



# Ergebniszusammenfassung

## Anwendung des Nährstoffbilanzierungsmodells MONERIS

Stand 14.04.2016





## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Modell und Modellversionen.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Datenbasis.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Status Quo Ergebnisse.....</b>	<b>11</b>
4.1	Abfluss .....	11
4.2	Stickstoff .....	12
4.3	Phosphor.....	16
4.4	Validierung .....	19
<b>5</b>	<b>Szenarien für ausgewählte Maßnahmen .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassende Schlussfolgerungen .....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Anhänge.....</b>	<b>26</b>



## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tab. 1: Auf der Basis der Agrarstatistik ermittelten Anteil [%] konservierender Bodenbearbeitung auf Bundeslandebene .....	10
Tab. 2: Übersicht zu den Abweichungen von modellierten zu beobachteten Gesamtabflüssen für die ausgewählten Pegel- bzw. Gütemessstellen.....	12
Tab. 3: Stickstoffeinträge über die unterschiedlichen Eintragspfade in den Naturräumen.....	13
Tab. 4: Überregional bedeutsame Eintragspfade für Stickstoff (■ Pfadanteil >1-5%, ■ Pfadanteil > 5%).....	15
Tab. 5: Phosphoreinträge über die unterschiedlichen Eintragspfade in den Naturräumen....	16
Tab. 6: Überregional bedeutsame Eintragspfade für Phosphor (■ Pfadanteil >1-5%, ■ Pfadanteil >5%).....	18
Tab. 7: Übersicht und Erläuterung zu den Maßnahmenszenarios .....	21
Tab. 8: Länder- und pfadspezifische Reduktion der Stickstoffeinträge für die Szenarios D60 und D40.....	23
Abb. 1: Modellschema von MONERIS 3.01 (Venohr et al. 2011) .....	5
Abb. 2: Relative Flächenanteile der Landnutzungsklassen in den Anteilen der Bundesländer in der FGG Elbe .....	6
Abb. 3: Räumliche Differenzierung der Stickstoffüberschüsse [kg/ha/a] für das Jahr 2008, berechnet auf Kreisebene (Ansatz nach Bach).....	8
Abb. 4: Auf der Basis von Länderdaten oder aus früheren MONERIS-Modellierungen abgeleiteter Anteil [%] von drainierten Grünlandflächen auf Ebene der Modellanalyseeinheiten.....	9
Abb. 5: Pfadspezifische Darstellung für A) Gesamtstickstoffeinträge für den Zeitraum 2006 bis 2010, B) Gesamtstickstoffeinträge nach Bundesländern, C) flächenspezifische Stickstoffeinträge und D) Stickstoffeinträge pro Einwohner .....	14
Abb. 6: Pfadspezifische Darstellung für A) Gesamtphosphoreinträge für den Zeitraum 2006 bis 2010, B) Gesamtphosphoreinträge nach Bundesländern, C) flächenspezifische Phosphoreinträge und D) Phosphoreinträge pro Einwohner.....	17
Abb. 7: Gegenüberstellung der gemessenen und modellierten Stickstofffrachten für Messstellen am Elbestrom .....	19
Abb. 8: Gegenüberstellung der gemessenen und modellierten Phosphorfrachten für Messstellen am Elbestrom .....	20
Abb. 9: Relative Eintragsänderungen von Stickstoff und Phosphor für die modellierten Szenarios .....	22



## 1 Einleitung

Die Nährstoffbelastung der Oberflächengewässer und vieler Grundwasserkörper im deutschen Anteil des Elbeinzugsgebietes ist trotz vielschichtiger und umfangreicher Maßnahmen in den letzten Jahrzehnten weiterhin hoch. Die vereinbarte Zielkonzentration von 2,8 mg/l als Jahresmittelwert im Übergangsbereich limnisch-marin für den Nordseeschutz für Stickstoff wird nicht erreicht. Die Orientierungswerte für Phosphor werden weiterhin in vielen Oberflächengewässern überschritten. Der Themenkomplex zur Verminderung der Belastung sowohl aus Punkt- als auch diffusen Quellen ist eine der wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen der FGG Elbe. Daher wurde ein Konzept zur Anwendung des Nährstoffbilanzierungsmodells MONERIS im Rahmen eines skalenbezogenen (genesteten) Ansatzes verabschiedet. Im Unterschied zu den mehr mit konkretem Planungsbezug eingesetzten Modellen oder Modellverbänden auf Länderebene, soll MONERIS für die FGG Elbe als strategisches Instrument der Bewirtschaftungsplanung eingesetzt werden. Generelles Ziel der Modellierung ist es, plausible Aussagen zur Aufteilung der Nährstoffbelastung im Elbeinzugsgebiet nach Belastungsquellen und Eintragspfaden zu ermöglichen. Besonderen Wert soll darauf aufbauend die räumlich differenzierte Betrachtung der Wirksamkeit einzelner, strategisch bedeutsamer Maßnahmen erhalten.

Im Rahmen einer Auftragsvergabe wurden vier Arbeitspakete durch den Auftragnehmer DHI WASY mit IGB als Unterauftragnehmer bearbeitet:

1. Übersicht und Auswertung bisheriger MONERIS-Ergebnisse für die FGG Elbe
2. Aktualisierung der Datengrundlage
3. Status-Quo-Modellierung
4. Modellierung ausgewählter Maßnahmen.

Die Ergebnisse sind in Form von Abbildungen und Tabellen in einem Abschlussbericht zusammengestellt. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Status Quo Modellierung und der Szenarioberechnung zusammen und interpretiert ausgewählte Resultate vor dem Hintergrund der Maßnahmenplanungen der FGG Elbe für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum der WRRL.

## 2 Modell und Modellversionen

Das Nährstoffbilanzierungsmodell MONERIS wurde und wird in unterschiedlichen Versionen für das Elbeinzugsgebiet und Teileinzugsgebieten eingesetzt. Im UBA-Projekt 2003 bis 2005 und im GLOWA-Elbe Projekt wurde die Version 2.01 verwandt. Nachfolgend und in diesem Bericht wird die Version 3.01 benutzt. Grundsätzlich gleich geblieben sind die notwendigen Eingangsdaten und die Differenzierung in Eintragspfade (Abb. 1). Im blauen Kreisring der Abbildung 1 sind die Datengrundlagen dargestellt, im weißen Kreisring die durch das Modell unterschiedenen Eintragspfade. Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass die Änderungen in den Modellversionen geringe, z. T. nicht systematische Beeinflussungen bewirken, in einigen Bereichen auch eine Reduzierung der Gesamteinträge. Es kann jedoch zu einer teilweise deutlichen Verschiebung zwischen den Eintragspfaden kommen. Im deutschen Teil des Elbeinzugsgebietes betrifft dies eine Erhöhung der Phosphoreinträge über urbane Systeme. Durch die Möglichkeit der Disaggregation entsprechend der saisonalen Variabilität der Abflusskomponenten bzw. der Eintragspfade können Ergebnisse auf monatlicher Basis analysiert werden. Durch eine geringfügige Parameteranpassung wurden die Modellierungsergebnisse nochmals optimiert, so dass geringfügige Abweichungen zu den Werten auftreten, die im Hintergrunddokument der wichtigen Wasserbewirtschaftungsfrage „Nährstoffe“ angegeben sind (FGG Elbe 2015).

