



# **Modellvorhaben AGRUM Weser**

**Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen  
im Bereich des landwirtschaftlichen  
Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der  
EG-Wasserrahmenrichtlinie  
in der Flussgebietseinheit Weser**

**- Kurzfassung des Endberichtes –**

**gefördert vom Bundesministeriums für Ernährung,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz**



**Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz**

**März 2009**



## Impressum

Herausgeber:	Flussgebietsgemeinschaft Weser  Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (Vorsitz der Flussgebietsgemeinschaft) Archivstraße 2, 30169 Hannover  Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit Rosenkavalierplatz 2, 81925 München  Der Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa der Freien Hansestadt Bremen Ansgaritorstraße 2, 28195 Bremen  Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz Mainzer Straße 80, 65189 Wiesbaden  Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Schwannstraße 3, 40476 Düsseldorf  Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt Olvenstedter Straße 4, 39108 Magdeburg  Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt Beethovenstraße 3, 99096 Erfurt
Förderer:	Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Gesamtkoordination:	Geschäftsstelle Weser
Koordination des Modellverbundes:	Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI), Institut für Ländliche Räume, Braunschweig
Modellierer:	Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI), Institut für Ländliche Räume, Braunschweig  Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) im Forschungsverbund Berlin e.V.  Forschungszentrum Jülich (FZJ), Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre - Agrosphäre (ICG-4), Jülich
Text und Layout:	Geschäftsstelle Weser  An der Scharlake 39, 31135 Hildesheim Telefon: 05121 509712 Telefax: 05121 509711 E-Mail: <a href="mailto:info@fgg-weser.de">info@fgg-weser.de</a>

Druck: .....

©FGG Weser, 2009

## Inhaltsverzeichnis

1.	Zielsetzung.....	4
2.	Untersuchungsregion Flussgebietseinheit Weser .....	4
3.	Modellverbund.....	5
4.	Vorgehensweise .....	6
5.	Datenbasis .....	7
6.	Topografie, Geomorphologie und Bodenparameter .....	8
7.	Landwirtschaft in der FGE Weser .....	10
8.	Wasserhaushalt .....	11
9.	Analyse der Nährstoffbilanz in der FGE Weser 2003 (Ausgangszustand).....	12
9.1.	Entwicklung der Nährstoffbilanzüberschüsse bis 2002 .....	13
9.2.	Nährstoffbilanzüberschüsse 2003 (Ausgangszustand).....	14
9.3.	Nährstoffeinträge und –frachten 2003 (Ausgangszustand) .....	16
9.3.1.	Diffuse Stickstoffeinträge über die Eintragspfade des Modells GROWA/WEKU.....	16
9.3.2.	Nährstoffeinträge über die Eintragspfade des Modells MONERIS .....	19
9.3.3.	Zusammenfassung der diffusen Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer 2003 (Ausgangszustand).....	21
9.3.4.	Nährstofffrachten und Konzentrationen in den Oberflächengewässern .....	23
10.	Analyse der Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015.....	24
10.1.	Veränderungen der allgemeinen Agrarpolitik .....	25
10.2.	Agrarumweltmaßnahmen.....	25
10.3.	Maßnahmen aufgrund sonstiger Einflussgrößen .....	26
10.4.	Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015 auf die Nährstoffbilanzüberschüsse .....	26
10.5.	Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015 auf die Stickstoffeinträge in die Gewässer ..	28
11.	Handlungsgebiete und Handlungsbedarf .....	31
11.1.	Handlungsgebiete und Handlungsbedarf für den Grundwasserschutz.....	31
11.2.	Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele in den Oberflächengewässern .....	32
12.	Analyse von Maßnahmen Szenarien zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele .....	34
12.1.	Maßnahmenkatalog und Auswahl geeigneter Maßnahmen .....	34
12.2.	Maßnahmen Szenario Grundwasserschutz .....	35
12.3.	Maßnahmen Szenario Oberflächengewässer.....	37
13.	Validierung der Modellergebnisse .....	38
13.1.	Wasserhaushalt .....	38
13.2.	Diffuse Nitrateinträge in die Oberflächengewässer (GROWA/WEKU).....	38
13.3.	Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer (MONERIS) .....	39
14.	Zusammenfassung .....	39
15.	Fazit .....	40
16.	Literatur .....	41

## 1. Zielsetzung

Der Gewässerzustand hat sich, da sich die Experten einig, in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verbessert. Gleichwohl sind trotz aller Erfolge im Bereich des Gewässerschutzes weitere Anstrengungen notwendig, um die zukünftigen, auch länderübergreifenden Ziele bewältigen zu können. Bei den Oberflächengewässern stehen hierbei Belastungen aus punktförmigen und diffusen Quellen sowie Wasserentnahmen, Abflussregulierungen und morphologischen Veränderungen im Vordergrund. Beim Grundwasser kommt der Belastung aus diffusen Quellen eine besondere Bedeutung zu. Zumeist handelt es sich um Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, die in der Flussgebietseinheit Weser (FGE Weser) mit über 60 % die größte Flächennutzung einnehmen (FGG WESER, 2008). In der FGE Weser weisen ca. 30% der Oberflächenwasserkörper einen guten chemischen Zustand auf, ca. 2,5 % der Oberflächenwasserkörper werden die Umweltziele nicht bis 2015 erreichen, bei 67,5 % der Oberflächenwasserkörper ist eine Einstufung aufgrund der Datenlage bisher noch nicht möglich. Ca. 10% befinden sich im guten ökologischen Zustand bzw. Potenzial, ca. 6,5 % sind bisher noch nicht eingestuft. Bei den Grundwasserkörpern in der FGE Weser befinden allein aufgrund von Nitratkonzentrationen über 50 mg/l ca. 40% der Gesamtfläche in einem schlechten chemischen Zustand. Eine wichtige Wasserbewirtschaftungsfrage wird daher in der Reduzierung der Nährstoffeinträge gesehen.

Ziel des Modellvorhabens AGRUM Weser war es, die Erstellung zukünftiger länderübergreifend koordinierter Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für die Flussgebietseinheit Weser im Bereich diffuser Nährstoffeinträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen durch einen Verbund bewährter und bestehender Modelle zu unterstützen. Der Modellverbund ermöglicht eine flächendifferenzierte Analyse des Ist-Zustandes sowie die Prognose zukünftiger relevanter Stickstoff- und Phosphoreinträge über alle Eintragspfade ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer auf Grundlage einer flussgebietsweit einheitlichen Methodik. Es wurde eine Wirkungsanalyse von Maßnahmenzenarien unter der Berücksichtigung aller wesentlichen naturwissenschaftlichen und sozio-ökonomischen Einflussfaktoren durchgeführt, um eine Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl kosteneffizienter Maßnahmen zu erhalten.

Das Modellvorhaben AGRUM Weser wurde im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser) durch das von Thünen Institut (vTI), das Forschungszentrum Jülich (FZJ) und das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) durchgeführt und vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert. Die weitere Finanzierung erfolgt durch die Länder Hessen, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen sowie durch die ausführenden Institute.

## 2. Untersuchungsregion Flussgebietseinheit Weser

Die FGE Weser vereint die Einzugsgebiete der Werra, Fulda, Weser und Jade und umfasst eine Fläche von ca. 49.000 km<sup>2</sup>. Im Sinne einer Übertragbarkeit der methodischen Erkenntnisse bietet sich die FGE Weser aufgrund ihrer Vielfalt an hydrologischen und landwirtschaftlichen Strukturen besonders an. Die FGE Weser ist aufgrund seiner Ausdehnung über unterschiedliche Landschaftseinheiten (Niedersächsisch – Hessisches Bergland, Harz, Norddeutsches Tiefland) sowohl im Hinblick auf die bodenkundlichen und hydrologischen Standortbedingungen als auch hinsichtlich der aktuellen Landnutzungsstrukturen und Problemkonstellationen im Zusammenhang mit der Nährstoffbelastung der Gewässer unterschiedlich zu bewerten. So ist der südliche Teil des Norddeutschen Flachlandes und Teile des Weserberglandes bedingt durch die fruchtbaren Böden durch intensiven Marktfruchtanbau geprägt. Überschüssiger Stickstoff im Boden wird mit dem Sickerwasser aus dem Boden ausgetragen und führt vielerorts zu einer flächenhaften Nitratbelastung des Grundwassers und der Oberflächengewässer. Im Thüringer Wald überwiegt dagegen eine extensivere Form der Landnutzung. Im nördlichen Teil des Norddeutschen Tieflandes dagegen dominiert auf relativ unfruchtbaren Sandböden die intensive flächenunabhängige Viehwirtschaft. Es war daher zu erwarten, dass sich agrarpolitische Maßnahmen zur Reduzierung der Stickstoff und Phosphorbelastung der Oberflächengewässer in ihrer Effektivität auch regional unterschiedlich auswirken.

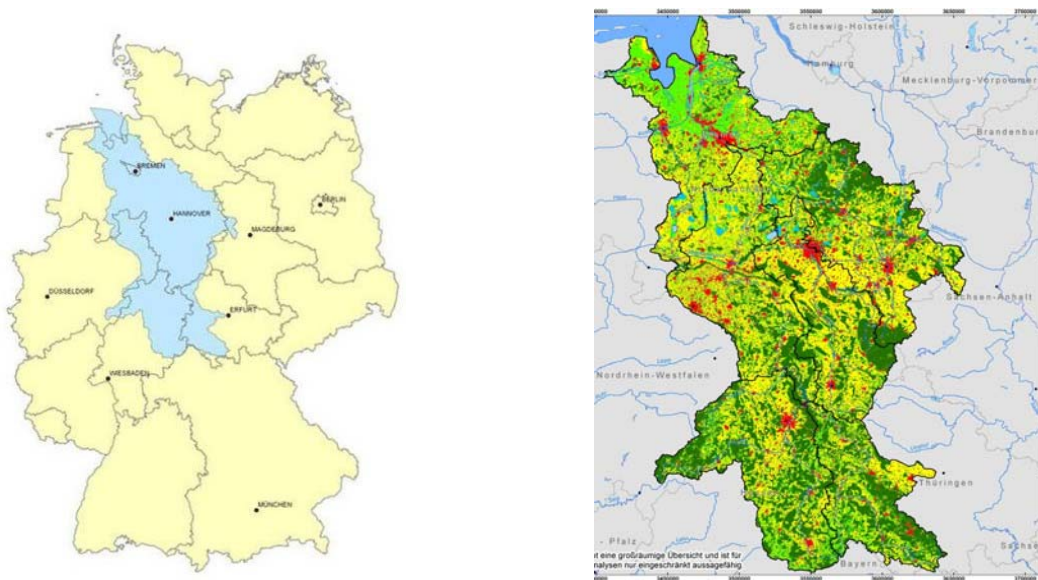


Abb. 1: Untersuchungsgebiet und Landnutzung (Corine Landcover 2000)

### 3. Modellverbund

Ziel des Modellverbundes war die Entwicklung einer einheitlichen Methodik zur Ableitung des Handlungsbedarfs im Bereich der diffusen Gewässerbelastung sowie ein Analyse- und Bewertungsansatz für Maßnahmen des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes für die gesamte FGE Weser. Dabei spielt die Verwendung räumlich möglichst hoch aufgelöster Informationen über die Verteilung von Tierbeständen sowie der landwirtschaftlichen Landnutzung eine zentrale Rolle. Dazu wurden neben den Ergebnissen der Agrarstrukturhebung klassifizierte Fernerkundungsdaten verwendet. Die verbleibenden Unterschiede zwischen den Modellen hinsichtlich ihrer regionalen Abbildung (Verwaltungsgrenzen, Rasterzellen bzw. Teileinzugsgebiete) wurden mit Hilfe einer Schnittstelle angepasst, mit der die Gemeinden der konkreten Rasterfläche bzw. dem jeweiligen Teileinzugsgebiet zugeordnet werden.

Der Modellverbund besteht aus den folgenden drei Modellen (Abb. 2):

Das Landwirtschaftsmodell **RAUMIS** (**R**egionales **A**grar- und **U**mwelt-**I**nformations**S**ystem) des von Thünen Instituts berechnet u.a. Nährstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft auf Grundlage regionaler Statistiken, Daten aus der Betriebsstrukturhebung und Literaturdaten für unterschiedliche Szenarien. Dabei werden alle wesentlichen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Einflussfaktoren berücksichtigt (Kreins et al. 2002).

Das **großräumige Wasserhaushaltsmodell GROWA** in Verbindung mit dem Grundwassertransportmodell **WEKU** vom Forschungszentrum Jülich berechnet auf Grundlage der mit dem Modell RAUMIS ermittelten Stickstoffüberschüsse die Stickstoffauswaschung aus dem Boden und über den Direktabfluss in die Oberflächengewässer bzw. in das Grundwasser und von dort in die Oberflächengewässer. Dabei werden neben den Komponenten Klima, Bodenbedeckung, Topografie und Geologie auch die Denitrifikation in der Bodenzone sowie im Grundwasser berücksichtigt. Das Modell erlaubt weiterhin Aussagen zu den Fließwegen und Verweilzeiten der Nährstoffe im Untergrund (Kunkel et al. 1997/2002).



Das Nährstoffbilanzmodell **MONERIS** (**MO**delling **N**utrient **E**missions in **R**iver **S**ystems) vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei berechnet auf Grundlage der mit dem Modell RAUMIS ermittelten Nährstoffüberschüsse die Stickstoff- und Phosphoreinträge und -frachten in die Oberflächengewässer für alle Eintragspfade (punktuell und diffus) (Behrendt et al.1999/2003).

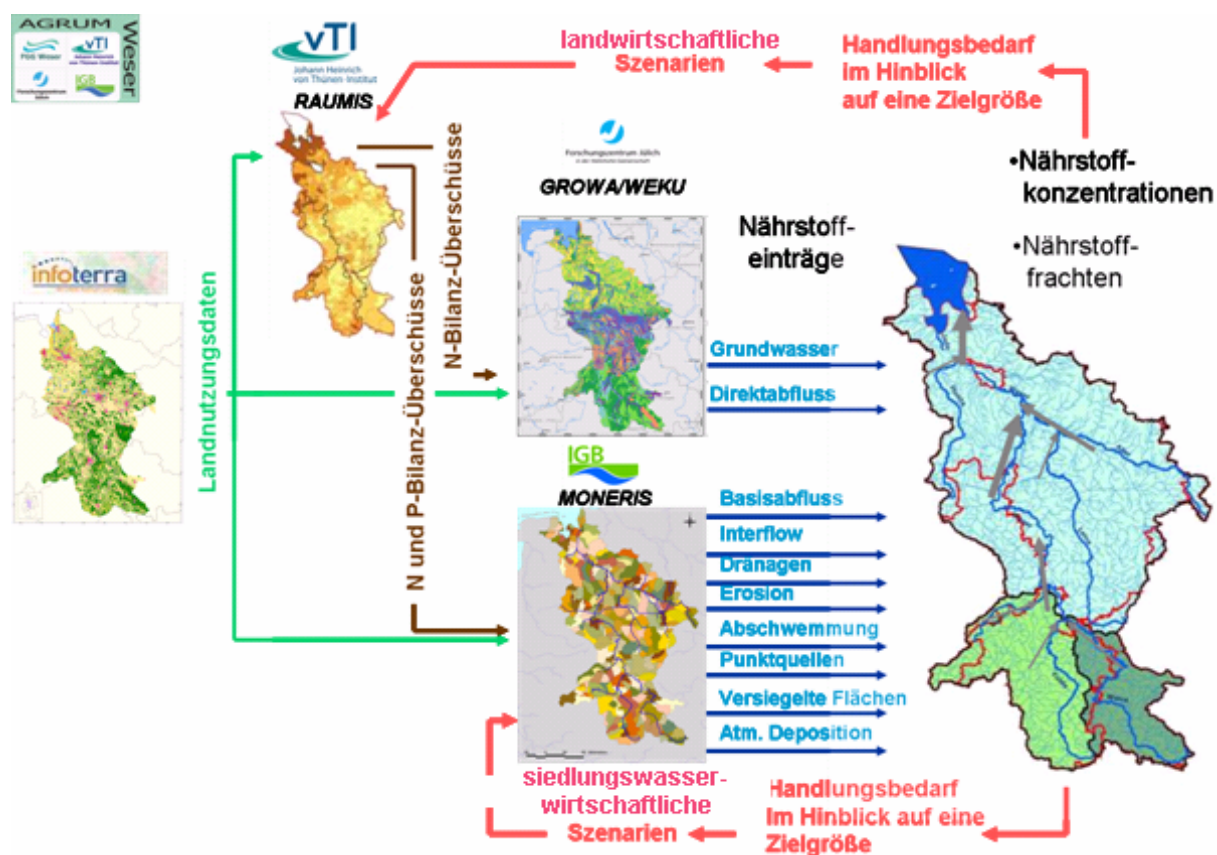


Abb. 2: Modellverbund

## 4. Vorgehensweise

Auf Grundlage von Nährstoffüberschüssen in der Vergangenheit wurde zunächst der Ausgangszustand der Nährstoffeinträge in den Oberflächen- und Grundwasserkörpern für das Jahr 2003 analysiert (Ex-post-Betrachtung). Die modellierten Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer wurden anhand gemessener Konzentrationen überprüft. Die Berechnungsergebnisse geben weiterhin Aufschluss über die Fließwege und Verweilzeiten der Nährstoffe im Grundwasser.

Die Wirkung einer Maßnahme wurde als Reduzierung des Nährstoffüberschusses und Änderung der Nährstoffkonzentrationen in den Gewässern gegenüber einer Ausgangssituation beschrieben und bewertet. Die Ausgangssituation bildete die Nährstoffbelastung des Jahres 2003 (Ist-Zustand), da für dieses Jahr die aktuellsten landwirtschaftlichen Statistiken im Hinblick auf das Berichtsjahr 2005 der Bestandsaufnahme vorlagen. Bei dem Jahr 2003 handelt es sich um ein extrem trockenes Jahr, was zur Folge hatte, dass die Nährstoffbilanzüberschüsse im Modellverbund auf Basis eines mittleren langfristigen Wasserhaushaltes stark überschätzt würden. Es wurden daher in erster Näherung nicht die tatsächlichen Erntemengen 2003 angesetzt, sondern die erwartbaren Trenderträge für ein mittleres Jahr.

