ D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G. & UEBE, R. (2000): Nutrient Emissions into river basins of Germany. *UBA-Texte 23/00*, 266pp.
- BEHRENDT, H., R. DANNOWSKI, D. DEUMLICH, F. DOLEZAL, I. KAJEWSKI, M. KORNMILCH, R. KOROL, W. MIODUSZEWSKI, D. OPITZ, J. STEIDL & M. STRONSKA (2002): „Investigation on the quantity of diffuse entries in the rivers of the catchment area of the Odra and the Pomeranian Bay to develop decision facilities for an integrated approach on waters protection (Phase III)“, *Final Report*, Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries: Berlin, 271 p.
- BEHRENDT, H., M. BACH, R. KUNKEL, D. OPITZ, W.-G., PAGENKOPF, G. SCHOLZ, F. WENDLAND (2003): “Nutrient Emissions into River Basins of Germany on the Basis of a Harmonized Procedure”, *UBA-Texte 82/03*, 191 p.
- CARL, P. & BEHRENDT, H. (2008): Regularity-based functional streamflow disaggregation: I. Comprehensive foundation. in: *Water Resources Research* 44, WO2420, DOI: 10.1029/2004WR003724
- CARL, P., GERLINGER, K., HATTERMANN, K.K., KRYSANOVA, V., SCHILLING, C. & BEHRENDT, H. (2008): Regularity-based functional streamflow disaggregation: II. Extended demonstration. In: *Water Resources Research* 44, W03426, DOI: 10.1029/2006WR005056
- Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212 geändert
- FAO (2007): Soil map of the World (DSMW, FAO 1997 based on the FAO/UNESCO Soil Map of the World). <http://apps.fao.org/>.
- FINNERN, H., (HERAUSGEBER) (2005) : Bodenkundliche Kartieranleitung. Ad-hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland, 438 S.
- FREDE, H.G. & DABBERT, S. (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Ecomed Verlagsgesellschaft Landsberg, 451 S.
- FUCHS, S., U. SCHERER, R. WANDER, H. BEHRENDT, M. VENOHR, D. OPITZ, T. HILLENBRAND, F. MARSCHIEDER-WEIDEMANN & T. GÖTZ (2010): „Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS - Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe“, *Texte 45/2010*, Hrsg.: Umweltbundesamt: Dessau; 207 S.
- KRETSCHMAR, R. (1977): Stofftransport in ländlichen Entwässerungsgräben und Vorflutern. In: Landwirtschaftliche Forschung 30.
- LÜTZ, M., KLOTSCH, S. UND MÄDLER, R. (2010): Erosion kennt keine Grenzen. In: Neue Landwirtschaft 4/2010
- PÖTHIG, R., BEHRENDT, H., D. OPITZ & G. FURRER (2010): "A universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems", *Environmental Science and Pollution Research* 17 (2): 497-504
- VENOHR, M., DONOHUE, I., FOGELBERG, S., ARHEIMER, B. & BEHRENDT, H. (2005): Modelling nitrogen transfer in river systems: The importance river morphology and the occurrence of lakes. *Water Science and Technology* 54 (3-4), pp.19-29.
- VENOHR, M. (2006): Modellierung der Einflüsse von Temperatur, Abfluss und Hydromorphologie auf die Stickstoffretention in Flusssystemen. *Berliner Beiträge zur Ökologie* 14, Weißensee Verlag, Berlin, 193 S.
- VENOHR, M., U. HIRT, J. HOFMANN, D. OPITZ, A. GERICKE, A. WETZIG, S. NATHO, F. NEUMANN, J. HÜRDLER, M. MATRANGA, J. MAHNKOPF, M. GADEGAST, H. BEHRENDT (2011): “Modelling of Nutrient Emissions in River Systems – MONERIS – Methods and Background”, *Int. Rev. Hydrobiol.* 96 (5) : 435–483
- ZESSNER, M., KOVACS A., SCHILINNG C., HOCHEDLINGER G., GABRIEL O., NATHO S., THALER S. & WINDHOFER G. (2011): Enhancement of the MONERIS Model for Application in Alpine Catchments in Austria, *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 96, p 541-60
- ZWEYNERT, U. (2008): Möglichkeiten und Grenzen bei der Modellierung von Nährstoffeinträgen auf Flussgebietsebe-

ne -Untersuchungen am Beispiel des Modells MONERIS, *Dissertation, TU-Dresden*, 191 Seite.