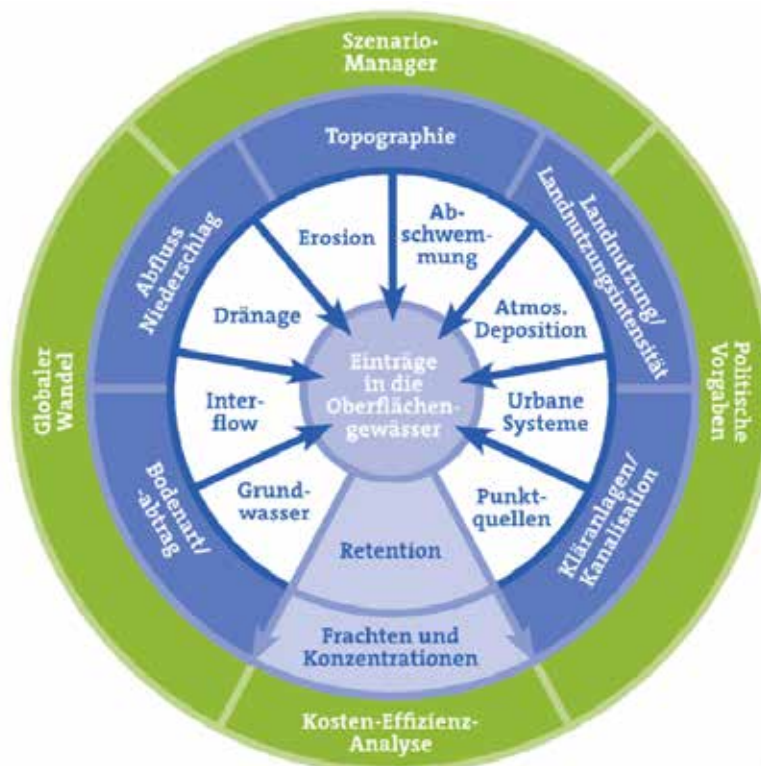


Abb. 1: Modellschema von MONERIS 3.01 (Venohr et al. 2011)

### 3 Datenbasis

Die Datenbasis für die Modellierung setzt sich aus übernommenen Daten aktueller bundesweiter Modellierungsvorhaben, bundeseinheitlich aktualisierten Eingangsdaten und aus Eingangsdaten zusammen, die durch die Länder der FGG Elbe für diese Modellierung angepasst wurden. Zu den übernommenen Daten auf Bundesebene zählen neben den räumlichen Grundlagen und Geometrien auch die aktualisierten Zeitreihen der meteorologischen Eingangsgrößen. Im Hinblick auf die Kanalisation und Kläranlagen wurden Daten aus dem Jahr 2007 bzw. 2008 verwendet – hier ist davon auszugehen, dass sich die Verhältnisse in der Zwischenzeit durch die sukzessiv fortschreitende Anschlussgraderhöhung verbessert haben. Es gibt keine nennenswerten Einträge über Kanalisation ohne Anschluss an eine Kläranlage. Soweit kein Anschluss an eine zentrale kommunale Kläranlage vorhanden ist, erfolgt in aller Regel eine Behandlung in einer KKA. Diese sind jedoch, bspw. in Thüringen, häufig nicht bzw. noch nicht vollbiologisch und somit in ihrer Reinigungsleistung limitiert.

Ein Beispiel für die ersten beiden Datensätze ist die Verteilung der Landnutzung, für die CORINE Eingangsdaten von 2006 verwendet werden. Abb. 2 zeigt die relativen Flächenanteile der Landnutzungsklassen für die Länder der FGG Elbe. Diese Datengrundlage kann jedoch vor allem im Vergleich zu ATKIS/INVEKOS Daten zu Abweichungen und zu einer Überschätzung des Anteils landwirtschaftlicher Flächenanteile z. B. für Sachsen führen.

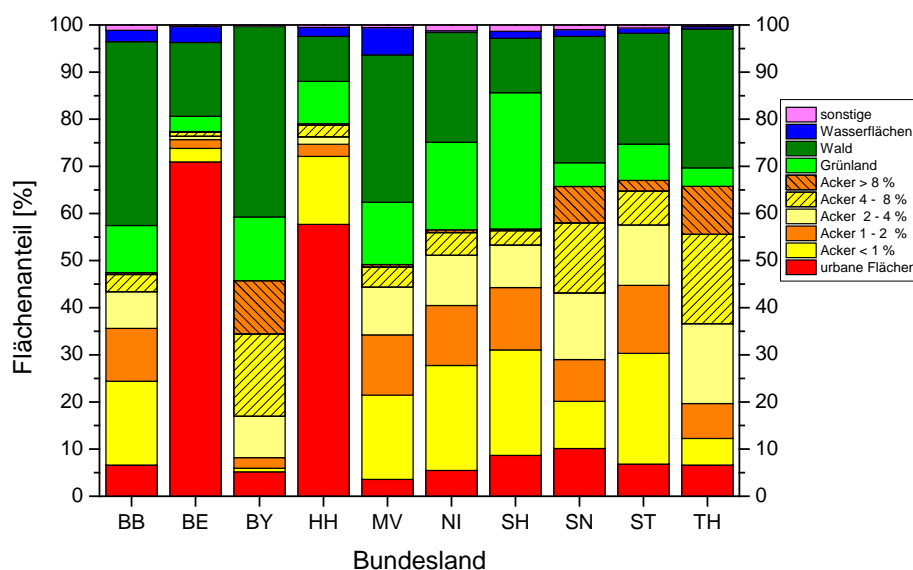


Abb. 2: Relative Flächenanteile der Landnutzungsklassen in den Anteilen der Bundesländer in der FGG Elbe



Die Stickstoffüberschüsse (berechnet nach Bach 2012) sind auf Kreisebene eingeflossen. Es zeigt sich ein Bild, in dem die Landnutzungssysteme und naturräumlichen Gegebenheiten widerspiegelt werden (Abb. 3). Im Nordwesten sind hohe Bilanzüberschüsse erkennbar. In vielen Regionen liegen die Überschüsse in der Größenordnung, die die Düngeverordnung vorgibt oder sogar darunter.

Im Unterschied dazu wurden einige Datensätze für die Modellierung aktualisiert. Dies sind

- Zeitreihen ausgewählter Pegel- und Gütemessstellen,
- Drainagedaten,
- Flächenanteile konservierende Bodenbearbeitung.

Es sind Länderdaten mit unterschiedlichem Raumbezug genutzt worden. Abb. 4 und Tab. 1 verdeutlichen die unterschiedliche räumliche Differenzierung beispielhaft für den Anteil der drainierten Grünlandfläche und den Flächenanteil der konservierenden Bodenbearbeitung.

Weitere Daten z.B. zu Einwohneranzahl oder Flächengrößen der Bundesländer am Elbeeinzugsgebiet, die für vergleichende Auswertungen benutzt werden, sind aus dem Datenpool zur Aktualisierung der wirtschaftlichen Analyse entnommen. Diese Daten sind im Anhang A6-1 des aktualisierten Bewirtschaftungsplans dargestellt (FGG Elbe 2015).