Die Analyse der Nährstoffsituation wurde in vier aufeinander folgenden Schritten durchgeführt (Abb. 3):

- **Schritt 1:**  
Abbildung der flussgebietsweiten Nährstoffsituation für das Ausgangsjahr 2003.
- **Schritt 2:**  
Analyse der Auswirkung von Maßnahmen im Rahmen der EU-Agrarreform, bereits geltender bzw. bis 2015 geplanter Rechtsvorschriften sowie von Länderförderprogrammen zur Landwirtschaft (Baseline Szenario 2015).
- **Schritt 3 :**  
Identifizierung von Bereichen auf Basis der Ergebnisse von Schritt 2, in denen die Erreichung Umweltqualitätsnorm für Nitrat nach der Grundwassertochterrichtlinie (RL 2006/118/EG, Anhang I) gefährdet ist und Analyse von geeigneten Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels.
- **Schritt 4 :**  
Identifizierung von Bereichen auf Basis der Ergebnisse von Schritt 3, in denen die Erreichung der vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele für Stickstoff und Phosphor in den Oberflächengewässern gefährdet ist und Analyse von geeigneten Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele.

Die Analyse möglicher Maßnahmen Szenarien zur Reduzierung der Belastungen von Grund- und Oberflächengewässern basierte zum einem auf einer Auswahl von Maßnahmen, die großflächig wirken und mit RAUMIS berechnet werden konnten. Zum anderen wurden ergänzend auf der Grundlage einer umfassenden Studie vorhandener Literatur Maßnahmen ausgewertet, die besonders für spezifische einzelbetriebliche Situationen geeignet sind.

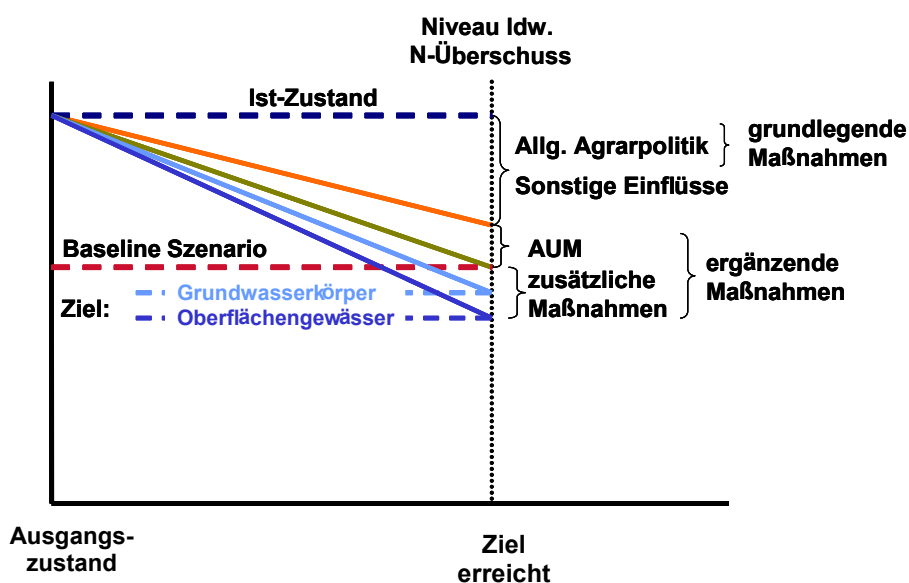


Abb. 3: Vorgehensweise im Modellvorhaben AGRUM Weser

## 5. Datenbasis

Um die Vorgehensweise umzusetzen, wurden für das Landwirtschaftsmodell RAUMIS **agrarstatistische Daten** verwendet, die der Agrarstrukturerhebung, der Bodennutzungshaupterhebung, der Ernte- und Berichterstattung für Feldfrüchte und Grünland, der Düngemittelhandelsstatistik, der landwirtschaftlichen Gesamtrechnung sowie vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) entnommen worden sind.

Die für die hydrologischen Modelle notwendigen Daten zu **Klima, Topographie, Bodenbedeckung, Boden- und hydrogeologischen Parametern, Gewässergütedaten, Grund- und Oberflächen-**

**wasserkörpern** wurden flächendeckend für die gesamte FGE Weser von den Weseranrainerländern und vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellt.

Angaben zu **künstlich gedränten Flächen** lagen für die FGE Weser nicht flächendeckend vor, so dass sie abgeleitet werden mussten. Hierzu wurde ein im Forschungszentrum Jülich bereits entwickelter Ansatz (Tetzlaff et al. 2007) verwendet, bei dem gedränte Flächen zunächst aus Luftbildern ermittelt und digitalisiert wurden. Die digitalisierten Flächenumrisse wurden anschließend genutzt, um durch Verschneidung mit einer Reihe von Landnutzungs- und Bodenparametern diejenigen Standorteigenschaften zu ermitteln, anhand derer auf eine Dränung geschlossen werden kann.

Für das Landwirtschaftsmodell RAUMIS wurden die **Landnutzungsdaten** auf Basis der Flächenerhebung sowie der Bodennutzungshaupterhebung ermittelt. Für die hydrologischen Modelle wurden neben den Daten von Corine Landcover (2000) und ATKIS auch Fernerkundungsdaten herangezogen.

Für die **atmosphärische Stickstoff-Deposition** stand neben Daten aus dem europäischen EMEP-Programm ein nationaler Datensatz des Instituts für Navigation der Universität Stuttgart zur Verfügung (Gauger et al. 2008) zur Verfügung und wurde vom IGB für die hydrologischen Modelle aufbereitet. Für die atmosphärische Phosphordepotion wurde flächendeckend ein Mittelwert für europäische Einzugsgebiete verwendet (BEHRENDT et al. 2002).

Zur Beschreibung der Punktquellen und urbanen Gebiete wurden flächendeckend Daten zu **kommunalen Kläranlagen, industriellen Direkteinleitern, Art der Kanalisation und angeschlossenen Einwohnern** von den Weseranrainerländern zur Verfügung gestellt.

Die verwendeten Geo-Datensätze lagen in unterschiedlichen Vektor- und Rasterformaten vor, ebenso war die zeitliche und räumliche Auflösung unterschiedlich, und es mussten an Ländergrenzen Anpassungen vorgenommen werden.

## 6. Topografie, Geomorphologie und Bodenparameter

Die FGE Weser lässt sich anhand seiner **Topografie** und seinen morphologischen, geologischen bodentypischen Eigenschaften grob in zwei Bereiche untergliedern, den durch die Mittelgebirge geprägten Süden sowie das Norddeutsche Flachland. Das Geländemodell enthält Informationen zur Exposition und Hangneigung, die unter anderem die Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung und Abfluss sowie die Eintragsmengen über Erosion beeinflussen (Abb. 4).

Während der gesamte Nordteil der FGE Weser durchgängig **Hangneigungen** von weniger als 2 % aufweist, dominieren im Weserbergland Hangneigungen zwischen 3,5 % und 18%. Im Harz sowie in den Kammlagen des Rothaargebirges und des Thüringer Waldes sind dabei Hangneigungen > 18% keine Seltenheit. Zur Beschreibung der **Erosionsgefährdung** wurde im Modell MONERIS der potenzielle Bodenabtrag ermittelt. So findet im nördlichen Teil der Flussgebietseinheit aufgrund der geringen Hangneigung nur vereinzelt ein sehr geringer Bodenabtrag statt, während die Werte im südlichen Teil ihr Maximum erreichen.

Der gesamte Südteil der FGE Weser ist aus Festgestein aufgebaut und gehört **geomorphologisch** zur deutschen Mittelgebirgsschwelle. Großräumig treten Höhenlagen von über 200 m über NN auf. Alle Mittelgebirge wurden seit dem Tertiär im Verhältnis zu den Tiefländern, Senken und Becken als relative Hochschollen herausgehoben. Deshalb sind sie bevorzugte Abtragungsbereiche, wodurch sie in der Regel eine nur geringmächtige Überdeckung durch quartäre Sedimente aufweisen. Im gesamten Festgesteinsbereich dominieren podsolige Braunerden sowie ihre Subtypen. Grundwasserbeeinflusste Böden (z. B. Nassgleye) sind auf die Bach- und Flussniederungen beschränkt und zeichnen durch ihr regelhaftes Auftreten das Gewässernetz nach, das aufgrund der geringen hydraulischen Leitfähigkeit des Untergrunds stark verzweigt ist. Die Landnutzung im Südteil der FGE Weser ist vielfach an diese Standortbedingungen angepasst. Die wenig fruchtbaren Böden der Hochflächen sind weitgehend von Waldflächen bedeckt, wobei die Talböden zumeist unter Grünlandnutzung stehen. Ackerbaulich genutzt sind vor allem Beckenbereiche (z.B. Hessische Senke), in denen es regional zu einer Bodenbildung auf Löss gekommen ist. Im Übergangsbereich der Mittelgebirge zum Norddeutschen Flachland treten fruchtbare Parabraunerden auf (z.B. Hildesheimer Börde), die sich auf weich-



selzeitlichem Lösseinwehungen entwickelt haben. Aufgrund ihrer hohen Wasserkapazität, dem ausgeglichenen Wasser- und Lufthaushalt sowie der guten Basenversorgung werden diese Standorte bevorzugt ackerbaulich genutzt.

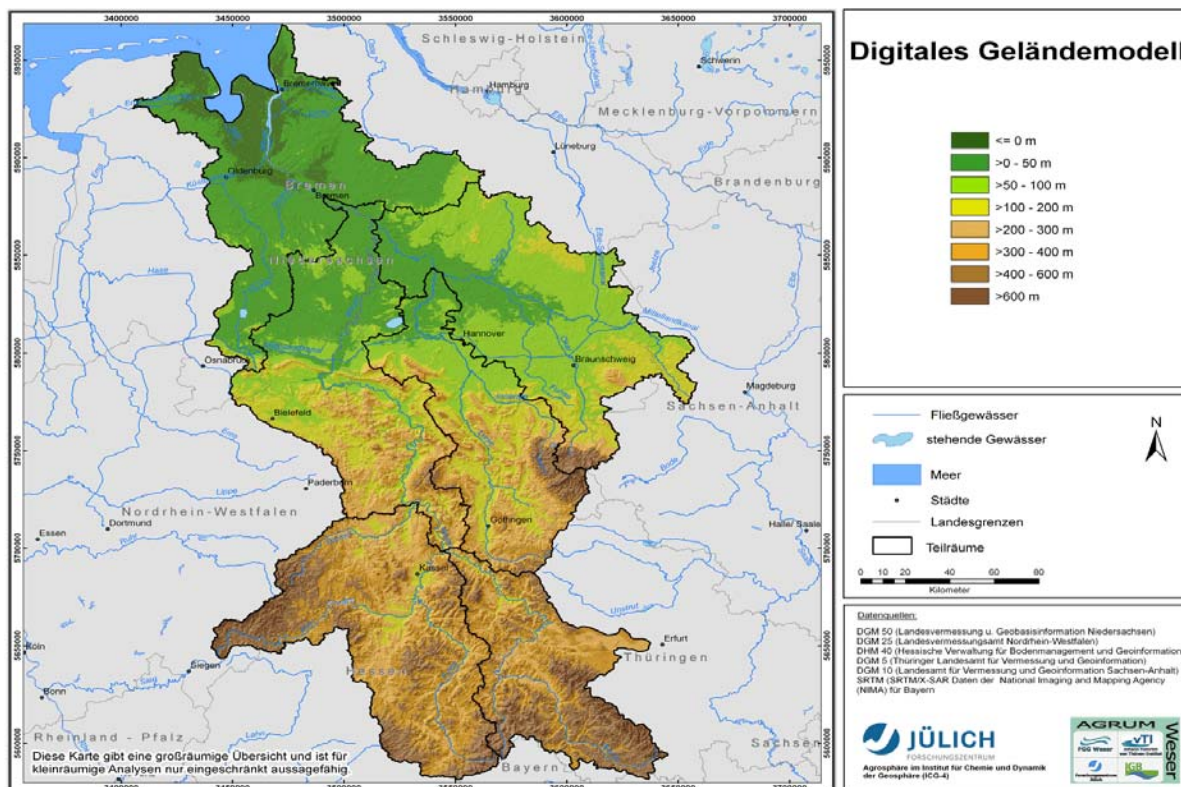


Abb. 4: Topografie in der FGE Weser

Der gesamte Nordteil der FGE Weser gehört zum Norddeutschen Tiefland, welches sich seit dem Tertiär senkt und große Sedimentmassen aufgenommen hat. Hier treten in vielen Regionen meist Sandböden, anmoorige Böden und stauwasserbeeinflusste Lehm Böden auf. Die Landnutzung ist landwirtschaftlich geprägt, wobei in den Sandgebieten Grünland und in den Lehmgebieten Ackerland dominiert. Während sich auf den Geestrücken schwerpunktmäßig grundwasserferne Podsole und Braunerden entwickelt haben, treten in den Niederungsregionen vorrangig Gleye und vergleyte Podsole sowie Nieder- und Hochmoore auf. In ihrem Unterlauf durchströmt die Weser eine durch holozäne Meerestransgressionen (Vordringen des Meeres über große Flächen des Festlands) entstandene ebene Marschlandschaft, in der tonreiche bindige Böden dominieren. Auch diese Böden wären ohne intensive Meliorationsmaßnahmen (Rohr- und Grabenentwässerung) nicht landwirtschaftlich nutzbar. Aufgrund der ungünstigen Bodenwasserverhältnisse dominiert dort die Grünlandnutzung. (Abb. 5)

Die **Bodenparameter** beeinflussen direkt die Nährstoffeinträge von der Geländeroberfläche in den Untergrund zum einen über die Höhe der Sickerwassermenge, aber auch durch chemische und physikalische Umlagerungs- und Abbauprozesse. Im Einzelnen handelt es sich um die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge, den Grundwasserflurabstand, Staunässestufen und die Bodenarten.

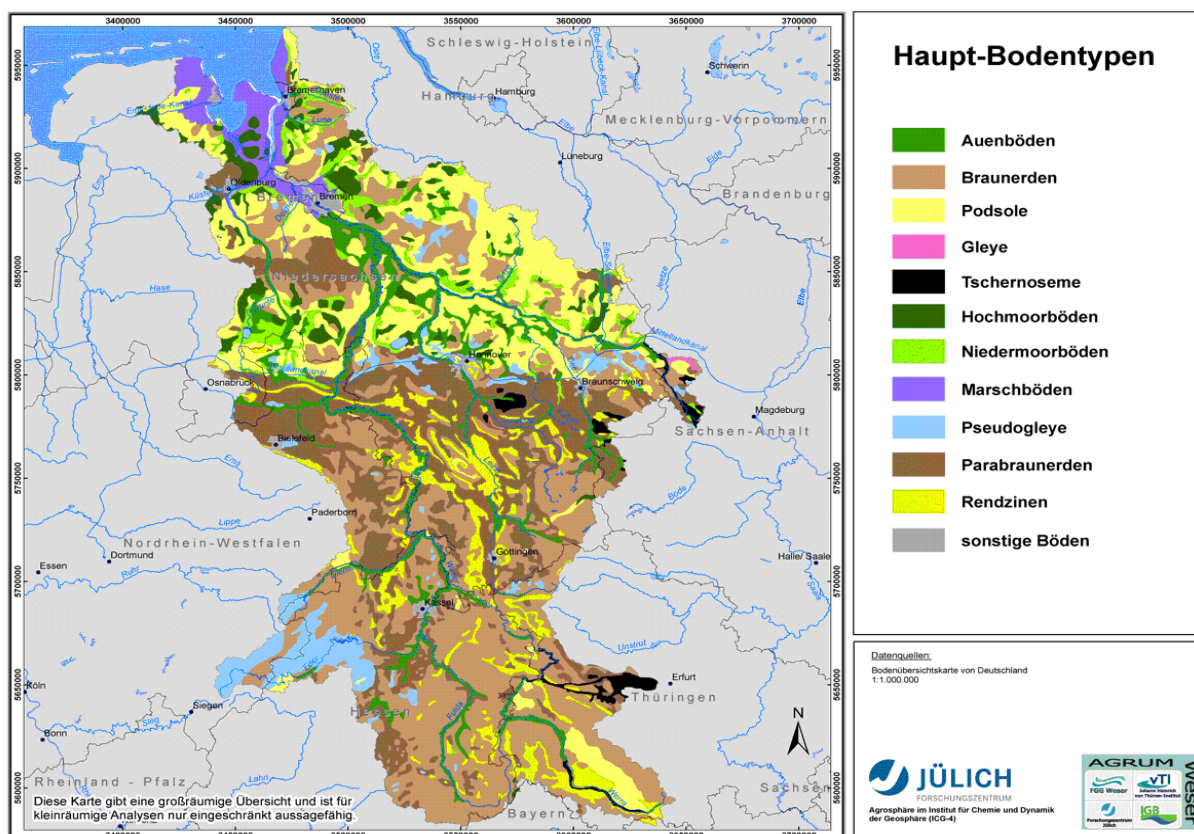


Abb. 5: Hauptbodentypen in der FGE Weser

## 7. Landwirtschaft in der FGE Weser

Die Struktur der landwirtschaftlichen Flächennutzung und Tierhaltung beeinflusst direkt die Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe und bestimmt die Höhe der Nährstoffbilanzüberschüsse, die potenziell in Gewässer eingetragen werden können. In der Regel gehen hohe Viehbesatzdichten mit hohen Nährstoffbilanzüberschüssen einher, da ein Großteil der im Wirtschaftsdünger enthaltenen Nährstoffe nicht pflanzenverfügbar ist.