10 **Anhang**

Managementoption	Beschreibung
Umwandlung von Ackerland in Grünland	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> <li>- Für „neue“ Grünlandflächen werden die gleichen Bedingungen (Anteil drainierter Flächen, Abbau in ungesättigter Zone) wie für „alte“ Flächen angenommen.</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosion, Abschwemmung und Dränagen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe prozentualer Flächenanteile separat für Hangneigungsklassen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Festlegung einer Wirksamkeit nötig</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Überführung von Grünland in Ackerland (negative Flächenanteile)</li> <li>- N-Überschüsse werden nicht verändert</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Reduktion des Bodenabtrags auf Ackerland	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> <li>- Umfasst die drei Maßnahmen: Bodenkonservierung (Direktsaat, pfluglose Bodenbearbeitung, Mulchsaat, Untersaat), Konturpflügen und Zwischensaat</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosion</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe des prozentualen Flächenanteil der Ackerflächen (%-Reduktion des Bodenabtrags) separat für Hangneigungsklassen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wird als Parameter pro Gefälleklasse und Maßnahmenpaket festgelegt</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Unterscheidung von Bodentypen</li> <li>- Keine Differenzierung von Flächen nach Ab-</li> </ul>



	<p>stand zum Gewässer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Kopplung zur Abschwemmung</li> </ul>
--	---

Managementoption	Beschreibung
Reduktion von Dränierten Flächen	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <p>Drainagen, Grundwasser</p> <p>Optionen:</p> <p>Angabe der Reduktion drainierter Flächen (Reduktion der prozentualen Flächenanteile) gemeinsam für Acker- und Grünland</p> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Festlegung einer Wirksamkeit nötig</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (Bisher) keine Differenzierung von Acker- und Grünland</li> <li>- Keine Kopplung zur Abschwemmung (vor allem bezüglich Wasserhaushalt, in MONERIS wird diese generell nicht explizit (nur über Eingangsdaten) berücksichtigt)</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Anbindung der landwirtschaftlichen Flächen an die Oberflächengewässer	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion der modellierten Bodenabträge (nach Berücksichtigung von Maßnahmen zur Reduktion des Bodenabtrags) vor Berechnung der Einträge</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <p>Erosion</p> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe des prozentualen Anteils von Ackerflächen die durch die Gewässerrandstreifen vom direkten oberflächlichen Eintrag entkoppelt werden.</li> <li>- Separate Selektion nach Gefälleklasse</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Separate Angabe der Breite mit individueller Wirksamkeit nach Breitenklassen pro Maß-</li> </ul>

	<p>nahmenpaket</p> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Kopplung zur Denitrifikation in der Bodenpassage unter Randstreifen</li> <li>- Keine Änderung der Anreicherungsverhältnisse</li> </ul>
--	--

Managementoption	Beschreibung
Retentionsteiche für Drainageabläufe	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der berechneten Einträge über Drainagen</li> <li>- Greift nach möglicher Überführung von Acker- zu Grünland</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drainagen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe prozentualer Flächenanteile der Drainierten Flächen die über einen Drainteich entwässern sollen</li> <li>- Die Drainteichgröße wird über eine globale Konstante festgelegt (z.B.: 20 m<sup>2</sup>/ ha; Teichfläche/ ha drainierte Fläche)</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wirksamkeit wird über Drainteichgröße bestimmt, Retention im Drainteich wird nach den in MONERIS verwendeten Retentionsansätzen separate ermittelt</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Unterscheidung zwischen Acker und Grünland möglich</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Umwandlung von versiegelter in unversiegelte urbane Flächen	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der berechneten versiegelten Fläche in Gebieten</li> <li>- Entsiegelte Fläche wird als Grundwasserneubildungsfläche berücksichtigt, hier ausschließlich Berücksichtigung der atmosphärischen Deposition</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Urbane Systeme, Grundwasser</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe prozentualer Flächenanteile der ver-</li> </ul>