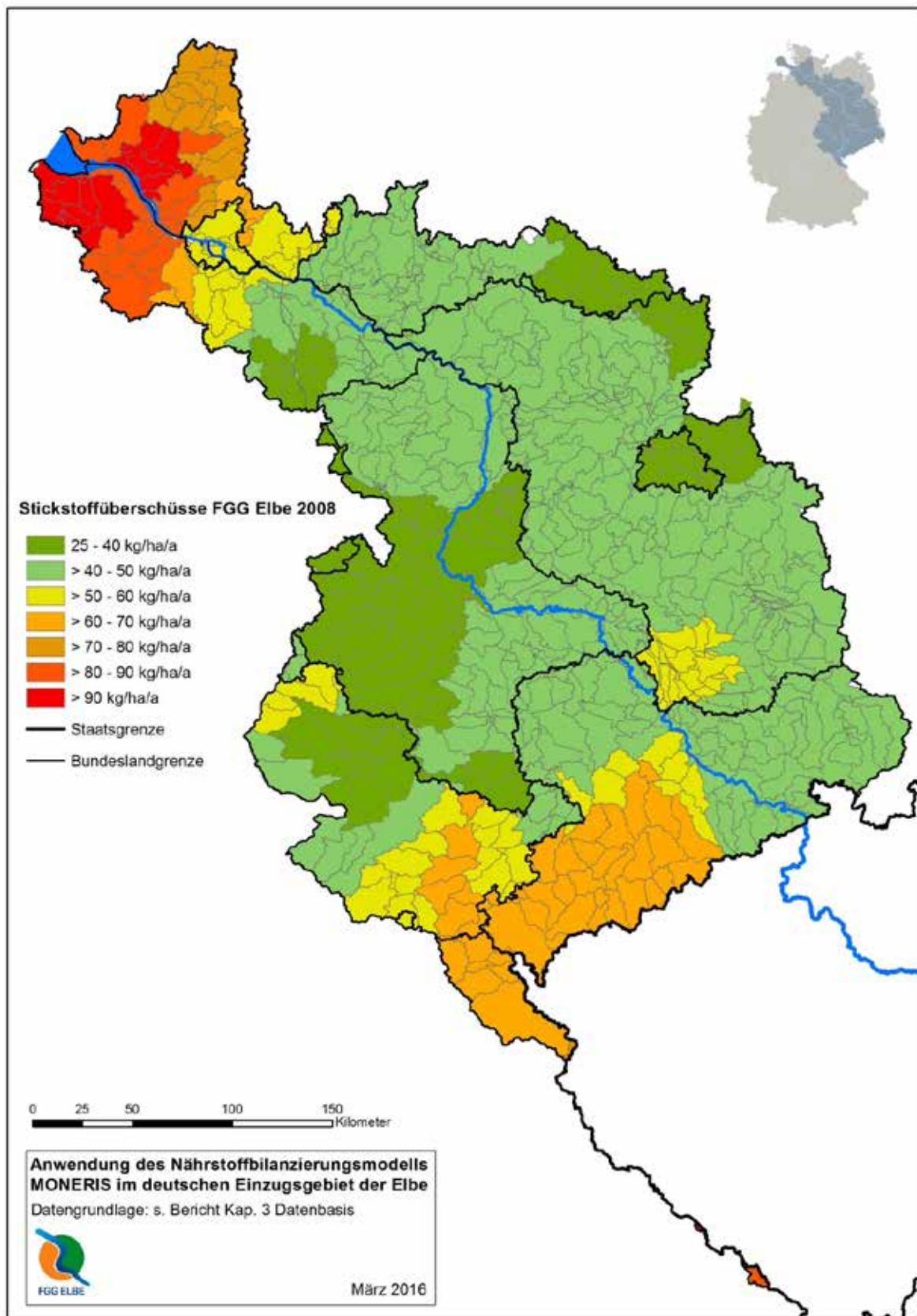


Abb. 3: Räumliche Differenzierung der Stickstoffüberschüsse [kg/ha/a] für das Jahr 2008, berechnet auf Kreisebene (Ansatz nach Bach)



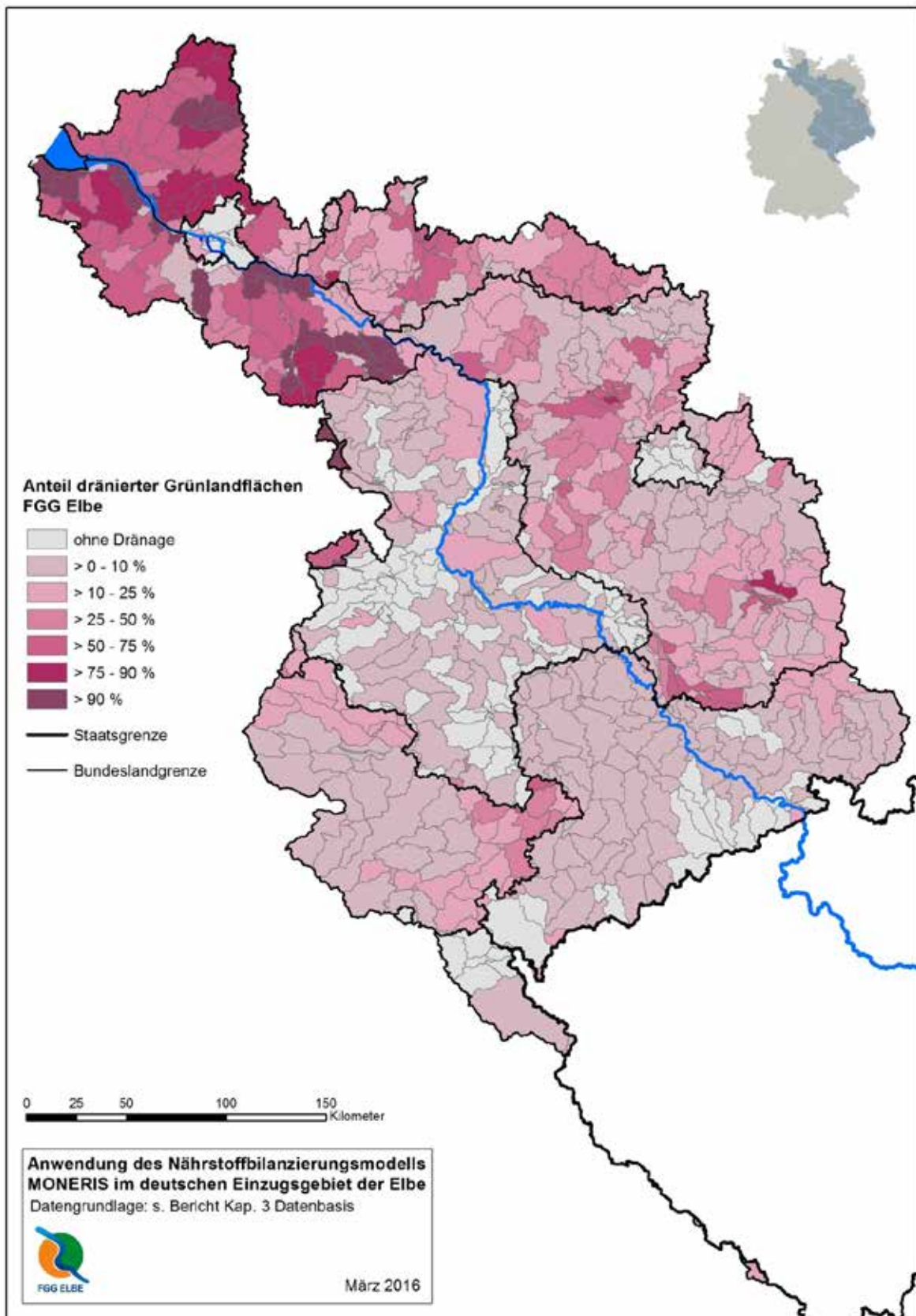


Abb. 4: Auf der Basis von Länderdaten oder aus früheren MONERIS-Modellierungen abgeleiteter Anteil [%] von drainierten Grünlandflächen auf Ebene der Modellanalyseeinheiten



Tab. 1: Auf der Basis der Agrarstatistik ermittelten Anteil [%] konservierender Bodenbearbeitung auf Bundeslandebene

Land	Bodenkonservierung			Schutzbe- pflanzung
	%			%
	konservierende Bodenbearbeitung (z.B. Grubbern,	Direktsaatverfahren (ohne Bodenbearbeitung)	Summe beider Bearbeitungen(verwendet)	Winterzwischen- Fruchtanbau - verwendet
DE	38	1	39	7
BY	22	1	23	8
BE	7	-	7	0
BB	39	1	40	3
HH	19	0	19	2
MV	55	1	56	2
NI	28	1	30	14
SN	54	2	55	4
ST	55	4	59	1
SH	25	0	26	3
TH	65	1	66	1



## 4 Status Quo Ergebnisse

### 4.1 Abfluss

In MONERIS werden die monatlichen Gesamtabflüsse eines Analysegebietes auf Basis einer einfachen Wasserbilanz unter Berücksichtigung der Niederschläge und der mittleren tatsächlichen Verdunstung für den Zeitraum 2006 bis 2010 berechnet, wobei die ermittelten Gebietsabflüsse anhand der gemessenen Abflüsse der ausgewählten Pegel unter Verwendung eines Speicherterms kalibriert werden. Die Separation des kalibrierten Gesamtabflusses erfolgt in MONERIS in Oberflächenabfluss, Erosion, Dränagen, Grundwasser/Interflow, Einleitungen aus Punktquellen und über versiegelte urbane Flächen. Die Komponententrennung erfolgt durch empirische Ansätze. Tab. 2 stellt die Abweichungen der modellierten von den beobachteten Gesamtabflüssen dar. Die Abweichung beträgt in der Regel unter 5%. Höhere Abweichungen bis zu 11,4% treten nur im Jahr 2006 auf. Diese zufriedenstellende Abschätzung des Wasserhaushalts und die Aufteilung des Abflusses in Abflusskomponenten ist eine der Grundvoraussetzungen für eine pfadspezifische Berechnung der Einträge. Durch die Kalibrierung mit ausgewählten Pegeln an den Hauptgütemessstellen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es regional in den Teileinzugsgebieten zu Ungenauigkeiten in der modellierten Abschätzung der Gebietsabflüsse kommen kann.