Die Landwirtschaft ist wie im gesamten Bundesgebiet der wichtigste **Flächennutzer** in der FGE Weser (Tab. 1). Allerdings nahm diese Bedeutung in den letzten 30 Jahren deutlich ab, da die Landwirtschaftsfläche (LN) vor allem zugunsten der Siedlungs- und Verkehrsfläche, verringert wurde (Bundesregierung 2004-2006).

Die wichtigsten Hauptgruppen der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) sind Ackerland und Dauergrünland. Im Vergleich zu Deutschland weist die sektorale landwirtschaftliche Landnutzung in der FGE Weser keine wesentlichen Unterschiede auf. Auf dem Ackerland sind im Wesergebiet die Flächenanteile für Getreide sowie für Hack- und Hülsenfrüchte leicht höher als im Bundesdurchschnitt. Demgegenüber fällt der Ackerfutterbau geringer aus. Die nicht genutzte Fläche umfasst hauptsächlich die „prämierte Flächenstilllegung“ und beträgt jeweils rund 6 % der LF.

Für die Nährstoffüberschüsse spielt sowohl die Höhe des Viehbesatzes je ha LF als auch die Viehbestandsstruktur eine große Rolle. Im Hinblick auf die Landnutzung ist bei der **Tierhaltung** eine Unterscheidung zwischen Rohfutterfressern (z. B. Rindvieh und Schafe) und Nicht-Rohfutterfressern (z. B. Schweine und Geflügel) sinnvoll. Dabei werden in Deutschland die Rohfutterfresser durch den Rinderbestand dominiert, der wiederum weitgehend durch die Milchviehhaltung bestimmt ist.

Tab. 1: Flächennutzungsstruktur in Deutschland und in der Flussgebietseinheit Weser im Jahr 2003/04

		Deutschland		RAUMIS-Wesergebiet <sup>1)</sup>	
		(abs.)	(in %) <sup>2)</sup>	(abs.)	(in %)
Gesamtfläche (2004)	1.000 ha	35.705	100,0	6.026	100,0
Siedlungs- und Verkehrsfläche	1.000 ha	4.452	12,5	767	12,7
Landwirtschaftsfläche	1.000 ha	18.932	53,0	3.303	54,8
Waldfläche	1.000 ha	10.649	29,8	1.699	28,2
Sonstige Fläche	1.000 ha	1.672	4,7	257	4,3
Landwirt. gen. Fläche (LF <sup>3)</sup> ; 2003)	1.000 ha	16.525	100,0	2.913	100,0
Dauergrünland	1.000 ha	4.968	30,1	899	30,9
Dauer- und Sonderkulturen	1.000 ha				
Ackerfläche	1.000 ha	11.555	69,9	2.014	69,1
Getreide	1.000 ha	6.809	41,2	1.235	42,4
Ölsaaten	1.000 ha	1.216	7,4	166	5,7
Hack- und Hülsenfrüchte	1.000 ha	1.113	6,7	228	7,8
Silomais	1.000 ha	1.173	7,1	184	6,3
Sonst. Ackerfutter	1.000 ha	370	2,2	37	1,3
Flächenstilllegung	1.000 ha	939	5,7	166	5,7
Hauptfutterfläche	1.000 ha	6.447	39,0	1.120	38,4
Viehbestand	1.000 GVE	15.255	100,0	3.114	100,0
Milch	1.000 GVE	4.370	28,6	715	23,0
sonst. Rauhfutterfresser	1.000 GVE	5.175	33,9	941	30,2
sonst. Tiere	1.000 GVE	5.710	37,4	1.458	46,8
Viehbesatz insg.	GVE / ha LF	0,92		1,07	
Rauhfutterfresserbesatz	GVE / ha HF	1,48		1,48	

1) Landkreise (RAUMIS-Modellregionen), deren Fläche jeweils mehr als 10 % in der Flussgebietseinheit Weser liegt. - 2) Der jeweiligen Hauptkategorie. 3) LF=landwirtschaftlich genutzte Fläche

Die Viehhaltung in der Flussgebietseinheit weist im Vergleich zu Deutschland deutliche Unterschiede auf. Die Viehbesatzdichte lag im Jahr 2003 mit rund 1,1 Großvieheinheiten (GVE) je ha LF über dem Bundesdurchschnitt von etwa 0,9 GVE je ha LF. Auch die Struktur der Tierhaltung in der FGE Weser weicht von der Struktur der Tierhaltung in Deutschland ab. Zwar entfiel 2003 der größte Anteil am gesamten Viehbestand auf Rauhfutterfresser, dieser lag er jedoch deutlich niedriger als in Deutschland. Somit spielte die so genannte „flächenunabhängige“ Viehhaltung von Schweinen und Geflügel in der FGE Weser eine weitaus größere Rolle als im gesamten Bundesgebiet (Tab. 1).

Innerhalb der FGE Weser sind die regionalen Unterschiede der Viehbesatzdichte beachtlich. Während sich die Landwirtschaft in den fruchtbaren Bördegebieten auf einen intensiven Ackerbau weitgehend ohne Viehhaltung spezialisiert hat, herrscht im norddeutschen Flachland die Tierhaltung vor.

Die **Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe** wird maßgeblich durch die Landnutzung und Viehhaltung bestimmt. Da Grünland im Wesentlichen nur für den Futterbau genutzt werden kann, wurden im Jahr 2003 im Bereich der Unterweser sowie in den südlichen Mittelgebirgslagen aufgrund des hohen Dauergrünlandanteils teilweise mehr als 70 % der LF erwartungsgemäß von Futterbaubetrieben bewirtschaftet. Demgegenüber wurde die LF in Ackerbauregionen wie der Hildesheimer Börde zum Großteil von spezialisierten Ackerbaubetrieben bewirtschaftet. Eine Ausnahme bildeten die Regionen im Nordwesten, die zwar durch einen Ackerflächenanteil von mehr als 70 % der LF gekennzeichnet sind, gleichzeitig aber auch sehr hohe Viehbesatzdichten aufwiesen. In diesen Regionen entfiel der überwiegende Teil der Flächen auf Veredelungsbetriebe.

## 8. Wasserhaushalt

Der Eintrag von Pflanzennährstoffen in die Oberflächengewässer ist immer an die Komponenten des Wasserhaushalts gebunden. Aufgrund des unterschiedlichen physikalisch/chemischen Verhaltens von Stickstoffverbindungen (vor allem Nitrat) und Phosphorverbindungen (vor allem Phosphat) kommt den einzelnen Abflusskomponenten eine unterschiedliche Bedeutung als Eintragspfad zu. Daher muss vor der eigentlichen Nährstoffmodellierung eine Modellierung des Wasserhaushalts und der verschiede-

nen Abflusskomponenten Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Dränageabfluss, Sickerwasser sowie Grundwasserneubildung vorgenommen werden.

Basis für die Analyse der Nährstoffeinträge bildete ein über mehrere Jahrzehnte gemittelter Wasserhaushalt, um Einflüsse wie z.B. klimatische Schwankungen und Extremereignisse (Extreme Trockenjahre) zu vermeiden. Es handelt sich hierbei somit um einen quasistationären durchschnittlichen Zustand des Wasserhaushalts in der FGE Weser (Tab.2).

Die relevanten Wasserhaushaltskomponenten sind der Niederschlag und die Verdunstung, deren Differenz den Gesamtabfluss ergibt. Dieser teilt sich auf der Geländeroberfläche in den Oberflächenabfluss und das in den Boden eindringende Sickerwasser auf. Unterhalb der ungesättigten Bodenzone trennt sich das Sickerwasser nochmals in die schnell abfließende Komponente Direktabfluss (Zwischenabfluss und Dränagen) und die zeitlich stark verzögert abfließende Komponente Grundwasserabfluss auf (Abb. 7)

Tab. 2: Kenngrößen des mittleren langfristigen Wasserhaushalts in der FGE Weser

Wasserhaushaltskomponente	Langfristiger Mittelwert [mm/a]
Mittlere reale Verdunstung	470
Mittlerer Jahresniederschlag	830
Gesamtabfluss	360
Oberflächenabfluss	50
Sickerwasserrate	310
Interflow	120
Dränagen	80
Mittlere Grundwasserneubildung (= Grundwasserabfluss)	110

## 9. Analyse der Nährstoffbilanz in der FGE Weser 2003 (Ausgangszustand)

Die Wasserhaushaltskomponenten bilden das Transportmittel für die Nährstoffe auf ihrem Weg von Geländeroberkante bis in die Oberflächengewässer. Die Nährstoffbilanz im Gesamtsystem kann somit auf mit dem Wasserhaushalt korrespondierende Komponenten übertragen werden. Aufgetragene Düngemengen als Summe aus Wirtschafts- und Mineraldünger werden von den Pflanzen aufgenommen (=Ernteentzug). Übrig bleibt der **Nährstoffbilanzüberschuss** als Belastungskomponente für Boden und die Gewässer zuzüglich der Belastung aus **atmosphärischer Deposition**, die entweder mit dem Oberflächenabfluss (= **Abschwemmung**) oder durch **Erosion** direkt in die Vorfluter eingetragen (dies trifft hauptsächlich für Phosphor zu) oder in den Boden versickern (überwiegend Stickstoff) bzw. an den Bodenteilchen angelagert (Phosphorakkumulation) werden. Der Stickstoff wird nach chemischen Abbauprozessen im Boden (= Denitrifikation) entweder relativ schnell über **Interflow** (= Zwischenabfluss) oder **Dränagen** in die Oberflächengewässer eingetragen oder fließt mit der Grundwasserneubildung dem **Grundwasser** zu und von dort stark zeitverzögert in die Oberflächengewässer. Dies alles beschreibt den Eintrag aus diffusen Quellen. Zusätzlich finden noch diffuse Einträge von versiegelten Flächen in **urbanen Gebieten** und punktuelle Einträge aus **Kläranlagen** statt (Abb.6).



## 9.1. Entwicklung der Nährstoffbilanzüberschüsse bis 2002

Die Flächenbilanz für **Stickstoff** ist seit Ende der achtziger Jahre stark zurückgegangen (Abb. 7). Während der Bilanzüberschuss 1990 noch bei fast 130 kg/ha\*a lag, sank er bis 2002 um rund 50 kg N/ha\*a oder rund ein Drittel auf 80 kg N/ha\*a ab. Im Wesentlichen sind hierfür zwei Ursachen zu nennen. So hat im Zeitablauf bei steigenden Entzügen bedingt durch steigende Erträge der Einsatz sowohl von mineralischem als auch von organischem Stickstoff abgenommen. Der Rückgang des organischen Stickstoffeinsatzes ist auf die sinkenden Viehbestände und hier insbesondere bei den Rindern zurückzuführen. Die beiden Effekte führten jeweils zu einer Reduzierung der Flächenbilanzüberschüsse von 10 bis 15 kg pro ha LF.

Die Gesamtbilanz für **Phosphor** war ebenfalls seit Beginn der 90er Jahre stark abnehmend (Abb. 7). Während der Phosphorbilanzüberschuss 1985 noch knapp bei 30 kg P/ha\*a lag, war er 1995 um 60 % zurückgegangen. Bis 2002 konnten die Phosphorbilanzüberschüsse auf unter 10 kg P/ha\*a reduziert werden. Die Phosphor-Effizienz als Koeffizient zwischen Düngemenge und Ernteentzug ist im Zeitraum von 1970 bis 2000 von 15 auf fast 60 % angestiegen (FREDE, 2003). Trotz der stark zurückgegangenen Phosphorbilanzüberschüsse steigen die Phosphorgehalte der Böden und somit die Einträge im Mittel sogar teilweise noch an, da immer noch ein Überschuss von 5 kg P/ha\*a vorhanden ist, der in den Böden weitgehend gespeichert wird (BMU, 2006a).

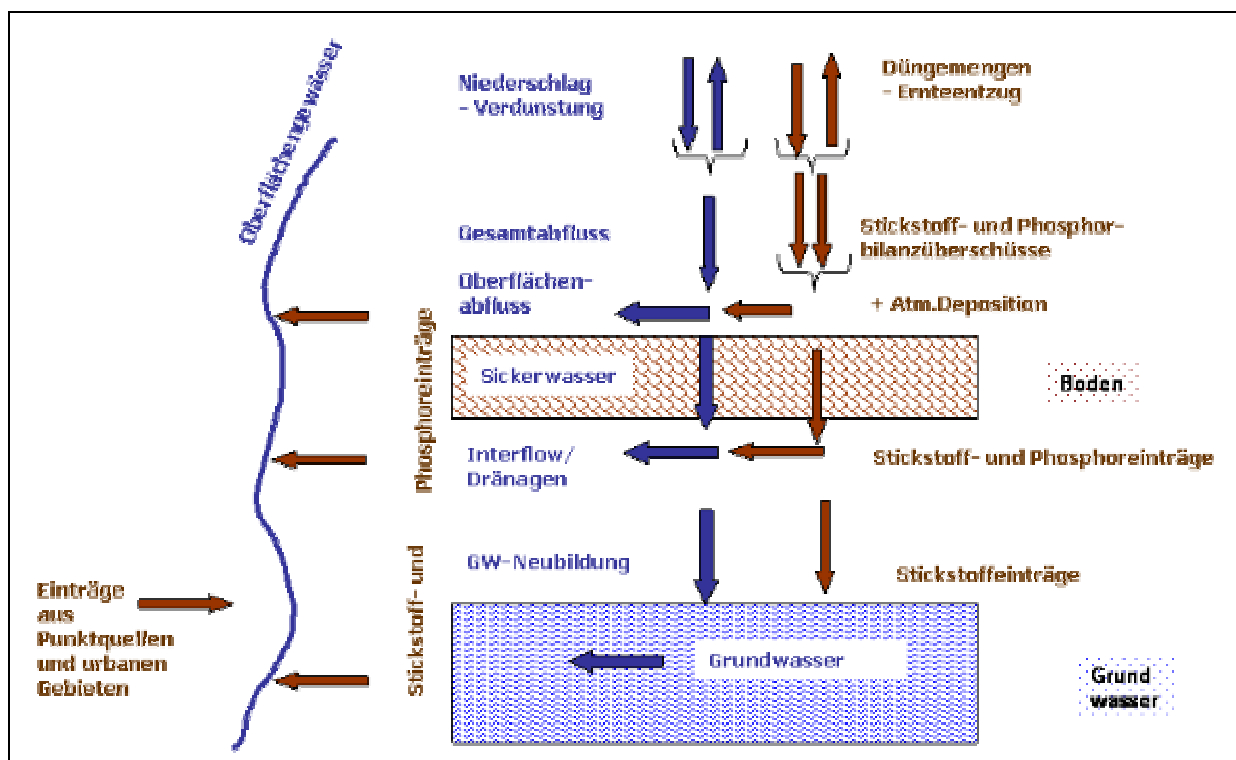


Abb. 6: Komponenten der Nährstoffbilanz



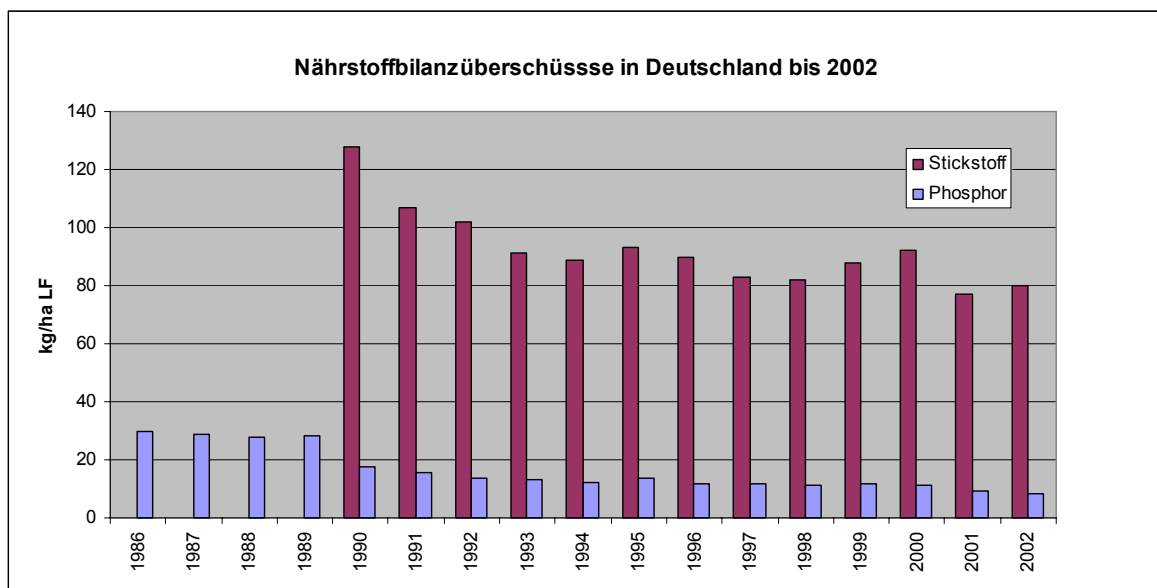


Abb. 7: Nährstoffbilanzüberschüsse in Deutschland bis 2002 (BMU, 2004)

## 9.2. Nährstoffbilanzüberschüsse 2003 (Ausgangszustand)

Die Nährstoffbilanzüberschüsse für das Jahr 2003 wurden mit dem Modell RAUMIS für die Bundesländer Bayern, Bremen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Hessen auf der Gemeindeebene und für die Bundesländer Sachsen-Anhalt und Thüringen aufgrund mangelnder Datenbasis auf der Kreisebene berechnet. Die Berechnungen erfolgten unter Berücksichtigung des Mineraldüngereinsatzes, des Anfalls organischer Dünger sowie der Nährstoffentzüge über das Erntegut.

Die regionale Verteilung des **Mineraldüngers** fiel sehr unterschiedlich aus. Die höchsten Mineraldüngergaben fanden sich in den vieharmen Gebieten der FGE Weser, wie zum Beispiel der Hildesheimer Börde. Die relativ hohen Entzüge an Nährstoffen über das Erntegut konnten nur in einem geringen Maße über den dort anfallenden Wirtschaftsdünger gedeckt werden, sodass relativ hohe Mineraldüngergaben erforderlich waren, um das Ertragsniveau sicherzustellen.