	<p>siegelten Fläche die entsiegelt werden sollen</p> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es wird von einer vollständigen Entsiegelung der selektieren Flächen ausgegangen</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Nutzungen für entsiegelte Flächen möglich (z.B. Versickerung von Dachflächen, Rigolen-Systeme, Parkanlagen, etc.)</li> </ul>
--	---

Managementoption	Beschreibung
Reduktion des Stickstoffüberschusses um einen bestimmten Wert	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion des Stickstoff-Überschusses, nach erfolgter Korrektur über Langzeitdaten (Country-Data)</li> <li>- Berücksichtigt zusätzliche eine Szenario induzierte Änderung der N-Deposition</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundwasser, Drainagen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Separate Angabe der N-Überschussänderung in kg/ha*a für Acker- und Grünland</li> <li>- Werte dürfen nach Abzug der N-Deposition nicht negativ sein</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergibt sich aus dem Verhältnis des aktuellen N-Überschuss und der Reduktionsannahmen</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Rückkopplung zu den Ernteerträgen</li> <li>- Keine Berücksichtigung eines Düngedarfs</li> </ul> <p>Keine Berücksichtigung des Ausbringe-Zeitpunkts</p>

Managementoption	Beschreibung
Reduktion des N-Überschusses durch Agrar-Umwelt-Maßnahmen	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion des Stickstoff-Überschusses , nach erfolgter Korrektur über Langzeitdaten (Country-Data)</li> <li>- Berücksichtigt zusätzliche eine Szenario induzierte Änderung der N-Deposition</li> <li>- Umfasst die drei Maßnahmen: Bodenkonservierung, Konturpflügen, Zwischensaat, 3 optionale AUM</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundwasser, Drainagen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe der Flächenanteile und N-Überschussänderung in kg/ha*a für Acker- und Grünland</li> <li>- Werte dürfen nach Abzug der N-Deposition nicht negativ sein</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergibt sich aus dem Verhältnis des aktuellen N-Überschuss und der Reduktionsannahmen</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Rückkopplung zu den Ernteerträgen</li> <li>- Keine Berücksichtigung des Ausbringe-Zeitpunkts</li> </ul>
--	--

Managementoption	Beschreibung
Reduktion der atmosphärischen $\text{NH}_4^-$ und $\text{NO}_x$ -Deposition	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> <li>- Berechnung erfolgt vor allen anderen Maßnahmen und Berechnungsschritten und kann diese daher beeinflussen</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundwasser, Drainagen, Abschwemmung, urbane Systeme, atmosphärische Deposition auf Wasserflächen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe der prozentualen Änderung der N-Deposition</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Für die Deposition auf Wasserflächen eine direkt Proportionale Wirksamkeit</li> <li>- Bei N-Überschuss ergibt sich die Wirksamkeit aus dem Verhältnis des aktuellen N-Überschuss und Änderung der N-Deposition</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderung unabhängig von Landnutzung</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
phosphatfreie Waschmittel	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> <li>- Reduktion der Konzentrationen aus Kleinkläranlagen und Kläranlagen bis zu 10000 EGW entsprechend des Anteils von phosphathaltigen Waschmitteln.</li> <li>- Für größere Kläranlagen wird keine Änderung der Ablaufkonzentrationen angenommen.</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Punktquellen, urbane Systeme, Grundwasser (bei Einwohnern die aus einer Sickergrube oder Kleinkläranlage über eine Bodenpassage einleiten)</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Separate Annahme des vollständigen auf Phosphate separat für Wasch- und Geschirrspülmittel</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergibt sich aus dem Anteil der verwendeten Phosphate</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nicht offensichtlich</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Erhöhung des Speichervolumens in der Mischkanalisation	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> <li>- Reduziert die Anzahl der Überlaufereignisse und gleichzeitig die Konzentration im Überlaufabwasser</li> <li>- Wird durch Entsiegelungsmaßnahmen beeinflusst</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe des minimalen angenommenen Ausbaugrads in Prozent (100% entsprechen einem Speichervolumen von 23,3 m<sup>3</sup>/ha angeschlossene versiegelte Fläche)</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergibt sich aus der Niederschlagssumme der Bevölkerungsdichte (beide: je höher, desto</li> </ul>