Tab. 2: Übersicht zu den Abweichungen von modellierten zu beobachteten Gesamtabflüssen für die ausgewählten Pegel- bzw. Gütemessstellen

Pegel	Abweichung zwischen gemessenen und modellierten Abflüssen					
	%					
	2006	2007	2008	2009	2010	Ø 06-10
Schöna	4,9	2,8	2,5	2,7	0,3	2,6
Dresden	4,7	2,7	2,7	2,8	0,5	2,7
Torgau	5,8	3,1	2,8	3,2	0,8	3,1
Loeben	2,3	2,6	3,1	k.A.	1,1	2,3
Wittenberg	6,2	3,8	3,4	3,6	0,9	3,6
Bad-Düben	2,5	0,2	3,5	5,2	0,0	2,3
Oberthau	k.A.	0,5	2,5	k.A.	0,0	1,0
Laucha	k.A.	3,7	3,3	0,5	0,6	2,0
Calbe	6,2	3,8	4,7	4,2	1,0	4,0
Magdeburg	8,1	2,9	4,0	4,2	0,8	4,0
Sophienwerder	k.A.	5,3	9,7	2,5	5,9	5,8
Havelberg	5,0	2,2	3,1	1,8	1,8	2,8
Wittenberge	9,7	3,1	3,4	4,2	1,5	4,4
Neu-Darchau	11,4	4,0	6,0	4,8	1,9	5,6

k.A.; keine Angabe von Messwerten

## 4.2 Stickstoff

Die simulierten Stickstoffeinträge für den Zeitraum 2006 bis 2010 liegen im Mittel bei 112.000 t und variieren zwischen 94.000 t im Jahr 2009 und 140.000 t im Jahr 2010 (Abb. 5A, Anhang A). Die zeitliche Dynamik entspricht der auch bei den Frachten in Seemannshöft ermittelten. Im Modell ist dies auf ein besonders abflussarmes Jahr 2009 und besonders abflussreiches Jahr 2010 und den darauf aufbauenden Frachtberechnungen der Eintragspfade zurückzuführen. Mit knapp 40% (2009) bzw. 55% (2010) Anteil an den Gesamtstickstoffeinträgen ist für Stickstoff das Grundwasser/Interflow der wesentliche Eintragspfad, der modellseitig nicht weiter differenziert wird (Anhang A). Daneben hat mit im



Mittel von ca. 25% der Gesamteinträge der Eintragungspfad über Drainagen Bedeutung. Punktquellen (16%), urbane Systeme (6%), Abschwemmung (4%), Atmosphärische Deposition (2%) und Erosion (1%) haben untergeordnete Bedeutung (Anhang A). Dieses Verteilungsmuster kann jedoch in Abhängigkeit von der Naturraumausstattung abweichende Verhältnisse aufweisen (Tab. 3). Während in den nördlichen Regionen wie z. B. den Marschen oder nordostdeutschen Seenplatte die Einträge über Drainagen besonders dominant sind, ist es in den Mittelgebirgslagen und Beckenlandschaften der Grundwasser/Interflowpfad.

Tab. 3: Stickstoffeinträge über die unterschiedlichen Eintragungspfade in den Naturräumen

Naturraum	Atom. Deposition	Abschwemmung	Erosion	Dränagen	Grundwasser/ Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen
	<i>t/a</i>						
<b>Harz</b>	15	61	24	24	1186	159	106
<b>Lössbörden</b>	173	678	367	4.803	13.506	2186	4788
<b>Marschen</b>	76	171	1	3.043	404	111	2972
<b>Nordostdeutsche Seenplatte</b>	671	169	20	2.792	447	117	1021
<b>Hess. und Nieders. Bergland</b>	0	17	1	5	175	3	1
<b>Thüringer Becken</b>	66	301	286	1.336	8.677	1707	860
<b>Thüring.-Bay.-Sächs. Mittelgebirge</b>	135	851	372	2.203	14.426	1.704	1530
<b>Zentrales Norddeutsches Tiefland</b>	1.083	2.059	113	13.181	12.891	1.050	7150

Die Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen mit großem Flächenanteil am deutschen Elbeinzugsgebiet haben die höchsten absoluten Eintragungsmengen (Abb. 5B). Für die besonders hohe Stickstoffeintragsmenge in Sachsen kann die bereits in Kapitel 3 erwähnte Unsicherheit bei der zugrundeliegenden Landnutzungsinformation ein Grund für eine Überschätzung sein. Obwohl auch Brandenburg einen erheblichen Flächenanteil am deutschen Elbeinzugsgebiet hat, ist die absolute Stickstoffeintragsmenge gering. Eine der Ursachen für die geringeren Einträge im Vergleich zu den anderen Flächenländern ist die abgeschätzte Wasserbilanz. In Schleswig Holstein, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern überwiegt der Stickstoffeintrag über Drainagen. Diese Verteilung ist plausibel und Grundlage für eine räumlich differenzierte Maßnahmenplanung.

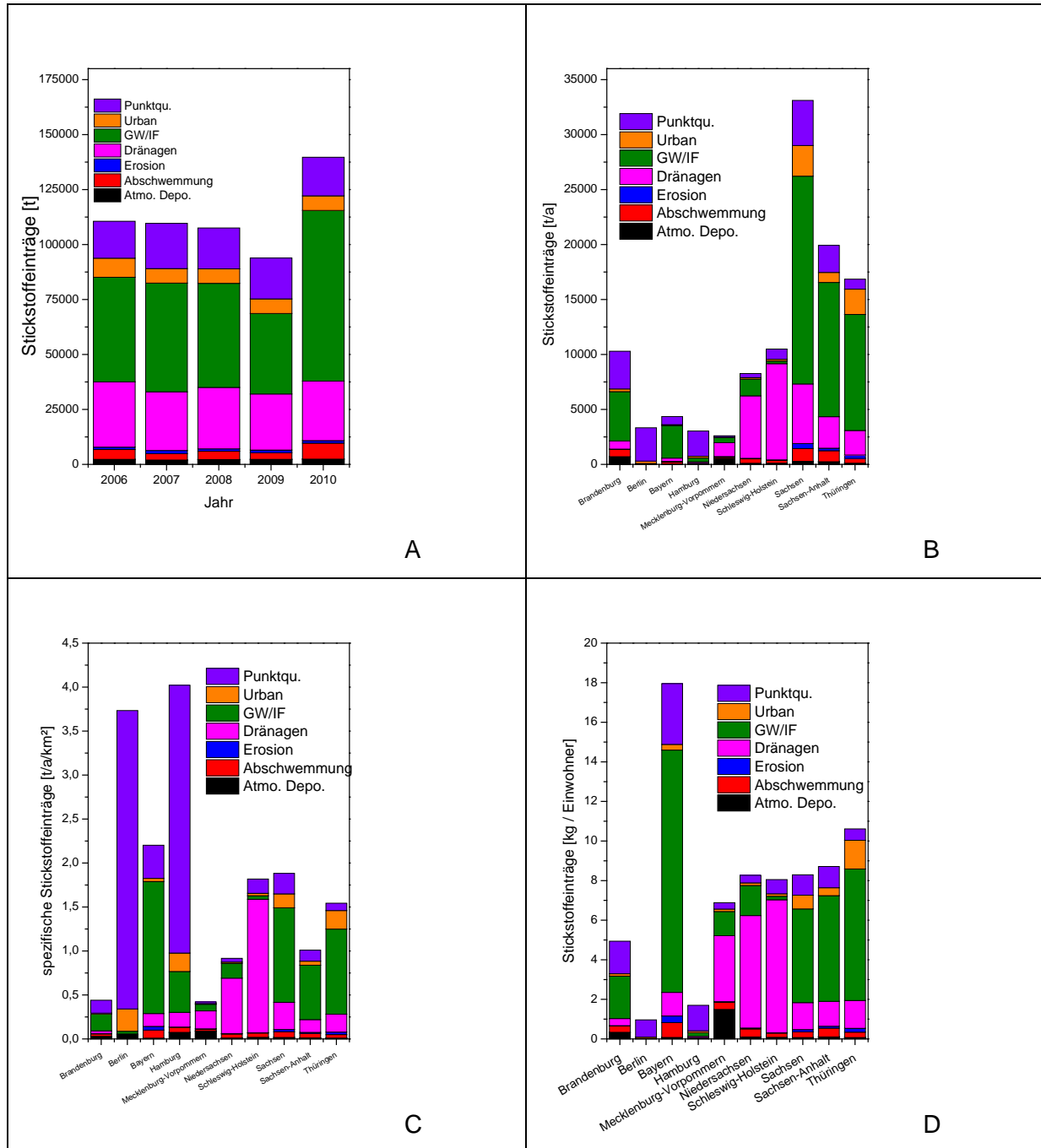


Abb. 5: Pfadspezifische Darstellung für A) Gesamtstickstoffeinträge für den Zeitraum 2006 bis 2010, B) Gesamtstickstoffeinträge nach Bundesländern, C) flächenspezifische Stickstoffeinträge und D) Stickstoffeinträge pro Einwohner