Der Anfall **organischer Düngemittel** richtet sich nach den regionalen Umfängen der Tierproduktionsverfahren sowie den tierartspezifischen Koeffizienten der Nährstoffausscheidung. Im Norden, Osten und Süden der FGE Weser, in denen ein überdurchschnittlicher Grünlandanteil an der LF zu beobachten ist, überwiegt die Milchkuh- bzw. Rinderhaltung. Die Stickstofflieferungen lagen hier 2003 teilweise über 100 kg pro ha LF. Demgegenüber fielen in ackerbaulich geprägten Regionen die Stickstofflieferungen aus der Milch- und Rinderhaltung mit weniger als 15 kg pro ha LF relativ gering aus. Eine hohe Konzentration an Veredelungswirtschaft fand sich in einem Gürtel unterhalb von Bremen, der sich westlich bis einschließlich des nordrhein-westfälischen Teils der FGE Weser hinunter zieht. In dieser Region sind die Schweine- und Geflügelhaltung von besonderer Bedeutung, so dass im Durchschnitt die Stickstofflieferung alleine aus dieser Tierhaltung in einigen Gemeinden 2003 über 100 kg N/ha\*a liegen konnten. Geringe Stickstofflieferung von weniger als 10 kgN/ha\*a aus der Schweine- und Geflügelhaltung erfolgten, ähnlich wie bei der Rinderhaltung, in den ackerbaulich geprägten Regionen. Die Stickstofflieferungen aus der Schafhaltung liessen, abgesehen vom Thüringer Wald, keine regionalen Schwerpunkte erkennen und fielen insgesamt sehr gering aus.

Die höchsten Stickstofflieferungen aus Wirtschaftsdünger mit mehr als 125 kg N/ha\*a waren 2003 im Norden und Westen der FGE Weser zu finden. Weniger als die Hälfte an organischem Stickstoff wurde auf ackerbaugeprägten Flächen ausgebracht. Eine ähnliche regionale Verteilung wie beim Stickstoff ergibt sich für die Phosphorlieferungen aus Wirtschaftsdünger. Während im Nordwesten mehr als 30 kg P/ha\*a ausgebracht wurden, waren es in den vieharmen Regionen der Flussgebietseinheit weniger als 10 kg P/ha\*a.

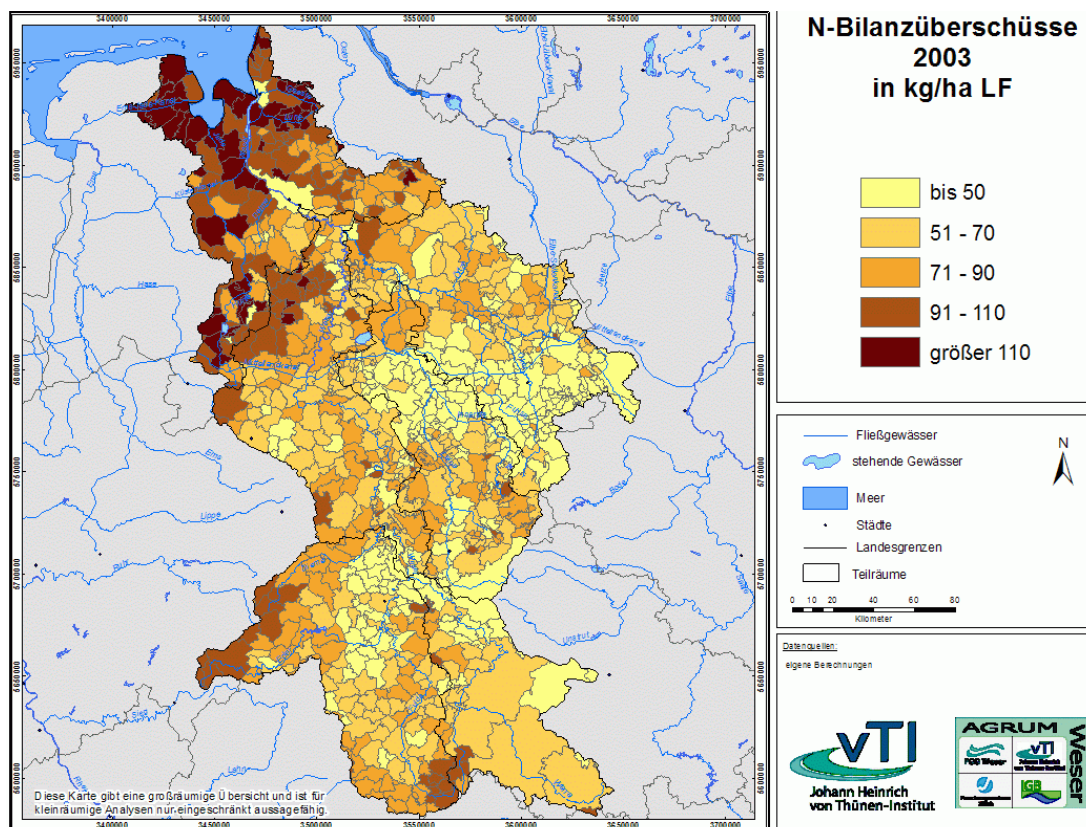


Abb. 8: Stickstoffbilanzüberschüsse 2003 in der FGE Weser

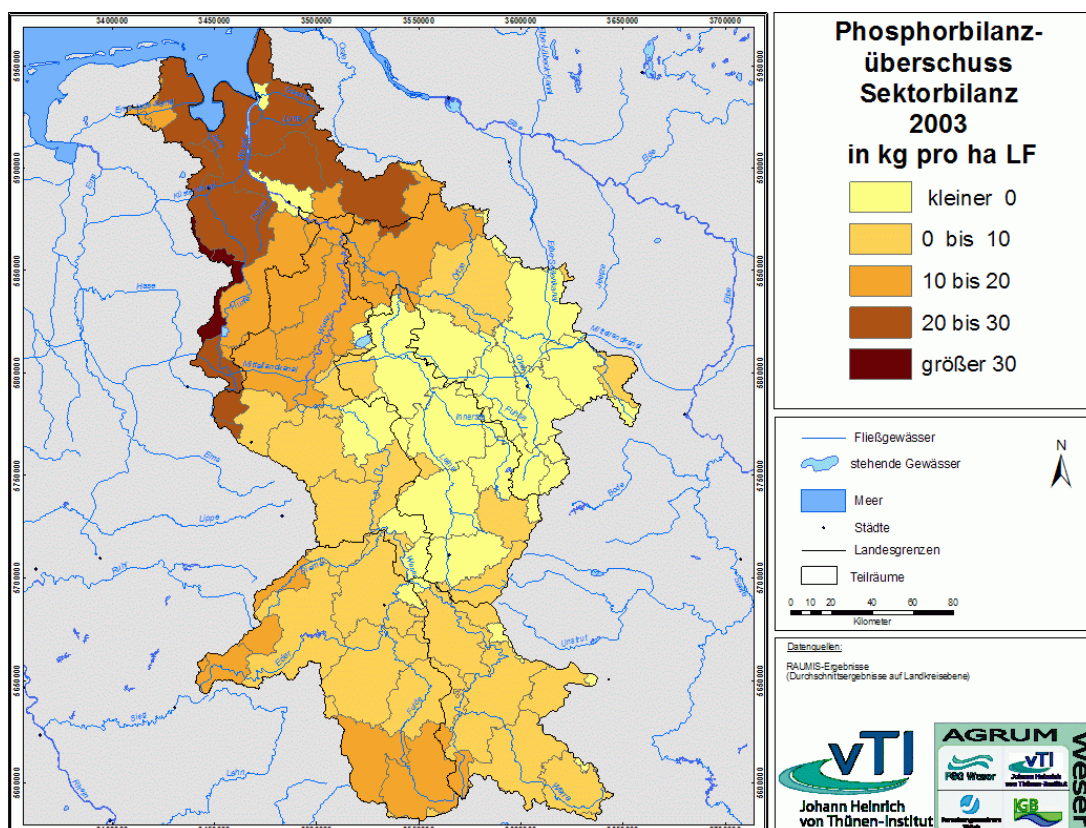


Abb. 9: : Phosphorbilanzüberschüsse 2003 in der FGE Weser

Die Höhe der regionalen **Nährstoffentzüge** berechnet sich aus der Anbaustruktur pflanzlicher Produktionsverfahren sowie deren Erträge. Die überwiegend ackerbaulich genutzten Gebiete südlich von Hannover wiesen 2003 mit mehr als 140 kg N/ha\*a den höchsten Stickstoffentzug in der FGE Weser aus. Auch die intensiv genutzten Grünlandregionen im Küstenbereich waren durch relativ hohe Stickstoffentzüge, die in den meisten Regionen über 120 kg N/ha\*a lagen, gekennzeichnet. Die niedrigsten Stickstoffentzüge fanden sich in den Mittelgebirgslagen, die zum einen geringe Viehbesatzdichten und zum anderen in bedeutendem Umfang extensiv genutztes Grünland auswiesen, wie dies zum Beispiel im Thüringer Wald der Fall war.

Der Nährstoffbilanzüberschuss ergibt als Bilanz nach folgender Gleichung:

$$\begin{aligned} \text{Nährstoffbilanzüberschuss} = & \text{Nährstoffzufuhr aus Mineraldünger} \\ & + \text{Nährstoffzufuhr aus Wirtschaftsdünger} \\ & - \text{Ernteentzug} \end{aligned}$$

Gebiete mit hohen **Stickstoffbilanzüberschüssen** und großem Eintragsrisiko waren 2003 vor allem die viehstarken Regionen im Nordwesten der FGE Weser mit Werten von jährlich bis zu 150 kg N/ha\*a. Auch einige Regionen im Westen und Süden der FGE Weser zeigten mit mehr als 90 kg N/ha\*a recht hohe Bilanzüberschüsse auf. Relativ geringe Bilanzüberschüsse fanden sich hingegen in überwiegend ackerbaulich geprägten Regionen, die gleichzeitig durch einen relativ geringen Sonderkulturanbau gekennzeichnet waren (Abb. 8).

Die regionale Verteilung der **Phosphorbilanzüberschüsse** ähnelt der beim Stickstoff, da in beiden Fällen hohe Viehbesatzdichten für die regional hohen Überschüsse verantwortlich sind (Abb. 9). In den überwiegend ackerbaulich geprägten Regionen waren teilweise negative Bilanzüberschüsse für Phosphor festzustellen. Da in der Vergangenheit relativ hohe Phosphorbilanzüberschüsse zu beobachten waren, hat sich in vielen Regionen im Boden ein „Phosphor-Puffer“ aufgebaut (Phosphorakkumulation). Diese hohe Phosphor-Versorgungssituation der Böden erlaubt es, dass über mehrere Jahre mehr Phosphor über das Erntegut entzogen werden kann als auf der anderen Seite über Mineral- und Wirtschaftsdünger zugeführt wird, ohne das Ertragsrisiko zu befürchten sind.

### 9.3. Nährstoffeinträge und –frachten 2003 (Ausgangszustand)

Zur Analyse der Nährstoffeinträge in die Gewässer für das Jahr 2003 wurden die im vorhergehenden Kapitel dargestellten Nährstoffbilanzüberschüsse als Eingangsdaten für die hydrologischen Modelle GROWA/WEKU und MONERIS weitergegeben und auf die entsprechenden Modellbetrachtungsebenen (Rasterzelle und Einzugsgebiete der Oberflächenwasserkörper) übertragen. Dabei werden im Modell GROWA/WEKU ausschließlich die diffusen Stickstoffeinträge analysiert, während im Modell MONERIS die diffusen und punktuellen Stickstoff- und Phosphoreinträge simuliert werden (s. Kapitel 3)

Zu den Nährstoffbilanzüberschüssen von landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden die nicht in RAUMIS berücksichtigten Nährstoffbelastungen aus atmosphärischer Deposition als zusätzliche Komponente hinzugezählt. Die Summe dieser Nährstoffe bildet somit die Gesamtbelastung für den Boden und die Gewässer.

Die hydrologischen Modelle unterscheiden sich in der Aufteilung der Einträge auf unterschiedliche Eintragspfade. Während das Modell GROWA/WEKU in die schnell abfließende Komponente Direktabfluss (als Summe aus Oberflächenabfluss, Interflow und Dränagen) und den Eintrag über Grundwasserneubildung differenziert, unterscheidet das Modell MONERIS die Eintragspfade Abschwemmung (mit dem Oberflächenabfluss), Erosion, Dränagen, Grundwasser und Interflow sowie urbane Gebiete und Punktquellen (Abb. 2).

#### 9.3.1. Diffuse Stickstoffeinträge über die Eintragspfade des Modells GROWA/WEKU

Im Modul WEKU wurde zunächst der diffuse Stickstoffeintrag in den Boden und die **Nitratkonzentrationen im Sickerwasser** analysiert, denn die mit dem Sickerwasser in den Boden einsickernden



Stickstoffüberschüsse gelangen im Allgemeinen nicht vollständig in das Grundwasser bzw. auf dem weiteren Fließweg in die Oberflächengewässer. Durch mikrobielle Umsetzungsprozesse im Boden kann ein Teil des Stickstoffs in reduzierte gasförmige Stickstoffverbindungen umgewandelt werden, die den Bodenraum in die Atmosphäre verlassen können, die so genannte Denitrifikation. Das Ausmaß dieser Vorgänge hängt in komplexer Weise von einer Vielzahl verschiedener Einflussfaktoren wie z.B. Bodenfeuchte, Säuregehalt oder Verweilzeit ab. Insgesamt beträgt die Stickstoffreduzierung im Boden aufgrund von Denitrifikation im Mittel der FGE Weser rd. 45 %, kann vereinzelt aber auch über 80% (in den Marschen) erreichen. Hier treffen die Einflussgrößen „gute Denitrifikationsbedingungen“ und „hohe Verweilzeit im Boden“ gleichzeitig zu.

Die nach der Bodendenitrifikation verbleibenden Stickstofffrachten unterhalb der Bodenzone ergeben dann in Kombination mit der Sickerwassermenge die potentiellen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Diese gibt an, mit welcher mittleren Konzentration der aus dem Boden ausgetragene Stickstoff in das Grundwasser bzw. über den Direktabfluss in die Oberflächengewässer eintragen wird. In den meisten Regionen der FGE Weser ergaben sich für 2003 großflächig Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von 50 mg/l und mehr (Abb. 10). Der Mittelwert für das gesamte Einzugsgebiet lag bei ca. 40 mg Nitrat/l. Besonders hohe Werte errechneten sich für die landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen der Syker Geest. Dort wurden vereinzelt Nitratkonzentrationen von mehr als 500 mg/l errechnet. Relativ geringe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser ergaben sich für die landwirtschaftlich extensiv genutzten Mittelgebirgsregionen sowie auch für die Lössböden.

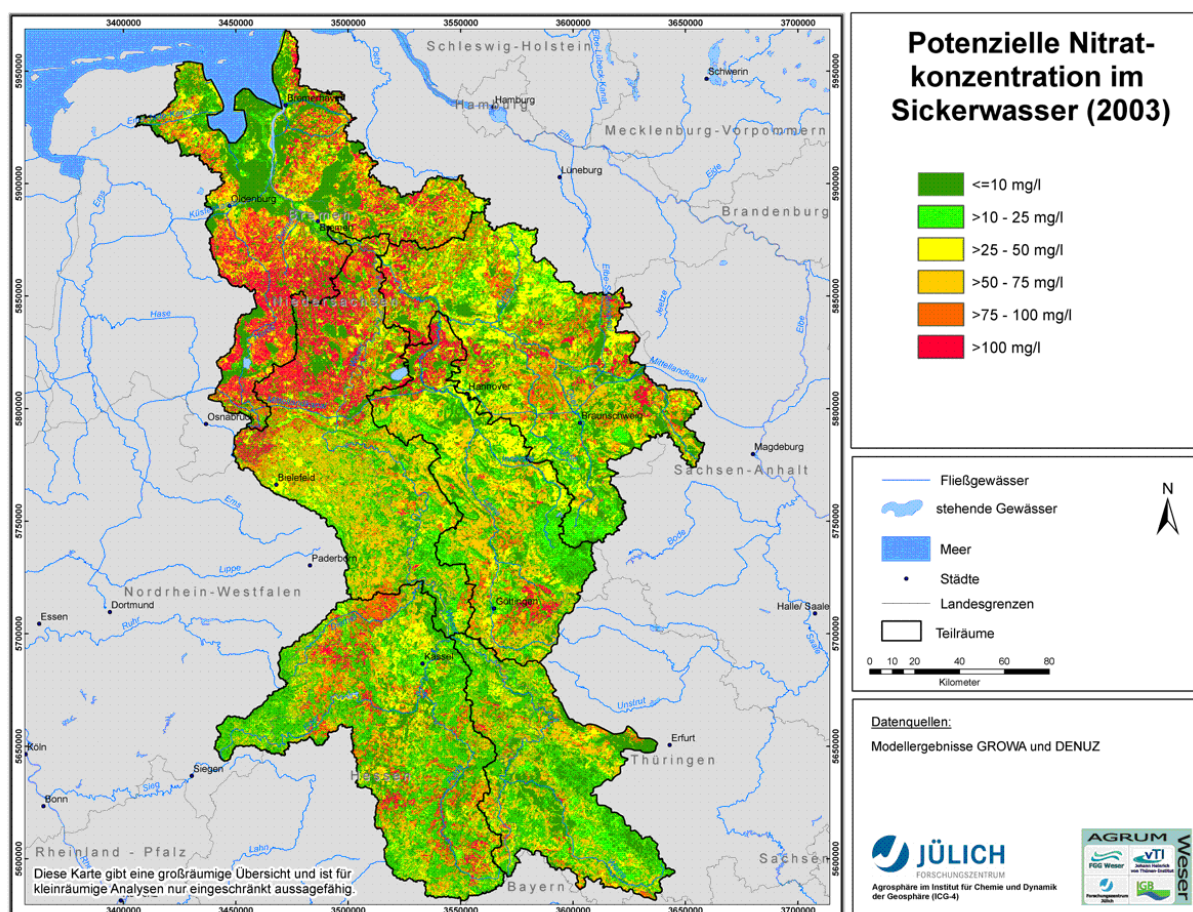


Abb. 10: Potenzielle Nitratkonzentrationen im Sickerwasser 2003 in der FGE Weser (GROWA/WEKU)

Die aus dem Boden ausgetragenen Stickstoffmengen, die nicht über den Direktabfluss in die Oberflächengewässer gelangen, werden in das Grundwasser eingetragen. Für große Teile der Lockergesteinsregion im Norden der FGE Weser ergaben sich 2003 dementsprechend vielfach **Stickstoffeinträge in das Grundwasser** zwischen 25 und 50 kg N/ha\*a, im Nordwestteil lagen sie vielfach sogar

bei mehr als 50 kg N/ha\*a (Abb. 11). In den Marschgebieten im Unterlauf der Weser sowie in den Festgesteinsregionen, d. h. allen Gebieten mit geringen Basisabflussanteilen, ergaben sich dagegen geringere Stickstoffeinträge in das Grundwasser.