	<p>wirksamer) und dem ursprünglichen Ausbaugrad</p> <p>Einschränkung:</p> <p>Nicht offensichtlich</p>
--	---

Managementoption	Beschreibung
<p>Retentionsbecken für Regenwasser der Trennkanalisation</p>	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion der berechneten Einträge über die Trennkanalisation mittels eines Sedimentationsbeckens</li> <li>- Wird durch Entsiegelungsmaßnahmen beeinflusst</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prozentuale Angabe wie viel der Trennkanalisationseinleitungen über Sedimentationsbecken behandelt werden sollen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wird über eine globale Konstante festgelegt. Derzeit: je 35 % für Stickstoff und Phosphor</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es können keine unterschiedlichen Wirksamkeiten in Abhängigkeit der Niederschlagssummen berücksichtigt werden</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
<p>Retentionsbodenfilter für Regenwasser der Trennkanalisation</p>	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion der berechneten Einträge über die Trennkanalisation mittels eines Retentionsbodenfilters</li> <li>- Wird durch Entsiegelungsmaßnahmen beeinflusst</li> <li>- Kann optional auch verwendet werden um Effekte von Rigolen-Entwässerungs-Systemen ab zu bilden</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prozentuale Angabe wie viel der Trennkanalisationseinleitungen über Retentionsbodenfilter behandelt werden sollen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wird über eine globale Konstante festgelegt.</li> </ul>

	<p>Derzeit: 80 % für Stickstoff und 45 % für Phosphor</p> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es können keine unterschiedlichen Wirksamkeiten in Abhängigkeit der Niederschlagssummen berücksichtigt werden</li> </ul>
--	---

Managementoption	Beschreibung
An die Kanalisation angeschlossene Einwohner sind auch an Kläranlagen eingeschlossen	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme, Punktquellen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe, ob alle nur an die Kanalisation angeschlossenen Einwohner auch an eine (neue, zusätzliche) Kläranlage angeschlossen werden sollen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wird über eine globale Konstante festgelegt. Derzeit: 45 % für Stickstoff und 35 % bzw. 80 % (mit P-Eliminierung) für Phosphor</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nur Annahme, dass alle entsprechenden Haushalte angeschlossen werden</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Technischer Zustand der Kleinkläranlagen ohne bzw. mit Anschluss an die öffentliche Kanalisation	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Berechnungsparameter</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Separate Angabe für Kleinkläranlagen die über eine Kanalisation (aber keine kommunale Kläranlage) bzw. über Graben oder Grundwasserpassage in Oberflächengewässer einleiten über den neusten Stand der Technik (DIN 4261_02) verfügen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Für älter Kläranlagen wird eine Reinigungsleistung von 10 % für Stickstoff und 7 % für Phosphor angenommen. Diese wird bei Erfüllung der DIN 4261_02 auf 15 % für Stickstoff und 13 % für Phosphor erhöht</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung über Konstanten</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine offensichtlich</li> </ul>
--	---