Weitere Hinweise auf Maßnahmenoptionen bzw. -schwerpunkte ergeben sich aus den Ländervergleichen in Abb. 5C und Abb. 5D. Für die Stadtstaaten Berlin und Hamburg wird der überproportionale Eintrag aus Punktquellen ebenso besonders deutlich wie die Dominanz des Drainageeintragspfades in Schleswig-Holstein (Abb. 5C). Bei den einwohnerspezifischen Stickstoffeinträgen sind diese trotz geringer Bevölkerungsdichte für Bayern z. T. doppelt so hoch oder höher als in den übrigen Ländern der FGG Elbe. Mit 2/3 werden diese Einträge vom Pfad Grundwasser/Interflow bestimmt, der an diffuse



landwirtschaftliche Quellen gebunden ist und für Bayern in diesem Bereich einen erhöhten Handlungsdruck anzeigt. Obwohl die Ergebnisse der Status-Quo Modellierung für die Stickstoffeinträge keine besonderen Ergebnisse aufweisen, zeigt deren hohe Plausibilität jedoch, dass eine Grundlage für eine aussagefähige Szenariorechnung vorhanden ist.

Tab. 4 bewertet die relativen Anteile der Stickstoffeintragspfade am Gesamteintrag nach Bundesländern und fasst deren Bedeutung zusammen. Nahezu 1/3 des Gesamteintrags wird über den Pfad Grundwasser/Interflow in den bereits oben genannten Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen freigesetzt.

Tab. 4: Überregional bedeutsame Eintragspfade für Stickstoff (■ Pfadanteil >1-5%, ■ Pfadanteil > 5%)

Bundesland	Atmo. Deposition	Abschwemmung	Erosion	Dränagen	Grundwasser/ Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen
<i>Anteil Eintragspfad an den Gesamteinträgen im deutschen Elbegebiet in</i>							
%							
Brandenburg	0,6	0,6	0,0	0,7	4,0	0,2	3,1
Berlin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,7
Bayern	0,0	0,2	0,1	0,3	2,6	0,1	0,7
Hamburg	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	2,0
Mecklenburg-Vorpommern	0,5	0,1	0,0	1,1	0,4	0,0	0,1
Niedersachsen	0,1	0,4	0,0	5,1	1,4	0,1	0,3
Schleswig-Holstein	0,1	0,2	0,0	7,8	0,2	0,1	0,8
Sachsen	0,3	1,0	0,4	4,8	16,8	2,5	3,7
Sachsen-Anhalt	0,2	0,9	0,2	2,6	10,9	0,8	2,2
Thüringen	0,1	0,4	0,3	2,0	9,4	2,0	0,8



### 4.3 Phosphor

Die simulierten Phosphoreinträge für den Zeitraum 2006 bis 2010 liegen im Mittel bei 4.050 t/a (Abb. 6A, Anhang B). Die Eintragsmenge variiert zwischen den Jahren von ca. 3.700 t (2009) und 4.300 t (2010) deutlich geringer als bei Stickstoff. Während bei Stickstoff ein Eintragspfad dominiert, liegt bei Phosphor eine gleichmäßigere Verteilung vor. Im mehrjährigen Mittel beträgt der Anteil der Phosphoreinträge aus Punktquellen und urbanen Systemen jeweils 28%. Über den Pfad Grundwasser/Interflow werden 18%, über Erosion 12% und die Drainagen 11% eingetragen. Atmosphärische Deposition und Abschwemmung nehmen unterordnete Rollen ein. Reliefbedingt nimmt der Anteil des Phosphoreintrags durch Erosion in den Naturräumen der Mittelgebirge aber auch der Lössböden zu und dominiert z. T. die Einträge aus diffusen landwirtschaftlichen Quellen deutlich (Tab. 5). Phosphoreinträge aus Drainagen sind im norddeutschen Tiefland und den Marschen überproportional bedeutend. Ca. 1/3 des Phosphors im norddeutschen Tiefland und damit deutlich mehr als im Mittel, werden über den Pfad Grundwasser/Interflow eingetragen.

Tab. 5: Phosphoreinträge über die unterschiedlichen Eintragspfade in den Naturräumen

Naturraum	Atom. Deposition	Abschwemmung	Erosion	Drainagen	Grundwasser/ Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen	t/a							
Harz	0	0	7	0	5	23	13								
Lössböden	5	3	165	25	72	332	327								
Marschen	2	2	1	59	12	22	142								
Nordostdeutsche Seenplatte	20	2	10	32	46	29	44								
Hess. und Nieders. Bergland	0	0	0	0	1	0	0								
Thüringer Becken	2	2	102	8	32	248	122								
Thüring.-Bay.-Sächs. Mittelgebirge	4	6	132	12	75	244	146								
Zentrales Norddeutsches Tiefland	32	18	63	298	508	239	354								

Die spezifischen Informationen z. B. zu Anschlussgrade an die Kanalisation, Anteil Mischkanalisation, kommunalen Kläranlagen etc. führen zu einer unterschiedlichen Wichtung der Phosphoreintragspfade in den Ländern (Abb. 6B). Während in den Stadtstaaten



Hamburg und Berlin deutlich mehr als die Hälfte der Einträge aus Punktquellen stammt, ist dies bei den Flächenstaaten Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen der Eintrag über urbane Systeme, der überproportional ist.