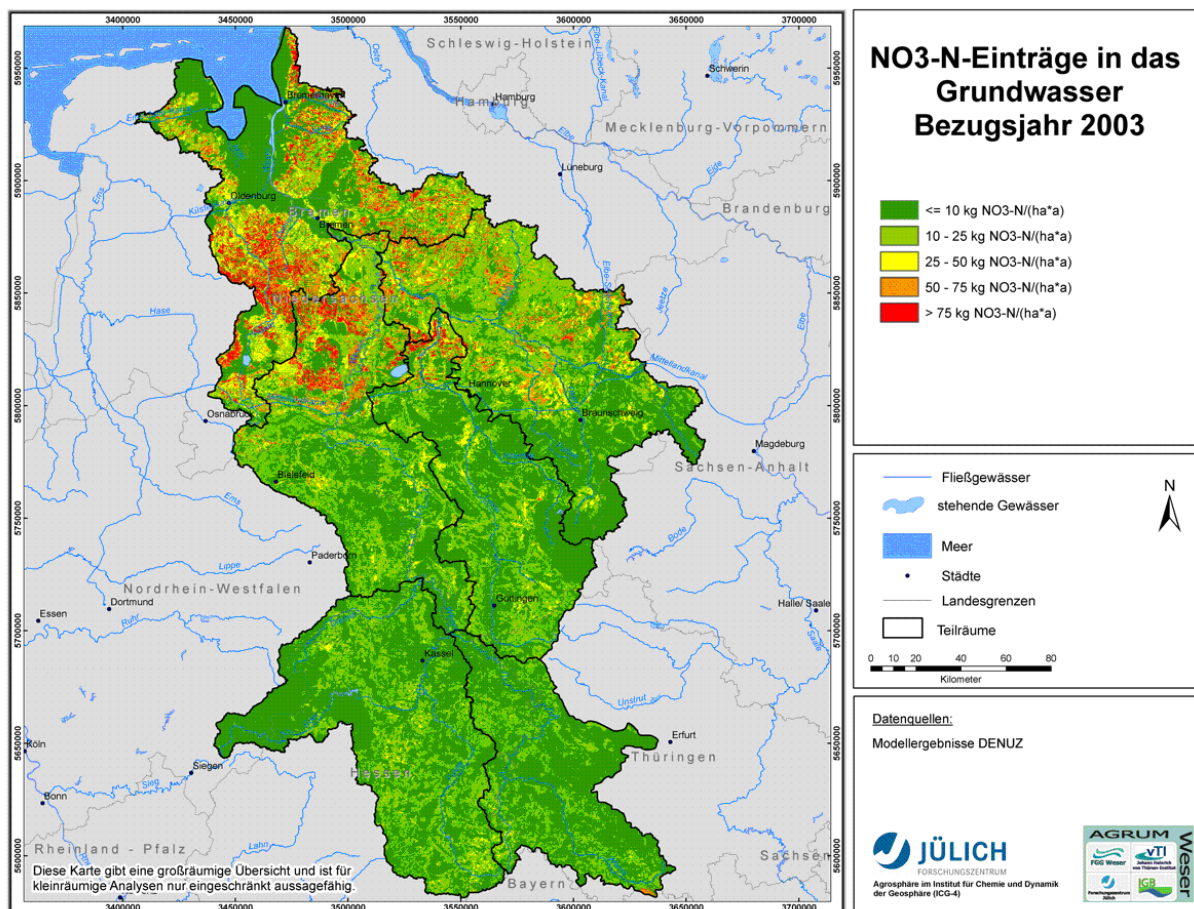


Abb. 11: Stickstoffeinträge ins Grundwasser 2003 in der FGE Weser (GROWA/WEKU)

Auf dem Weg zum Vorfluter kann es in Abhängigkeit von den Denitrifikationsbedingungen und den Grundwasserverweilzeiten im Aquifer zu einem weiteren signifikanten Nitratabbau kommen. Dieser Nitratabbau ist dabei analog zu den Prozessen im Boden umso effektiver, je länger die Verweilzeit des Nitrats im Grundwasser ist. Die Verweilzeiten des Grundwassers bezeichnen die Zeiträume, innerhalb derer das Grundwasser vom Ort der Einsickerung in den Aquifer zum grundwasserwirksamen Vorfluter gelangt.

Die **Verweilzeit** hängt dabei maßgeblich von der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers ab, deren Höhe durch die Durchlässigkeit sowie dem nutzbaren Hohlraumanteil des Grundwasserleiters, aber auch durch das hydraulische Gefälle der Grundwasseroberfläche beeinflusst wird. In der FGE Weser weisen die Verweilzeiten eine große Spannweite von weniger als einem und mehr als hundert Jahren auf. Geringe Verweilzeiten ergeben sich generell für Regionen in Vorfluternähe, Regionen mit hoher Vorfluterdichte und/oder Regionen mit großen hydraulischen Gradienten (Festgesteinsregionen). Dementsprechend deutlich wird das Vorfluternetz im Weser-Einzugsgebiet, insbesondere in den Mittelgebirgsregionen, abgebildet (Abb. 12).

Für eine **Denitrifikation** im Grundwasserleiter sind ein sauerstoffarmes Milieu sowie das Vorhandensein von organischen Kohlenstoff- oder Eisensulfidverbindungen wie z.B. Pyrit notwendig. Diese Voraussetzungen findet man im oberen hier betrachteten Grundwasserleiter nur im Lockergesteinsbereich der norddeutschen Tiefebene, in der das Nitrat fast vollständig mikrobiell abgebaut wird. Aber dieser Prozess kann nicht unbegrenzt ablaufen, da bei dieser Reaktion Pyrit als natürlich vorkommender Stoff irreversibel verbraucht wird. Nach dem vollständigen Verbrauch des Pyrits kann es dann zu



einem so genannten „Nitratdurchbruch“ kommen und in der Folge zu einem erhöhten **Stickstoffeintrag in die Oberflächengewässer** führen. Da dies derzeit noch nicht der Fall ist, zeigte sich 2003 eine deutliche Zweiteilung des Einzugsgebietes mit niedrigen Stickstoffeinträgen im Norden mit unter  $2 \text{ kg N/ha} \cdot \text{a}$  und vergleichsweise hohen Einträgen in die südlichen Oberflächengewässer von überwiegend  $4 \text{ bis } 20 \text{ kg N/ha} \cdot \text{a}$ . Stickstoffeinträge mit dem Direktabfluss von über  $50 \text{ kg N/ha} \cdot \text{a}$  wurden insbesondere für die über Dränagen entwässerten Niederungsregionen im Nordwestteil der FGE Weser errechnet. Diese ergeben sich durch das Zusammenwirken generell hoher Stickstoffüberschüsse und relativ geringer Verweilzeiten des Sickerwassers im Boden. In den Grundwasserneubildungsgebieten, zu denen z. B. die intensiv landwirtschaftlich genutzten Becken- und Bördelandschaften zählen, ergeben sich aufgrund der meist guten Denitrifikationsbedingungen, der hohen Verweilzeiten des Wassers im Boden und des geringen Anteils an Direktabfluss im Allgemeinen relativ geringe Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer mit dem Direktabfluss.

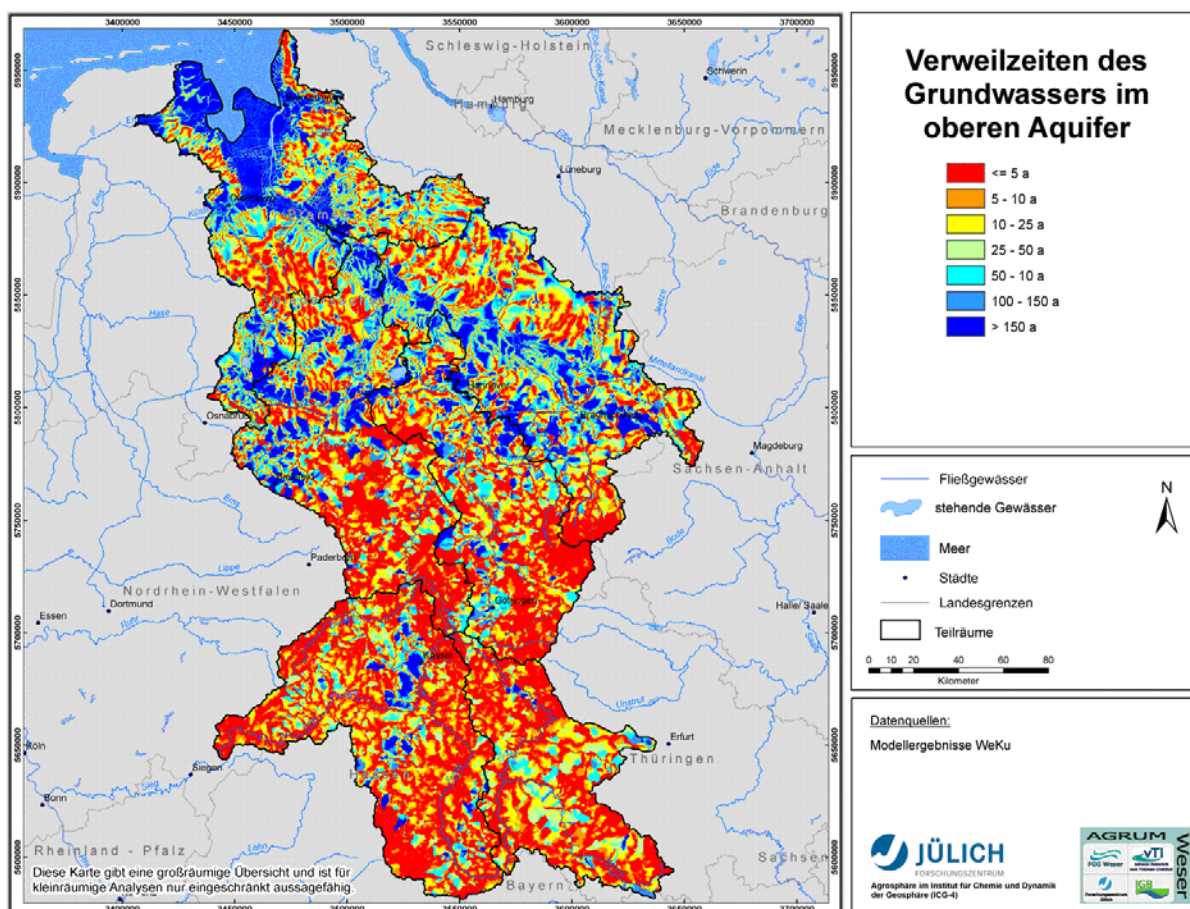


Abb. 12: Mittlere Verweilzeiten im oberen Grundwasserleiter in der FGE Weser

### 9.3.2. Nährstoffeinträge über die Eintragspfade des Modells MONERIS

Ergänzend zu den diffusen Eintragspfaden im Modell GROWA/WEKU wurden im Modell MONERIS alle Phosphoreinträge sowie die Stickstoffeinträge über atmosphärische Deposition auf Wasserflächen, Abschwemmung, Erosion, urbane Gebiete und über Punktquellen analysiert. Basis für die Berechnungen bildeten ebenfalls die im Modell RAUMIS ermittelten Nährstoffbilanzüberschüsse ergänzt durch die Belastung aus atmosphärischer Deposition.

Neben der atmosphärischen Deposition auf der Landfläche, die schon im Nährstoffbilanzüberschuss berücksichtigt ist, ist weiterhin der direkte Nährstoffeintrag **aus atmosphärischer Deposition über die Wasserflächen** der Oberflächengewässer zu berücksichtigen. Er betrug für das Gebiet der FGE Weser 2003 insgesamt  $800 \text{ t N/a}$  und  $20 \text{ t P/a}$ . Die Stickstoffdepositionswerte fielen im nordöstlichen

Teil der FGE Weser am höchsten aus, so erfolgten in den Teilräumen Ober- und Mittelweser sowie Tideweser insgesamt ca. 60 % der Einträge über diesen Pfad.

Die **Abschwemmung** gibt den Transport der gelösten Nährstoffkomponente über den Oberflächenabfluss in die Oberflächengewässer an. Da dieser als Funktion des Gesamtabflusses ermittelt wird, sind einerseits in Gebieten mit hohem Gesamtabfluss hohe Stickstoffeinträge vorhanden. Andererseits gilt dies auch für Gebiete mit hohen Nährstoffkonzentrationen im Oberflächenabfluss. Die Phosphoreinträge über Abschwemmung sind hingegen in Gebieten mit der Kombination hoher Ackerflächenanteil und hoher Oberflächenabfluss hoch. Die Höhe der Nährstoffeinträge schwankte zwischen weniger als 0,5 und mehr als 5 kg N/ha\*a bzw. weniger als 0,025 und mehr als 0,3 kg P/ha\*a.

Die **Erosion** beschreibt den an feine Partikel gebundenen Nährstoffeintrag über den Sedimenteintrag in die Oberflächengewässer. Die Höhe der Stickstoffeinträge über Erosion ist in erster Linie von der Hangneigung der Geländeoberfläche abhängig und daher erklärt so auch die regionale Zweiteilung der Einträge. Während im norddeutschen Flachland geringe Einträge von weniger als 0,1 bis 0,2 kg N/ha\*a erfolgten, stiegen die Einträge in den Mittelgebirgsbereichen mit ansteigender Hangneigung 2003 auf Werte über 0,5 bis max. 3 kg N/ha\*a. Bei den Phosphoreinträgen zeigte die regionale Verteilung ein ähnliches Bild wie bei den Stickstoffeinträgen mit sehr niedrigen Werten im norddeutschen Flachland von unter 0,025 kg P/ha\*a. Doch zieht sich ein Bereich von mehr als 0,3 kg P/ha\*a durch die Mitte des Einzugsgebietes und betrifft so überwiegend die Teilräume Ober- und Mittelweser sowie die Leine, in den südlichen Teilräumen Werra und Fulda/Diemel lagen die Werte mit 0,05 bis 0,2 kg P/ha\*a dagegen niedriger. Dies ist hauptsächlich geringere Werte der Phosphorakkumulation im Boden dieser Teilräume zurückzuführen.

Die Stickstoffeinträge über **Dränagen** fielen überwiegend in den Einzugsgebieten der Hunte und Wümme im Teilraum Tideweser in einer Größenordnung von mehr als 50 kg N/ha\*a an, da hier einerseits hohe Stickstoffbilanzüberschüsse vorliegen und andererseits Hochmoorflächen hohe Einträge bedingen. Die Phosphoreinträge über Dränagen zeigten ein ähnliches Bild mit einer Größenordnung von bis zu mehr als 2 t P/ha\*a, wobei jedoch im Norden in den Marschengebieten die Werte aufgrund der vorwiegenden Grünlandnutzung deutlich unter denen im Rest der FGE Weser lagen.

Die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer über **Grundwasser und Interflow** betrugen im Festgesteinsbereich ca. 4 – 20 kg N/ha\*a, da durch die nicht vorhandene Retentionskapazität im Festgesteinsbereich höhere Einträge vorhanden sind. Im nordöstlichen Bereich der FGE Weser betrugen die Einträge überwiegend weniger als 6 kg N/ha\*a. Prinzipiell sind die Einträge hoch in Gebieten, in denen einerseits hohe Stickstoffbilanzüberschüsse vorliegen, andererseits in Gebieten, in denen diese nicht über andere Abflusskomponenten abgeführt werden. Bei Phosphor sind Einträge in Gebieten mit Hochmoorflächen, die in der Regel dräniert sind, sehr hoch. Da jedoch die Informationen über die Lage der gedrännten Flächen in diesen Regionen nicht flächendeckend vorlagen, wurden die Einträge von vielen Hochmoorflächen nicht dem Dränagepfad zugeschrieben, sondern den Einträgen über Grundwasser/Interflow.

Die diffusen Nährstoffeinträge von **urbanen Flächen** umfassen die Einträge von versiegelten Flächen über Kanalisation und von Haushalten, die nicht an die Kanalisation bzw. zwar an die Kanalisation aber nicht an eine Kläranlage angeschlossen sind. Daher ist es nachvollziehbar, dass die Stickstoffeinträge 2003 hauptsächlich in städtischen Gebieten wie Bremen, Hannover und Bielefeld mit 2 bis 10, in Kassel mit bis zu 4 und in Thüringen mit über 10 kg N/ha\*a zu Buche schlugen. In Thüringen liegt dies an der Besonderheit, dass 2003 ein hoher Anteil der Bevölkerung zwar an die Kanalisation, aber noch nicht an eine Kläranlage angeschlossen war. Deshalb wurde zusätzlich noch der Anteil der an Kleinkläranlagen angeschlossenen Einwohner berücksichtigt. Die Phosphoreinträge zeigten eine ähnliche regionale Verteilung mit Werten von mehr als 3 kg P/ha\*a in Thüringen und 0,3 bis 1 kg P/ha\*a in den Ballungsräumen Bremen, Hannover und Kassel.