Managementoption	Beschreibung
DIN2 und zusätzliche Phosphor-Elimination für Kleinkläranlagen	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Berechnungsparameter</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Annahme, dass alle Kleinkläranlagen – bereits DIN 4261_02 erfüllende und solche für die dies per Maßnahme festgelegt wurde, zusätzlich über eine P-Eliminierung verfügen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durch die Berücksichtigung der P-Eliminierung erhöht sich für Phosphor Reinigungsleistung auf 80 %</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine offensichtlich</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Anschluss von Kleinkläranlagen mit Kanalisation an virtuelle Kläranlagen	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme, Punktquellen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe, ob alle an über eine Kanalisation einleitende Kleinkläranlage angeschlossenen Einwohner an eine virtuelle (neue, zusätzliche) Kläranlage angeschlossen werden sollen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Für ältere Kleinkläranlagen wird eine Reinigungsleistung von 10 % für Stickstoff und 7 % für Phosphor angenommen. Durch den Anschluss an eine virtuelle Kläranlage erhöhte sich diese auf 45 % für Stickstoff und 35 % für Phosphor.</li> <li>- Wird über ein globale Konstanten festgelegt.</li> </ul> <p>Einschränkung:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nur Annahme, dass alle entsprechenden Haushalte angeschlossen werden</li> </ul>
--	--

Managementoption	Beschreibung
<p>Anschluss von Kleinkläranlagen ohne Kanalisation an virtuelle Kläranlagen</p>	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten vor Berechnung der Einträge</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- urbane Systeme, Punktquellen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe, welcher prozentualer Anteil der an, über einen Graben bzw. eine Bodenpassage einleitende Kleinkläranlage angeschlossenen Einwohner an eine virtuelle (neue, zusätzliche) Kläranlage angeschlossen werden sollen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Für ältere Kleinkläranlagen wird eine Reinigungsleistung von 10 % für Stickstoff und 7 % für Phosphor angenommen. Durch den Anschluss an eine virtuelle Kläranlage erhöhte sich diese auf 45 % für Stickstoff und 35 % für Phosphor.</li> <li>- Wird über ein globale Konstanten festgelegt.</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine offensichtlich</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
<p>Phosphorelimination in virtueller Kläranlage</p>	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation des Berechnungswegs</li> <li>- Funktioniert nur in Kombination mit Maßnahmen zu Kleinkläranlagen</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Punktquellen</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe, ob virtuelle Kläranlagen über eine zusätzliche P-Eliminierung verfügen</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durch die Annahme eine P-Eliminierung erhöht sich die Reinigungsleistung für P auf 80%</li> <li>- Wird über ein globale Konstanten festgelegt.</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine offensichtlich</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Sanierung von Nebengewässern	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifikation der Eingangsdaten (Fließlänge) vor Berechnung der Einträge</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atmosphärische Deposition auf Wasserflächen, gewässerinterne Retention</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sanierung der Nebengewässer</li> <li>- Fließlängenveränderung über globale Konstante einstellbar. Derzeit: 10 %</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ergibt sich durch Ausgangsretention, Abflussbedingung und Wassertemperatur</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Rückkopplung zur Temperatur</li> <li>- Keine Rückkopplung zu potentiell limitierenden Faktoren</li> </ul>

Managementoption	Beschreibung
Sanierung von Feuchtgebieten an Hauptläufen	<p>Art der Implementierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiell zu vernässende Feuchtgebiete und dadurch generierte Wasserflächen werden in der Datenbank vorgehalten und werden zur Laufzeit berücksichtigt</li> <li>- Es wird angenommen, dass Feuchtgebiete vorher als Grünland genutzt werden</li> </ul> <p>Betroffene Pfade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atmosphärische Deposition auf Wasserflächen, gewässerinterne Retention</li> </ul> <p>Optionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berücksichtigung der Flächen aus Datenbank</li> </ul> <p>Wirksamkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retention in Hauptläufen erhöht sich</li> <li>- Einträge aus Grünland geht zurück</li> <li>- Ergibt sich durch Ausgangsretention, Abflussbedingung und Wassertemperatur</li> </ul> <p>Einschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Überflutungshäufigkeit wird nicht berücksichtigt</li> </ul>