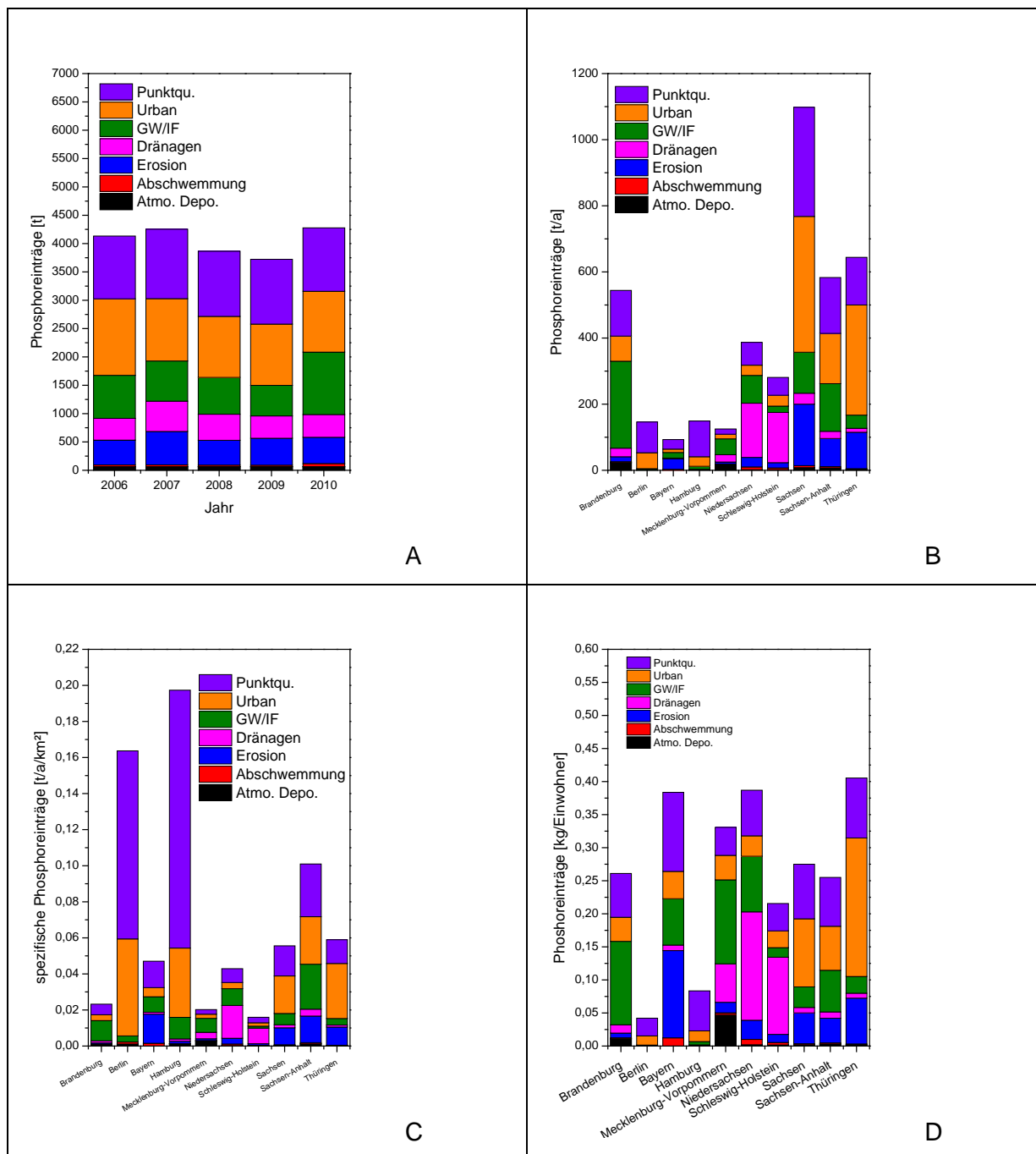


Abb. 6: Pfadspezifische Darstellung für A) Gesamtphosphoreinträge für den Zeitraum 2006 bis 2010, B) Gesamtphosphoreinträge nach Bundesländern, C) flächenspezifische Phosphoreinträge und D) Phosphoreinträge pro Einwohner

Die z. T. nicht befriedigende Repräsentativität der Datensätze kann die Aussagekraft jedoch beeinträchtigen. Obwohl der absolute Anteil an Phosphoreinträgen in Bayern sehr gering ist, wird bei Bezug zur Einwohnerzahl der hohe Eintragsanteil aus Erosion und Abschwemmung



hervorgehoben (Abb. 6D). Wie auch bei Stickstoff spielt in Niedersachsen und Schleswig-Holstein der Phosphoreintrag über Drainagen eine wichtige Rolle.

Entsprechend der Naturraumausstattung und der Länderstrategien zur Abwasserbehandlung ergeben sich Eintragungsschwerpunkte bei den Pfaden urbanen Systeme und Grundwasser/Interflow (Tab. 6). Durch die Aufteilung des Phosphoreintrags auf mehrere Pfade im Vergleich zu einem besonders dominanten Pfade bei Stickstoff, sind jedoch auch weitere Eintragungspfade mit Anteil bis zu 5% vom Gesamteintrag von Relevanz.

Tab. 6: Überregional bedeutsame Eintragungspfade für Phosphor (■ Pfadanteil >1-5%, ■ Pfadanteil >5%)

Bundesland	Atmo. Deposition	Abschwemmung	Erosion	Drainagen	Grundwasser/Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen
<i>Anteil Eintragungspfad an den Gesamteinträgen im deutschen Elbegebiet in</i>							
%							
Brandenburg	0,5	0,1	0,4	0,6	6,5	1,9	3,4
Berlin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2	2,3
Bayern	0,0	0,1	0,8	0,1	0,4	0,3	0,7
Hamburg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	2,7
Mecklenburg-Vorpommern	0,4	0,0	0,1	0,6	1,2	0,3	0,4
Niedersachsen	0,1	0,2	0,7	4,0	2,1	0,8	1,7
Schleswig-Holstein	0,1	0,1	0,4	3,7	0,5	0,8	1,3
Sachsen	0,2	0,1	4,6	0,8	3,1	10,1	8,1
Sachsen-Anhalt	0,2	0,1	2,1	0,5	3,6	3,8	4,2
Thüringen	0,1	0,1	2,7	0,3	1,0	8,2	3,6

Insgesamt zeichnet sich die Status Quo Modellierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge durch zufriedenstellende Plausibilität sowohl für die unterschiedlichen Naturräume als auch für die Einzelländer aus. Dies trifft für die Höhe der Einträge und die Pfadaufteilung zu.

## 4.4 Validierung

Ein Vergleich von gemessenen und modellierten Frachten für Stickstoff ist in Abb. 7 dargestellt. Die Entwicklung der Frachten sowohl bei den gemessenen als auch modellierten Werten reicht von 40.000 bis 50.000 t/a für Schmilka bis zu über 140.000 t/a für Magdeburg und Schnackenburg. Mit wenigen Ausnahmen weist die Modellierung eine leichte Überschätzung der Frachten auf. Unsicherheiten entstehen durch die Annahmen der Eingangsbedingungen für Schmilka und die zum Teil kumulativen oder sich abschwächenden Ergebniseinflüsse der größeren Nebenflüsse Schwarze Elster, Mulde, Saale und Havel, so dass die Abweichungen der modellierten von den gemessenen Werten bis Seemannshöft größer wird. Für die Wertepaare des Jahres 2006 wird die Ergebnisunsicherheit durch einen relativ großen Fehler in der Abschätzung der Abflussmenge erhöht (vgl. oben und Tab. 2).

Die simulierten Phosphorjahresfrachten überschätzen und unterschätzen die beobachteten Werte (Abb. 8). Neben den oben für Stickstoff aufgeführten Unsicherheiten kommen bei Phosphor die Retention bzw. Remobilisierung von Phosphor aus Sedimenten, die im Modell bislang nur ansatzweise abgebildet werden, als Möglichkeit für eine Abweichung in Frage. Insgesamt ist der Grad der Übereinstimmung zwischen gemessenen und modellierten Frachten zufriedenstellend.

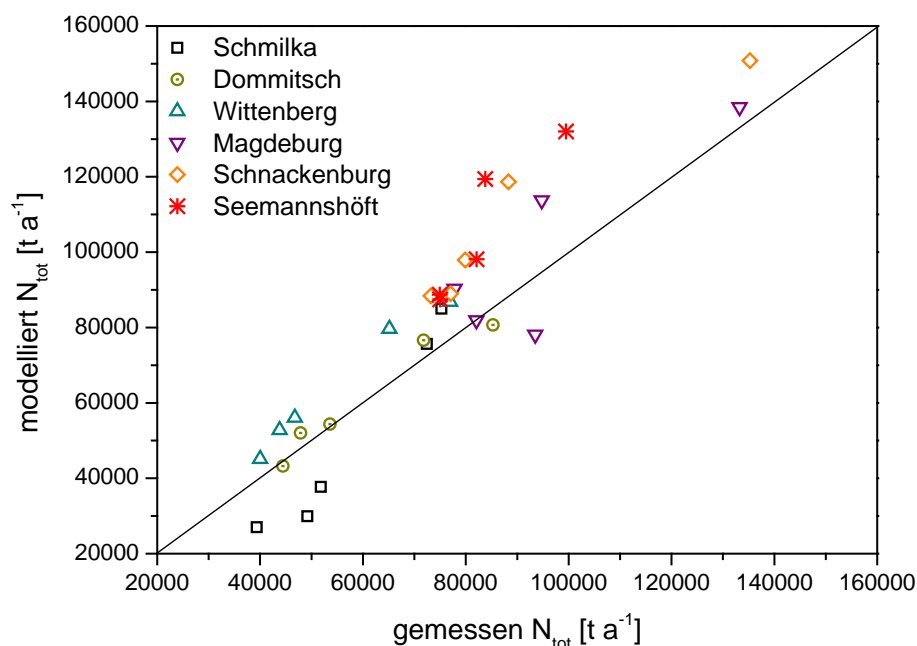


Abb. 7: Gegenüberstellung der gemessenen und modellierten Stickstofffrachten für Messstellen am Elbestrom