Die Nährstoffeinträge über **Punktquellen** entstehen durch direkte Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Anlagen in die Oberflächengewässer und sind primär durch die Reinigungsleistung, d.h. der Nährstoffkonzentration im Ablaufwasser der Anlagen bestimmt. In der FGE Weser wurden 2003 bis zu 200 t N/a pro kommunale Kläranlagen in die Oberflächengewässer eingetragen (Abb. 13). Die höchsten Einträge erfolgten dabei in den Großstädten wie z.B. Bremen, Hannover und Kassel. Die industriellen Einleiter lieferten nur einen geringen Anteil der Einträge über Punkt-



quellen. So waren jährliche Stickstoffeinträge von über 30 t/a nur an drei Standorten vorhanden 19 kommunale Kläranlagen emittierten Phosphoreinträge von mehr als 5 t/a verteilt über alle Teilräume der FGE Weser. Bei den industriellen Einleitern traten jedoch im Gegensatz zu den Stickstoffeinträgen bei den Phosphoreinträgen auch noch einige weitere im mittleren und südlichen Teil auf, die höhere Einträge von über 0,5 t/a aufwiesen.

### Punktueller Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der FGE Weser 2003 (MONERIS)

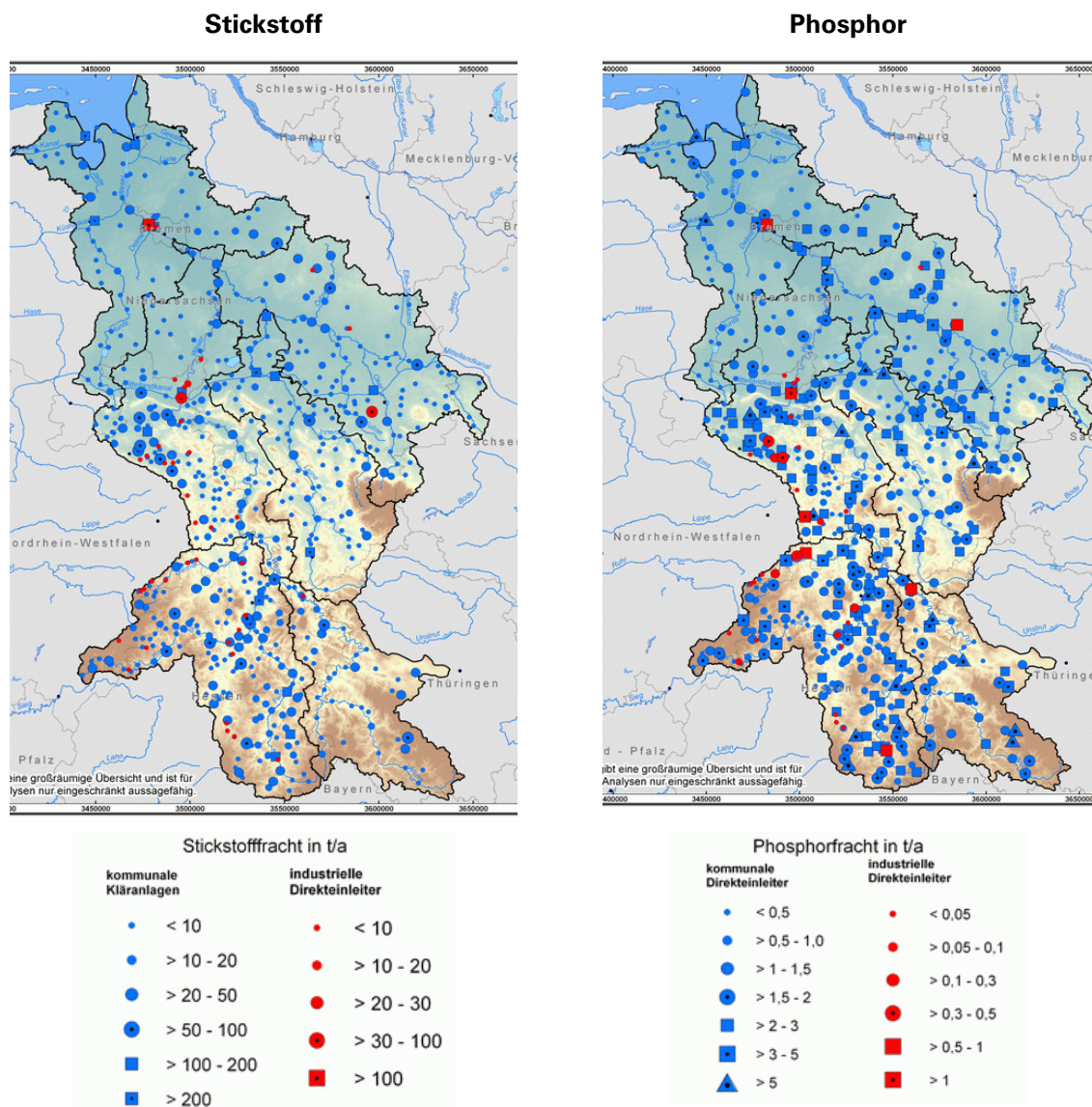


Abb.13: Punktueller Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der FGE Weser 2003

### 9.3.3. Zusammenfassung der diffusen Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer 2003 (Ausgangszustand)

Insgesamt betrugen die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer der FGE Weser für das Jahr 2003 insgesamt rund 90.800 t/a und die Phosphoreinträge rund 3.700 t/a und teilten sich entsprechend der Abbildung 14 auf die unterschiedlichen Pfade auf.

## Nährstoffeinträge in die Küstengewässer der FGE Weser 2003 (MONERIS)

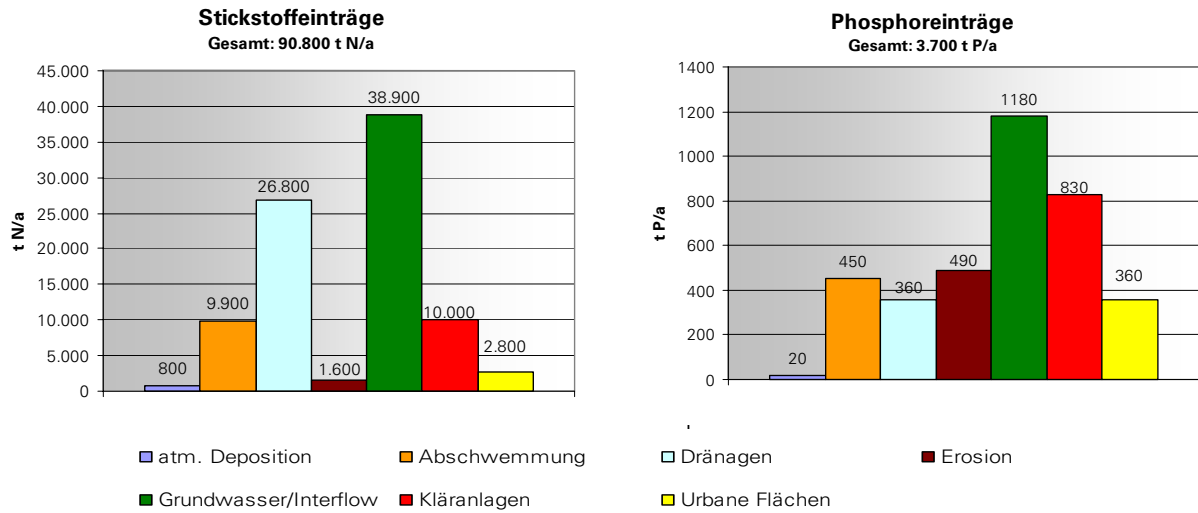


Abb.14: Nährstoffeinträge in die Küstengewässer der FGE Weser 2003

## Diffusen Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der FGE Weser 2003 (MONERIS)

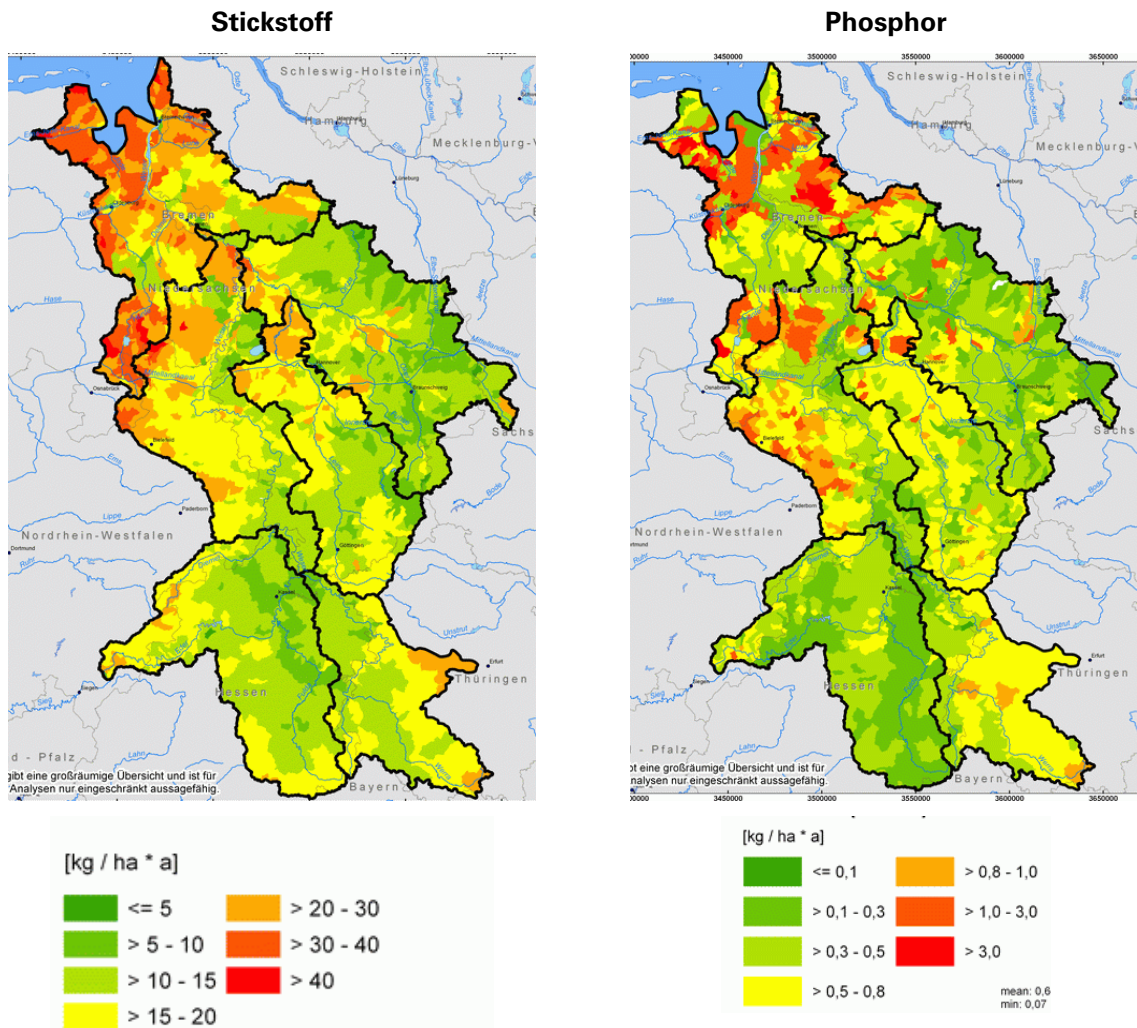


Abb.15: Diffuse Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der FGE Weser 2003

Die regionale Verteilung der diffusen Nährstoffeinträge spiegelt in der Summe die bereits für die einzelnen Eintragspfade beschriebenen Belastungsschwerpunkte wieder. So waren 2003 für die Stickstoffeinträge von den südlichen Teilräumen Fulda/Diemel und Werra mit 10-20 kg/ha\*a steigende Werte in Richtung Norden (Ober- und Mittelweser und Leine) zu verzeichnen. Der nordwestliche Teil der FGE Weser zeigte die höchsten diffusen Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer mit teilweise mehr als 40 kg/ha\*a. Dies liegt an der hohen Viehdichte, die die Bilanzüberschüsse deutlich erhöht, sowie an den hohen Stickstoffdepositionsraten. Zusätzlich führt der hohe Anteil an Drainageflächen zu einem verkürzten Abflusspfad mit geringer Retentionskapazität, der im Wesentlichen im nördlichen Teil des Einzugsgebiets relevant ist. Im Vergleich dazu waren die Stickstoffeinträge mit Werten von < 10 bzw. < 20 kg/ha\*a in den Mittelgebirgsregionen relativ gering. Hohe diffuse Phosphoreinträge sind erkennbar in Gebieten mit hoher Phosphorakkumulation im Boden, wie z. B. im nordwestlichen Teil der FGE Weser. Hier führten zudem hohe Viehbesatzdichten zu einem hohen Anteil an organischem Dünger, aber auch Drainagesysteme und Hochmoorflächen verursachen die hohen Phosphoreinträge (Abb. 15).

### 9.3.4. Nährstofffrachten und Konzentrationen in den Oberflächengewässern

Nährstofffrachten errechnen sich für einen betrachteten Zielort aus den Nährstoffeinträgen abzüglich der Retention auf dem Fließweg bis zu diesem Zielort. Im Rahmen des Modellvorhabens wurde die Retention in den Teilräumen abgeschätzt und so der Anteil der Frachten aus den einzelnen Teilräumen an der Gesamtfracht am Pegel Hemelingen als letzte tideunbeeinflusste Messstation an der Weser bestimmt (Tab. 3)

Tab.3: Nährstoffeinträge, -retention und -frachten am Pegel Hemelingen der FGE Weser 2003

<b>Stickstoff</b>	<b>Eintrag 2003</b>	<b>Retention in den Teilräumen</b>	<b>Anteil an Gesamtfracht (Hemelingen)*</b>
<b>Teilraum</b>	<b>t N/a</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>Werra</b>	8.800	13,9	13,4
<b>Fulda/Diemel</b>	15.400	22,3	23,6
<b>Leine</b>	11.900	26,9	15,5
<b>Aller</b>	12.700	17,1	19,9
<b>Ober/Mittelweser</b>	17.000	19,9	27,5
<b>Gesamt</b>	<b>65.800</b>		
<b>Phosphor</b>	<b>t P/a</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>Werra</b>	330	17	13,1
<b>Fulda/Diemel</b>	550	21,2	20,5
<b>Leine</b>	470	20,9	16
<b>Aller</b>	470	17,1	18,5
<b>Ober/Mittelweser</b>	750	23,8	31,9
<b>Gesamt</b>	<b>2.570</b>		

\*unter Berücksichtigung der Retention im Hauptlauf der Weser

Aus den ermittelten Einträgen und dem entsprechenden langfristigen Abfluss in den Gewässern wurden die Konzentrationen in den Binnengewässern ermittelt (Abb. 16). Die mit MONERIS berechneten Konzentrationen zeigten für die Oberläufe in den Teilräumen Werra, Fulda/Diemel und Leine Stickstoffkonzentrationen von bis zu 3 mg N/l, während sie im Teilraum Aller, Ober- und Mittelweser und Tideweser überwiegend über 4 mg N/l und bereichsweise im Nordwesten auch über 10 mg N/l liegen.



Die Konzentrationen für Gesamtphosphor lagen in den Hauptfließgewässern unter 0,15 mg P/l liegen, während sich für die Oberläufe Konzentrationen von teilweise mehr als 0,5 mg P/l ergaben. Eine regionale Unterscheidung der Teilräume lässt sich nicht erkennen.

Für die letzten nicht tidebeeinflussten Messstationen Reithörne an der Hunte und Bremen-Hemelingen an der Weser ergeben sich Stickstoffkonzentrationen von ca. 7,8 bzw. 4,5 mg N<sub>ges</sub>/l. Die Phosphorkonzentrationen betragen 0,2 bzw. 0,15 mg P<sub>ges</sub>/l.