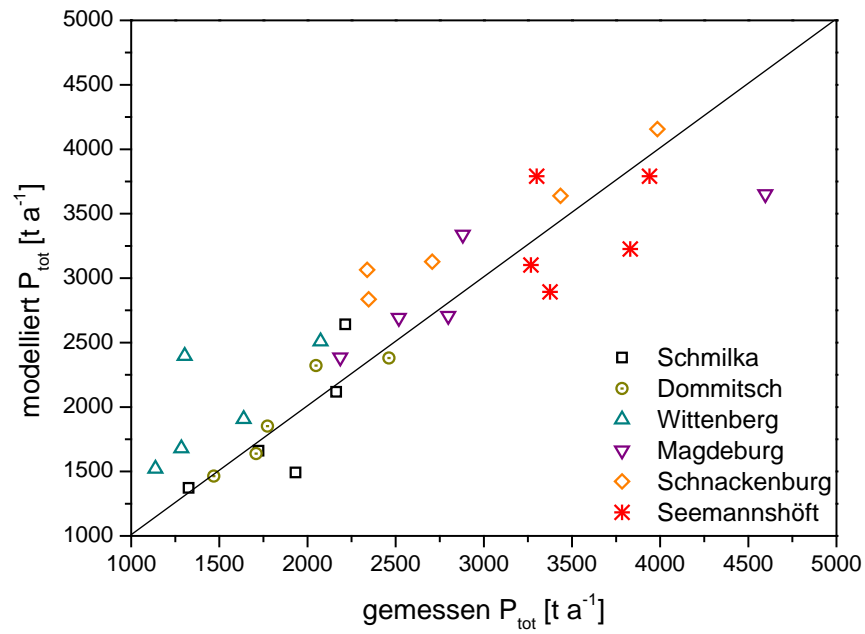


Abb. 8: Gegenüberstellung der gemessenen und modellierten Phosphorfrachten für Messstellen am Elbestrom



## 5 Szenarien für ausgewählte Maßnahmen

Zur Vorbereitung der Bewirtschaftungsplanung wurden die Auswirkung einiger ausgewählter Szenarien, die möglichen Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft und der Siedlungswasserwirtschaft entsprechend, abgeschätzt. Die Grundlage für die Berechnung ist der Eingangsdatensatz für das Jahr 2010 und mittlere hydrologische Bedingungen für die Jahre 2006 bis 2010. Dadurch kommt es zu geringen Abweichungen zu den Ergebnissen, die in Kapitel 4 vorgestellt sind. Die Auswahl der Szenarien reicht von einer Reduktion des Stickstoffüberschuss bis zur Umwandlung von Acker in Grünland (Tab. 7) und wird durch drei Szenarien zur Siedlungswasserwirtschaft ergänzt.

Tab. 7: Übersicht und Erläuterung zu den Maßnahmen szenarios

Maßnahme (Code)	Kurzbeschreibung der Maßnahme
D60	Düngeverordnung N-Überschuss 60 kg N /ha/a
D40	Düngeverordnung N-Überschuss 40 kg N /ha/a
DEP10	Verringerung N-Deposition (-10%)
KB25	Konservierende Bodenbearbeitung auf 25 %, 50% und 65% der Fläche
NEFF	Verbesserung N-Ausnutzungseffizienz (N-Überschuss Reduzierung um 5 kg/ha/a)
ZF10	Zwischenfruchtanbau: 10% der Ackerfläche
DR10	Rückbau dräniertes Flächen um 10%, bzw. Bau von Retentionsteichen bei 10 % der dränierten Fläche mit einer spezifischen Größe von 150 m <sup>2</sup> pro ha angeschlossene dränierte Fläche.
RS25	Gewässerrandstreifen an 25 % der Ackerfläche differenziert nach zwei Breitenklassen
GR5	Greening (Nutzungsaufgabe bzw. Umwandlung von Acker in Grünland) auf 2,5 % Ackerfläche
AN85	Erhöhung Anschlussgrad auf 85% an bestehende Kläranlage
AB4	Optimierung Kläranlagen (GK4 + 5)
NW	Verbesserte Regenwasserbehandlung (urban)

Die Reduzierung der Stoffeinträge weist eine hohe Spannweite auf und reicht bei Stickstoffeinträgen für die Szenarios D40 bzw. NEFF von 4.745 t und 4.884 t bis zu Werten unter 100 t. Die Reduktion der Phosphoreinträge bei den ausgewählten Szenarien ist insgesamt geringer. Abb. 9 fasst die relativen Änderungen der Stickstoff und Phosphoreinträge zusammen.

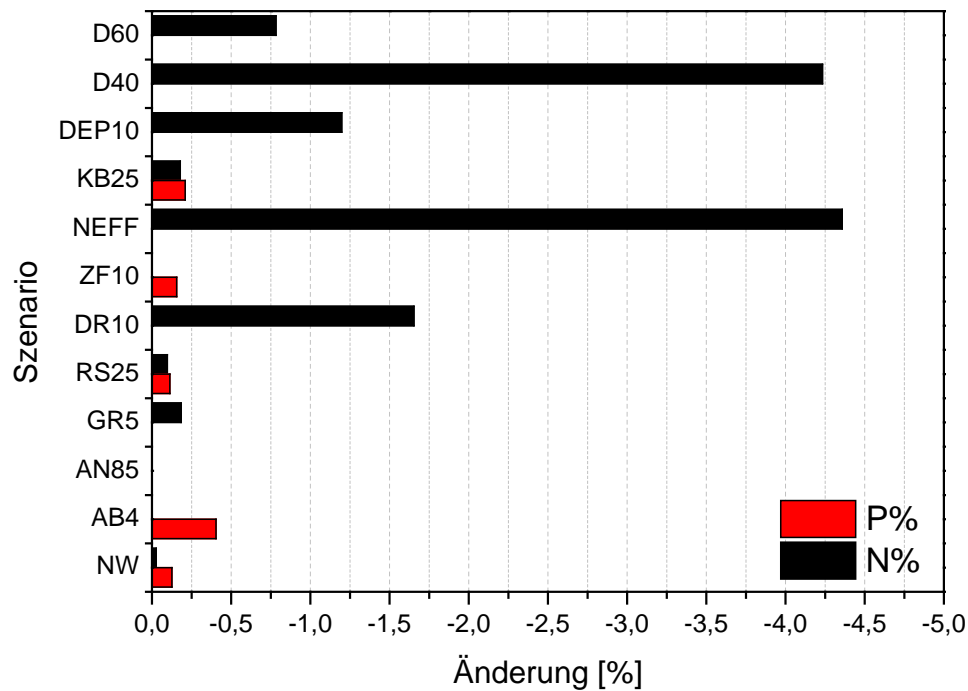


Abb. 9: Relative Eintragsänderungen von Stickstoff und Phosphor für die modellierten Szenarios

Wie in den Ergebnissen der Status Quo Modellierung dargestellt, besteht auch für die Maßnahmenzenarios eine räumlich differenzierte Wirkungsabschätzung. Tab. 8 verdeutlicht dies für die bedeutenden Szenarios zur Reduzierung der Stickstoffüberschüsse auf 60 bzw. 40 kg/ha. Da in vielen Ländern die Stickstoffüberschüsse bereits in diesem Wertebereich liegen, können für acht der zehn Länder keine oder nur sehr geringe Eintragsreduktionen abgeschätzt werden. Lediglich für Niedersachsen (1.153 t/ca. 15%) und Schleswig-Holstein (1.944 t/ca. 20%) sind deutliche Reduktionsmöglichkeiten berechnet, die überwiegend über den Drainagepfad wirken und somit eine klare Maßnahmenoption vorgeben. Der räumliche Schwerpunkt in Niedersachsen und Schleswig-Holstein bedingt auch, dass die Frachtreduktion an den Pegeln im Elbeeinzugsgebiet bis Seemannshöft nur gering ausfällt.



Tab. 8: Länder- und pfadspezifische Reduktion der Stickstoffeinträge für die Szenarios D60 und D40

N-Einträge	über Dränagen			über Grundwasser			Gesamte N-Einträge		
	Stand*	D60	D40	Stand*	D60	D40	Stand*	D60	D40
	<i>t/a</i>								
<b>Brandenburg</b>	701	701	701	4.364	4.364	4.364	9.406	9.406	9.406
<b>Berlin</b>	3	3	3	13	13	13	3.427	3.427	3.427
<b>Bayern</b>	273	273	238	3.361	3.357	3.084	4.769	4.765	4.457
<b>Hamburg</b>	118	118	118	343	343	343	3.031	3.031	3.031
<b>Mecklenburg- Vorpommern</b>	1.151	1.151	1.151	444	444	444	2.510	2.510	2.510
<b>Niedersachsen</b>	5.431	5.000	4.332	1.414	1.400	1.360	7.899	7.455	6.746
<b>Schleswig- Holstein</b>	8.332	7.910	6.408	158	151	137	9.999	9.570	8.055
<b>Sachsen</b>	5.007	5.007	4.778	19.936	19.936	19.095	33.009	33.009	31.939
<b>Sachsen- Anhalt</b>	2.587	2.587	2.587	12.838	12.838	12.838	20.453	20.453	20.453
<b>Thüringen</b>	2.041	2.041	1.977	11.639	11.639	11.438	17.575	17.575	17.311
<b>Summe</b>	<b>25.644</b>	<b>24.792</b>	<b>22.294</b>	<b>54.511</b>	<b>54.485</b>	<b>53.116</b>	<b>112.079</b>	<b>111.202</b>	<b>107.334</b>

## 6 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Für die Nährstoffbilanzierungsmodellierung der FGG Elbe sind bundesweit einheitliche Datengrundlagen genutzt worden, die in ausgewählten Aspekten aktualisiert oder verbessert wurden, um die Ergebnisgüte zu erhöhen. Der angepasste Datensatz trägt erheblich zur Akzeptanz der Modellergebnisse bei. Die Status Quo Modellierung belegt, dass bei den Nährstoffeinträgen im Mittel in der FGG Elbe Grundwasser/Interflow und untergeordnet Drainagen die dominierenden Eintragspfade für Stickstoff sind und im Wesentlichen durch landwirtschaftliche Aktivitäten verursacht werden. Im Unterschied dazu sind die Phosphoreinträge auf mehrere Eintragspfade verteilt. Punktquellen und Einträge aus urbanen Systemen sind dominant. Die Modellergebnisse sind für Stickstoff als auch für Phosphor in räumlicher Aussagefähigkeit und Eintragsmenge ebenso plausibel wie die berechneten Frachten.

Die Ergebnisse der Status Quo Modellierung legen die Grundlage für Szenariorechnungen, die die Wirksamkeit bestehender Maßnahmenoptionen für die FGG Elbe insgesamt, aber auch in räumlicher Differenzierung abschätzen sollen. Insgesamt ist die Eintrags- und Frachtreduktion für die ausgewählten Szenarios gering. Da in weiten Teilen des deutschen Elbeeinzugsgebietes die Stickstoffüberschüsse gering sind, führt auch eine Überschussreduktion auf 40 kg/ha nur zu einer Gesamtreduktion der Stickstoffeinträge von 4%. Die räumlich unterschiedliche Wirkung der Szenarien verdeutlicht, dass eine pauschale überregionale Maßnahmenplanung allein nicht zielführend ist, sondern durch quell- und pfadbezogene, räumlich angepasste Maßnahmen begleitet werden muss.

Die geringe Wirksamkeit der Maßnahmenoptionen zur Phosphorreduktion aus urbanen Systemen und Punktquellen belegt einerseits die hohe Qualität der vorhandenen kommunalen Abwasserbehandlung. In einigen Ländern werden noch Defizite aufgezeigt. Andererseits wird deutlich, dass alternative Maßnahmen entwickelt werden müssen, um eine Phosphoreintragsreduktion zu erreichen, die den Bewirtschaftungszielen entspricht.





## 7 Literatur

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

BECKER, A., VENOHR, M. (2015): Anwendung des Nährstoffbilanzierungsmodells MONERIS. Unveröffentlichter Projektbericht für die FGG Elbe

FGG ELBE (2014): Hintergrunddokument zur wichtigen Wasserbewirtschaftungsfrage „Reduktion der signifikanten stofflichen Belastungen aus Nähr- und Schadstoffen“ – Teilaspekt Nährstoffe, Magdeburg, 34 S.

FGG ELBE (2015): Aktualisierung des Bewirtschaftungsplans nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Zeitraum von 2016 bis 2021, Magdeburg, 240 S.



## 8 Anhänge

A) Stickstoffeinträge im deutschen Elbeeinzugsgebiet für die Jahre 2006 bis 2010 unterschieden nach Eintragspfaden

Jahr	Atom. Deposition	Abschwemmung	Erosion	Dränagen	Grundwasser/ Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen	Gesamteinträge
<i>t/a</i>								
2006	2265	4482	1078	29709	47560	8692	16806	110592
2007	1999	2882	1450	26697	49424	6603	20576	109631
2008	2188	3803	1072	27928	47366	6583	18595	107535
2009	2267	3073	1176	25514	36594	6646	18597	93867
2010	2374	7298	1143	27085	77608	6631	17564	139703
<b>Mittelwert 2006-2010</b>	<b>2219</b>	<b>4307</b>	<b>1184</b>	<b>27387</b>	<b>51712</b>	<b>7032</b>	<b>18429</b>	<b>112270</b>

Jahr	Atom. Deposition	Abschwemmung	Erosion	Dränagen	Grundwasser/ Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen	Gesamteinträge
<i>%</i>								
2006	2,0	4,1	1,0	26,9	43,0	7,9	15,2	100
2007	1,8	2,6	1,3	24,4	45,1	6,0	18,8	100
2008	2,0	3,5	1,0	26,0	44,0	6,1	17,3	100
2009	2,4	3,3	1,3	27,2	39,0	7,1	19,8	100
2010	1,7	5,2	0,8	19,4	55,6	4,7	12,6	100
<b>Mittelwert 2006-2010</b>	<b>2,0</b>	<b>3,8</b>	<b>1,1</b>	<b>24,4</b>	<b>46,1</b>	<b>6,3</b>	<b>16,4</b>	<b>100</b>



B) Phosphoreinträge im deutschen Elbeinzugsgebiet für die Jahre 2006 bis 2010 unterschieden nach Eintragspfaden

Jahr	Atom. Deposition	Abschwenmung	Erosion	Dränagen	Grundwasser/ Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen	Gesamteinträge
<i>t/a</i>								
2006	65	30	437	384	760	1350	1108	4134
2007	65	31	589	534	710	1099	1225	4253
2008	65	27	437	460	649	1077	1149	3865
2009	65	25	475	395	538	1081	1144	3723
2010	65	54	463	402	1100	1075	1119	4278
<b>Mittelwert 2006-2010</b>	<b>65</b>	<b>33</b>	<b>480</b>	<b>434</b>	<b>751</b>	<b>1137</b>	<b>1150</b>	<b>4050</b>

Jahr	Atom. Deposition	Abschwenmung	Erosion	Dränagen	Grundwasser/ Interflow	Urbane Systeme	Punktquellen	Gesamteinträge
<i>%</i>								
2006	1,6	0,7	10,6	9,3	18,4	32,7	26,8	100
2007	1,5	0,7	13,9	12,5	16,7	25,8	28,8	100
2008	1,7	0,7	11,3	11,9	16,8	27,9	29,7	100
2009	1,7	0,7	12,8	10,6	14,4	29,0	30,7	100
2010	1,5	1,3	10,8	9,4	25,7	25,1	26,2	100
<b>Mittelwert 2006-2010</b>	<b>1,6</b>	<b>0,8</b>	<b>11,9</b>	<b>10,7</b>	<b>18,5</b>	<b>28,1</b>	<b>28,4</b>	<b>100</b>