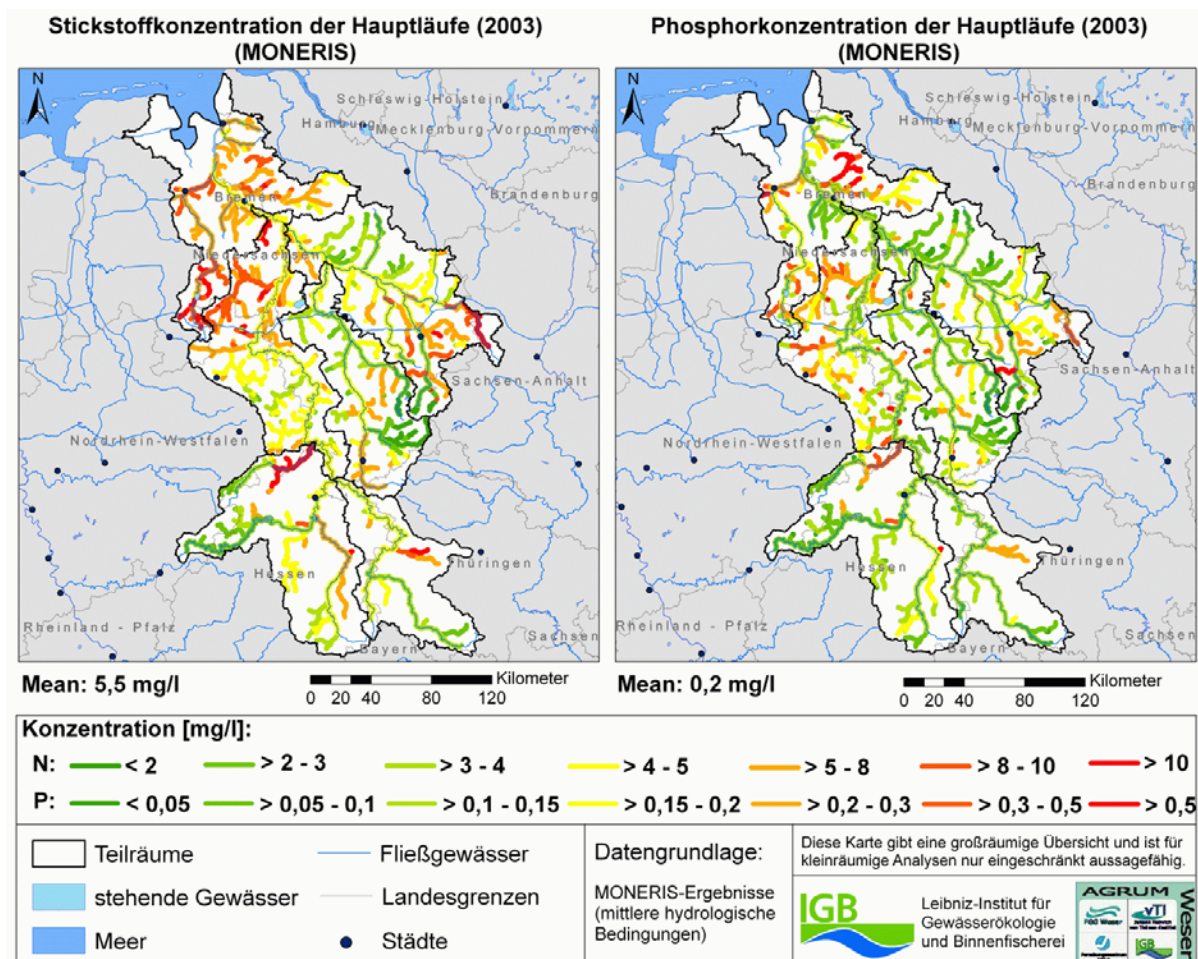


Abb.16: Nährstoffkonzentrationen in den Oberflächengewässern der FGE Weser 2003

## 10. Analyse der Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015

Bei der Erstellung der Maßnahmenprogramme nach EG-WRRL (RL 2000/60/EG) spielt die Abschätzung erwartbarer Veränderungen bis zum Jahr 2015 eine wichtige Rolle, d.h. man versucht zu prognostizieren, wie sich bereits bekannte Veränderungen der Bewirtschaftung aufgrund der EU-Agrarpolitik, derzeit geltender Rechtsvorschriften, in den Ländern förderfähiger Agrarumweltmaßnahmen bis 2013 und sonstiger Einflüsse auf die Nährstoffsituation auswirken. Das Zusammenspiel dieses Handelns wird als „Baseline Szenario 2015“ bezeichnet.

Die zu erwartenden Entwicklungen der landwirtschaftlichen Flächennutzung und Produktion wurden mit Hilfe von RAUMIS unter der Annahme abgeschätzt, dass sich die Landwirtschaft bis zum Jahr 2015 vollständig an diese Rahmenbedingungen angepasst und Produktionsentscheidungen umgesetzt hat. Die Ergebnisse für dieses Baseline Szenario wurden dem Ausgangszustand 2003 gegen-

übergestellt, um die Auswirkungen der erwartbaren Anpassungen in der Landwirtschaft auf die diffuse Gewässerbelastung herauszuarbeiten.

Vor dem Hintergrund nahezu ausgeglichener Phosphorbilanzüberschüsse (vgl. Kapitel 9.2) lag im Hinblick auf die Auswahl von Maßnahmen des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung bzw. Reduzierung von Stickstoffbilanzüberschüssen.

### 10.1. Veränderungen der allgemeinen Agrarpolitik

Für den Agrarsektor verändern sich wesentliche Randbedingungen bis zum Jahr 2015. Im Jahr 1992 wurde ein Reformprozess der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) eingeleitet, der durch die Luxemburger Beschlüsse im Jahr 2003 vertieft wurde. Wichtige Elemente sind die **Entkopplung produktspezifischer Direktzahlungen** wie Tier- und Flächenprämien und die Bindung der Zahlungen an die Einhaltung bestehender Produktionsstandards („**Cross Compliance**“). Die einstige obligatorische **Flächenstilllegung** wurde ab dem Jahr 2007 ausgesetzt. Ein wesentlicher Grund dafür war die infolge der weltweit stark gestiegenen Agrarpreise zunehmende Flächennutzungskonkurrenz.

Darüber hinaus wurde die **Marktordnung für Zucker und Milch** geändert und von einer auf Preisstützung ausgerichteten Politik in das System direkter Zahlungen an Erzeuger integriert. Dazu wurden die Interventionspreise für Butter und Magermilchpulver um 25 % bzw. 15 % gesenkt, die Interventionsaufkäufe gekürzt und die Milchquote um 2,5 % erhöht. Die **Milchquotenregelung** bleibt bis zum Jahr 2015 bestehen.

In Deutschland werden die Flächen- und Tierprämien sowie die Ausgleichszahlungen für Milch und Zucker in **einheitliche Zahlungsansprüche** je ha zahlungsberechtigter Fläche umgewandelt. Die einheitlichen für das Zieljahr 2015 unterstellten Zahlungsansprüche, deren Festlegung auf Bundeslandebene erfolgt, werden sich im Bundesdurchschnitt auf rund 330 €/ha belaufen.

Seit dem Jahr 2006 ist die **Novellierung der Düngeverordnung** (Deutscher Bundestag 2006) in Kraft. Durch sie wird die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen geregelt. Im Hinblick auf den Nährstoffeinsatz sind von landwirtschaftlichen Betrieben Restriktionen einzuhalten. So dürfen z.B. bei Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft sowohl auf Acker- als auch auf Grünland nur bis zu 170 kg N/ha LF ausgebracht werden, wobei unter besonderen Bedingungen bis zu 230 kg N/ha Grünland auf Antrag zulässig sind. Die Nährstoffbilanz darf bei Phosphor im Schnitt von 6 Jahren eine Grenze von 20 kg/ha\*a und bei Stickstoff ab 2009 im Dreijahresdurchschnitt 60 kg/ha\*a jeweils unter Berücksichtigung von Stall-, Lager- und Ausbringungsverlusten nicht überschreiten.

### 10.2. Agrarumweltmaßnahmen

Agrarumweltmaßnahmen (AUM) sind bereits seit den 90-iger Jahren Bestandteil der Förderung ländlicher Räume und dienen ausschließlich der Realisierung von Umweltzielen. Einige der Maßnahmen sind direkt auf den Gewässerschutz ausgerichtet wie beispielsweise die Erosion mindernde Produktionsverfahren im Ackerbau, die Umwandlung von Ackerland in Grünland, Reduzierung von Stickstoffsalden, die Gewässer schonende Bewirtschaftung stillgelegter Ackerflächen und die umweltfreundliche Ausbringung von Wirtschaftsdünger. Als eine indirekt auf den Schutz von Gewässern wirkende Maßnahme wird der ökologische Landbau in allen Bundesländern angeboten. Dabei sind jedoch nur solche Maßnahmen förderfähig, die über die gute fachliche Praxis hinausgehen. In der aktuellen Förderperiode 2007 bis 2013 wurde in einigen Bundesländern der Umfang der AUM allerdings im Vergleich zur Vorperiode eingeschränkt (Tab.4), insbesondere bei den für den Gewässerschutz relevanten AUM. Diese Kürzung beruht z. T. auf der Annahme, dass die AUM von den Landwirten auch ohne Förderung weiter fortgeführt werden, was allerdings nicht als sicher angesehen werden. Aus der Differenz zwischen realisierten (2003/04) und geplanten Anbauumfängen (bis 2013) der AUM wurden auf der Grundlage der in detaillierten Maßnahmensteckbriefen (OSTERBURG et al., 2007) beschriebenen Maßnahmenwirkungen die Auswirkungen auf die Nährstoffbilanzüberschüsse in den Gemeinden bis zum Jahr 2015 abgeschätzt.

Tab. 4: Überblick über die Veränderungen der Umfänge einiger Agrarumweltmaßnahmen in Hessen, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen bis 2013 (Stand 2007)

Förderflächen für AUM [ha]	HE		NI		NW	
	2004/05	2013	2003/04	2013	2003/04	2013
<b>Zwischenfruchtanbau</b>	17.900	48.000	157.500	37.000	66.600	-
<b>Mulchsaat</b>	35.600	-	68.100	56.000		
<b>GL-Extensivierung</b>	117.600	45.000	43.300	38.200	74.300	92.050
<b>Ökologischer Landbau</b>	53.500	62.000	51.000	60.000	37.600	62.000

### 10.3. Maßnahmen aufgrund sonstiger Einflussgrößen

Neben den Weiterentwicklungen der GAP und Veränderungen im Agrarumweltbereich gewinnen weitere Einflussgrößen zunehmend an Bedeutung. Zu den wesentlichen Einflussfaktoren gehören die Förderung des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo) zur Energieerzeugung, der Preisanstieg für Agrarprodukte sowie für Energie- und Düngemittel und der technische Fortschritt. Diese Faktoren führen teilweise zu deutlichen Anpassungen der landwirtschaftlichen Landnutzung und Produktion und wirken sich damit auf die Nährstoffbilanzüberschüsse aus.

Angesichts steigender Energiepreise spielt die Sicherstellung der Energieversorgung auch durch den **Anbau Nachwachsender Rohstoffe** (NaWaRo) eine zunehmende Rolle in der Energiepolitik. Der NaWaRo-Anbau wird in Deutschland durch das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), das im Jahr 2004 novelliert wurde, gefördert (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2004). Die Förderung hat zu einem Boom beim Anbau von Energiemais geführt, der sich als wettbewerbsstärkste Kultur durchgesetzt hat.

Für die zukünftige **Entwicklung der Agrarpreise**, die im Jahr 2006 und 2007 kräftig gestiegen sind, erwarten Experten bis zum Jahr 2015 eine nachhaltige Zunahme. Diese Entwicklung wird durch die stark wachsende Nachfrage nach Agrarprodukten infolge der positiven wirtschaftlichen Entwicklung in China und Indien, durch stark steigende Energiepreise sowie die weltweit intensivierte Förderung Erneuerbarer Energien vor allem von Biokraftstoffen verstärkt. Ausgehend von den Projektionen für die Weltagrarmarktpreise lassen sich unter Berücksichtigung von Handelsspannen, Transportkosten und Importzöllen die zu erwartenden Erzeugerpreise für die wichtigen Agrarprodukte in Deutschland ableiten. Demnach steigen die Preise für die ackerbaulichen Leitkulturen Getreide und Ölsaaten von 103 bzw. 208 €/t im Mittel der Jahre 2003/05 um jeweils rund 60 €/t bis zum Jahr 2015.

Der **technische Fortschritt** kommt insbesondere in den Ertragszuwächsen der Kulturpflanzen sowie den Steigerungen der tierischen Leistungen zum Ausdruck. In Deutschland belief sich im Zeitraum von 1990 bis 2007 die jährliche Zunahme der Flächenerträge bei Getreide auf 0,9 %, bei Mais auf 1,5 % und Raps auf 1,3 %. Die jährlichen Milchleistungssteigerungen der Milchkühe spielen angesichts der Milchquotenregelung eine besondere Rolle für den Rindviehbestand und die landwirtschaftliche Landnutzung vor allem für die Grünlandnutzung. In Deutschland sind die Milchleistungen je Tier von 1990 bis 2007 um jährlich 2,1 % gestiegen.

### 10.4. Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015 auf die Nährstoffbilanzüberschüsse

In der FGE Weser wird sich auf Basis der angenommenen Randbedingungen die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) im Baseline Szenario von 2003 bis 2015 nahezu konstant entwickeln. Trotz anhaltender Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen zu Lasten der landwirtschaftlichen Flächen-nutzung nehmen landwirtschaftliche Betriebe im Zuge steigender Agrarpreise zunehmend Flächen wieder in Bewirtschaftung, die sie aus verschiedenen Gründen nicht genutzt oder anderen Nutzern überlassen hatten.

Ausgehend vom Ausgangszustand 2003 ist nach Berechnungen mit RAUMIS insgesamt aufgrund des Baseline Szenarios 2015 eine mittlere Reduzierung der Stickstoffbilanzüberschüsse von ca. 10 – 15 kg N/ha LF zu erwarten (Abb. 17). Diese Gesamtreaktion setzt sich aus mehreren teils gegenläufigen



und mehr oder minder gut quantifizierbaren Einzeleffekten zusammen. Im Rahmen der allgemeinen Agrarpolitik kann der Rückgang der Viehbestände aufgrund der Entkopplung der Tierprämien im Mittel zu einer Reduzierung der Nährstoffüberschüsse von 8 kg N/ha führen. Dagegen führt die Ausdehnung der Milchquote zu einer Erhöhung der Milchviehbestände und damit zu einer Erhöhung der Aufträge von im Mittel 0,1 kg N/ha bzw. bis zu 1 kg N/ha regional in den Milchviehregionen. Der erwartete Anstieg der Agrarpreise sowie der Wegfall der obligatorischen Flächenstilllegung führen zu einer Intensivierung der Ackerlandnutzung. Stillgelegte Flächen werden wieder in Bewirtschaftung genommen. Die größten Änderungen erfolgen hierbei im Bereich der Biomasseerzeugung und dem Ackerfutteranbau. Das Auslaufen der Flächenstilllegungsverpflichtung kann somit die Nährstoffüberschüsse um ca. 0,7 kg N/ha erhöhen.

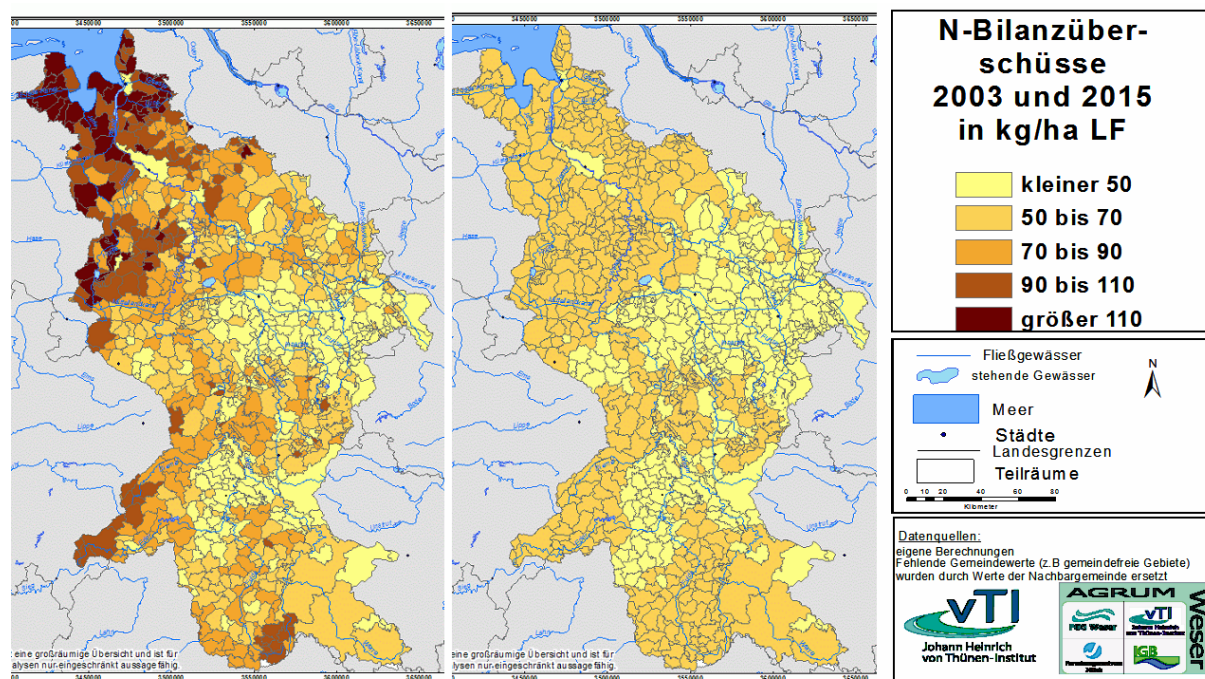


Abb.17: Stickstoffbilanzüberschüsse 2003 und 2015 in der FGE Weser

Aufgrund der vielfältigen Anpassungsmöglichkeiten zur Einhaltung der Auflagen bzgl. des Nährstoffeinsatzes der Düngeverordnung lässt sich das Reduktionspotenzial bei den Nährstoffüberschüssen nur näherungsweise abschätzen. Nach Berechnungen von (OSTERBURG et al. 2007) auf der Grundlage von Einzelbetrieben ist eine Reduktion der Stickstoffbilanzüberschüsse zwischen 14 - 21 kg N/ha LF bei den analysierten Betrieben erwartbar. Dies ist regional aber sehr differenziert und zeigt nur Wirkung in Regionen mit starker Viehhaltung.

Nicht zu vernachlässigen sind die Auswirkungen der Förderung des Energiepflanzenanbaus nach dem EEG, die durch den Wegfall der Flächenstilllegungsverpflichtung noch unterstützt werden. Man geht davon aus, dass durch den Anbau von 1 Mio. ha Energiemaïs die Stickstoffüberschüsse um durchschnittlich 3, regional sogar bis zu 10 kg N/ha betragen können.

Die Auswirkungen der geänderten Anbauumfänge von Agrarumweltmaßnahmen auf die Stickstoffbilanzüberschüsse von der Periode 2000/2006 zur Förderperiode 2007/2013 liegen im Durchschnitt in den untersuchten Bundesländern bei +1,5 bis -1,5 kg/ha. In Gebieten innerhalb der Bundesländer können diese Änderungen erheblich variieren, da einzelne Maßnahmen nur in bestimmten Gebietskategorien angeboten werden, so dass sie hier zu deutlich größeren Veränderungen der Stickstoffbilanzen führen können.

## 10.5. Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015 auf die Stickstoffeinträge in die Gewässer

Zur Analyse der möglichen Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015 auf die Stickstoffeinträge ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer wurden die vom Modell RAUMIS prognostizierten Bilanzüberschüsse aus der Landwirtschaft des Baseline - Szenarios 2015 sowie die durch atmosphärische Deposition für 2015 prognostizierten Stickstoffmengen mit den hydraulischen Modellen verknüpft. Um eine direkte Vergleichbarkeit mit den für 2003 ermittelten Stickstoffeinträgen zu gewährleisten, wurden hierbei alle Modellparametrisierungen sowie alle übrigen Eingabegrößen der Modelle konstant gehalten. Letzteres betrifft vor allem die den Wasserhaushalt antreibenden Klimaparameter (Niederschlag und potenzielle Verdunstung), aber auch die regionale Verteilung der Landnutzung.

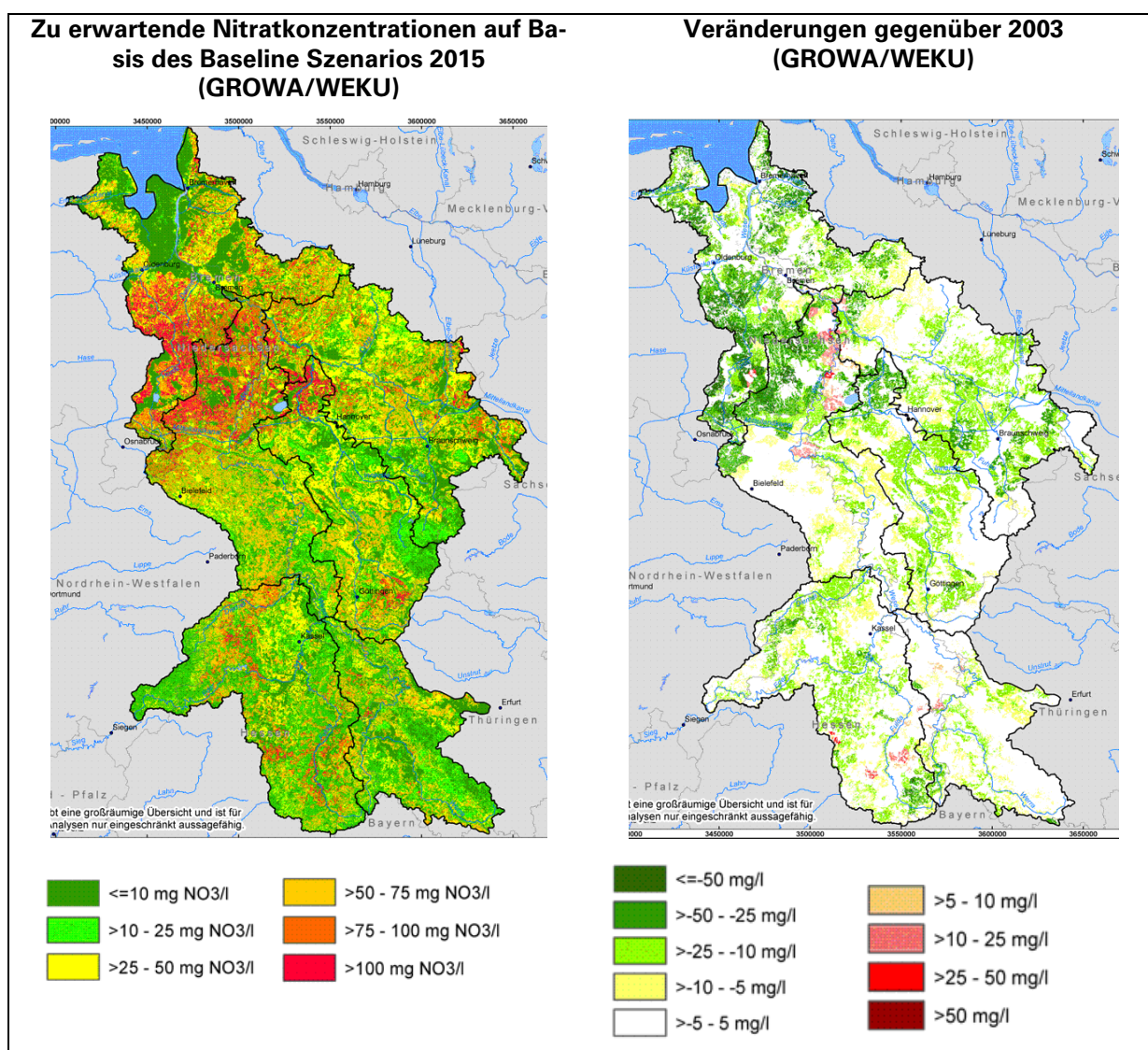


Abb.18: Veränderungen der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser aufgrund des Baseline Szenarios 2015

Gemittelt über die der FGE Weser ergibt sich durch die Implementierung des Baseline Szenarios 2015 ein Rückgang der **Nitratkonzentrationen im Sickerwasser** von im Mittel ca. 40 mg/l auf im Mittel ca. 30 mg/l. Dennoch würden sich für viele Bereiche der FGE Weser nach wie vor Nitratkonzentrationen von mehr als 50 mg/l ergeben (Abb. 18). Für die meisten landwirtschaftlich genutzten Regionen kann eine Verminderung der Nitratkonzentration im Sickerwasser erwartet werden, während kleinere Bereiche (z. B. entlang des Flusslaufs der Weser) eine Zunahme der Nitratkonzentrationen im Sicker-



wasser um ca. 10 – 25 mg/l erwarten lassen. Für die gesamte FGE Weser, d. h. unter Einbeziehung der Waldflächen, ergibt sich eine mittlere Reduktion von ca. 10 mg Nitrat/l. In den landwirtschaftlich dominierten Regionen im Süd- und Ostteil liegt die Verminderung der Nitratkonzentration in der Regel bei 10 – 25 mg/l. Eine Verminderung von bis zu 50 mg/l und mehr ergibt sich großflächig im durch intensive Viehhaltung geprägten Westteil der FGE Weser, wobei die absoluten Werte nach wie vor über 100 mg Nitrat/l liegen können.

Wie zu erwarten, macht sich eine Reduzierung der **Nitrateinträge ins Grundwasser** vor allem in den Regionen bemerkbar, in denen die Grundwasserneubildung bzw. der Grundwasserabfluss die dominierende Abflusskomponente darstellt. Aus diesem Grunde ergeben sich hierdurch fast ausschließlich im Norden der FGE Weser verminderte Nitrateinträge, die häufig im Bereich zwischen 10 kg/ha\*a und 25 kg/ha\*a liegen. Bei der Analyse der Auswirkungen von Reduzierungsmaßnahmen im Grundwasser spielen die in Kapitel 9.3.1 beschriebenen Verweilzeiten eine entscheidende Rolle. So können zum Beispiel Auswirkungen von Maßnahmen möglicherweise erst nach Ablauf dieser Verweilzeiten von mehreren Jahrzehnten in Konzentrationsmessungen nachgewiesen werden, d.h. der gute chemische Grundwasserzustand wird sich voraussichtlich allein aufgrund von hydrogeologischen Gegebenheiten erst nach Jahrzehnten einstellen können.

Die **Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer** der FGE Weser betragen unter Berücksichtigung der beschriebenen Veränderung durch das Baseline Szenario rund 75.700 t/a und verringern sich somit um 17% gegenüber dem Ausgangszustand 2003. Die Änderungen des Stickstoffbilanzüberschusses und der atmosphärischen Deposition betreffen dabei im Wesentlichen die Pfade Grundwasser / Interflow, Oberflächenabfluss und Dränagen sowie die Angaben zu Anschlussverhältnissen der urbanen Flächen (Abb.19). Die Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer werden sich im Vergleich zu 2003 um insgesamt 3% auf 3.600 t P/a reduzieren. Dies liegt zum Einen an den Reduzierungen über den Grundwasserpfad und zum Zweiten an den veränderten Anschlussverhältnissen der urbanen Gebiete in Thüringen, die eine Reduktion von ebenfalls 3% der Einträge über urbane Flächen bedingen.

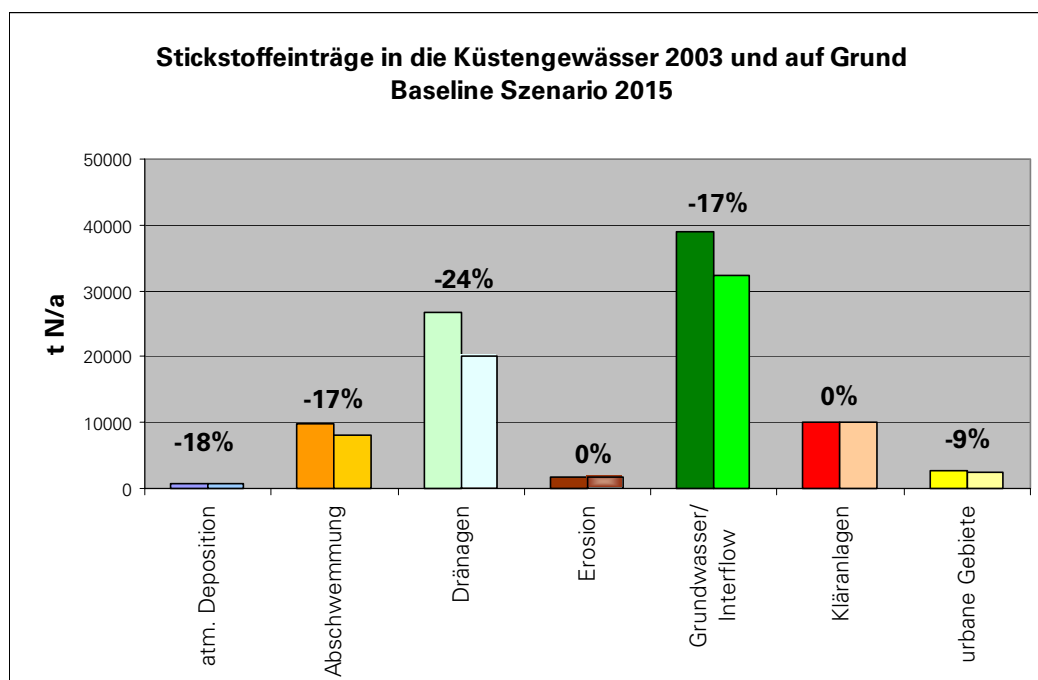
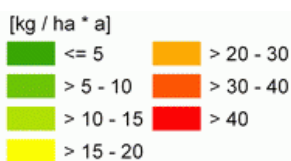
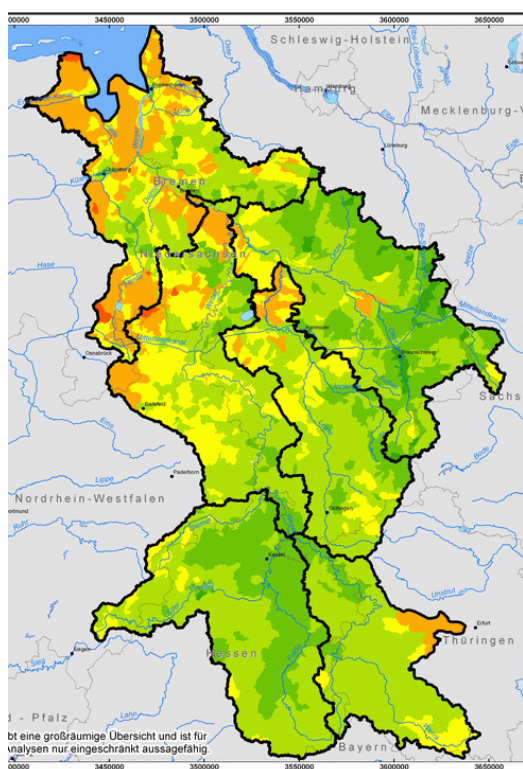


Abb.19: Veränderungen der Nährstoffeinträge in die Küstengewässer der FGE Weser aufgrund des Baseline Szenarios 2015

Die Reduzierung der Stickstoffeinträge über Abschwemmung wird für die FGE Weser auf rd. 17% gegenüber 2003 abgeschätzt. Dies liegt in der Veränderung der Stickstoffdepositionswerte begründet, weswegen vor allem Gebiete mit hohen Depositionswerten (Waldflächen) betroffen sein werden. Die Einträge über Dränagen werden sich um ca. 6.600 t/a reduzieren. Dies ist einerseits den veränderten Stickstoffbilanzüberschüssen, andererseits der Reduzierung der Depositionswerte zuzuschreiben.

Die Stickstoffeinträge über Grundwasser / Interflow reduzieren sich ebenfalls aufgrund der Minderung der Bilanzüberschüsse sowie der Deposition. Die Änderung wird allerdings nicht so hoch ausfallen wie beim Drainagepfad, da die Retention des Pfads Grundwasser / Interflow entsprechend der gebietsspezifischen Retentionsbedingungen deutlich höher ausfällt und die prozentuale Minderung entsprechend geringer ist. Die Einträge über urbane Flächen werden sich einerseits aufgrund der unterschiedlichen Anschlussgrade in Thüringen ändern, andererseits aufgrund der reduzierten Stickstoffdeposition auch für andere Regionen, jedoch nur in geringfügigem Ausmaß. So ändern sich die Stickstoffeinträge insgesamt über urbane Flächen um rd. 9% gegenüber dem Ausgangszustand.

#### Zu erwartende Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer aufgrund des Baseline Szenarios 2015 (MONERIS)



#### Veränderungen gegenüber 2003 (MONERIS)

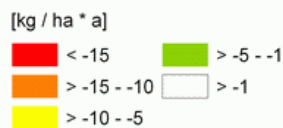
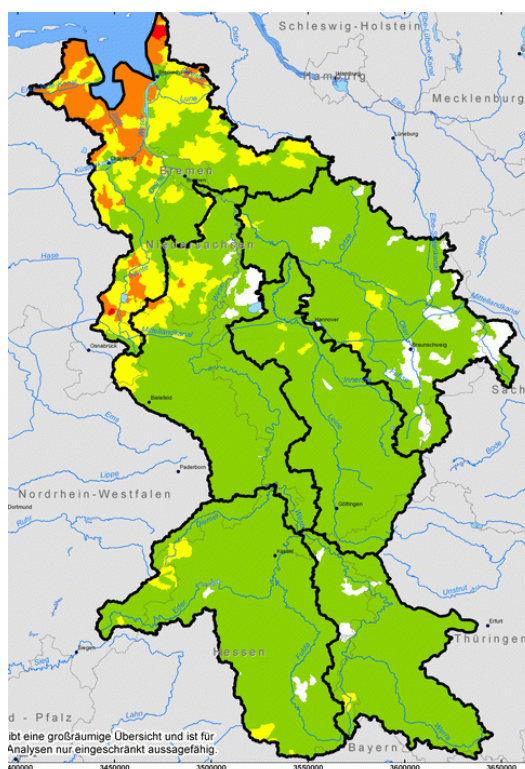


Abb.20: Veränderungen der Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer aufgrund des Baseline Szenarios 2015

Die wesentlichen Veränderungen der diffusen Stickstoffeinträge werden erwartungsgemäß im nord-westlichen Bereich der FGE Weser eintreten. Hier reduzieren sich Werte von mehr 30 kg/ha-a bzw. über 40 kg/ha-a fast flächendeckend 20-30 kg/ha-a. In den südlichen Teilräumen Werra und Fulda/Diemel reduzieren sich die Einträge fast flächendeckend auf <15 kg/ha-a, aber auch die anderen Teilräume zeigen in zahlreichen Teileinzugsgebieten eine Reduzierung um eine Klasse.

Die Nährstoffkonzentrationen in den Hauptläufen werden auf Basis des Baseline Szenarios 2015 in der FGE Weser bei durchschnittlich 4,6 mg N/l und 0,18 mg P/l liegen im Vergleich zu den Berechnungen für das Jahr 2003 mit 5,5 mg N/l und 0,2 mg P/l. Am Pegel Hemelingen wird eine Stickstoffkonzentration von 3,9 mg N/l und am Pegel Reithörne bei 5,9 mg N/l errechnet.

## 11. Handlungsgebiete und Handlungsbedarf

Die prognostizierten Nährstoffbilanzüberschüsse und –einträge aufgrund des Baseline Szenarios 2015 wurden im nächsten Schritt im Hinblick auf die Bewirtschaftungsziele zur Erreichung des guten Zustands der Gewässer nach Art. 4 der EG-WRRL analysiert. Das Bewirtschaftungsziel für den guten Grundwasserzustand ist nach Anhang 1 der Grundwasserrichtlinie (RL 2006/118/EWG) auf 50 mg/l Nitrat im Grundwasser festgelegt. Für die Oberflächengewässer wurden die vorläufig für die FGE Weser festgelegten überregionalen Bewirtschaftungsziele für Phosphor in Binnengewässern auf 0,1 mg P/l und für Stickstoff mit Blick auf den Schutz der Küstengewässer auf 3 mg N/l an den Messstationen Bremen-Hemelingen für die Weser und Reithörne an der Hunte herangezogen (FGG Weser, 2008).

### 11.1. Handlungsgebiete und Handlungsbedarf für den Grundwasserschutz

Die potenziellen Handlungsgebiete sowie der notwendige Handlungsbedarf für ergänzende Maßnahmen zur Erreichung des guten chemischen Zustands im Grundwasser für den Parameter Nitrat wurden mit Hilfe des Modells GROWA/WEKU abgeschätzt. Dazu wurde im Rahmen des Modellvorhabens in erster Näherung das Bewirtschaftungsziel von 50 mg Nitrat/l im Grundwasser auf eine mittlere langjährige Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l übertragen, da die Konzentrationen im Grundwasser im Modell nicht abgebildet werden können. Mit diesem Zielwert ist auf jeden Fall gewährleistet, dass im Grundwasser die Zielgröße weiter unterschritten oder mindestens eingehalten wird.

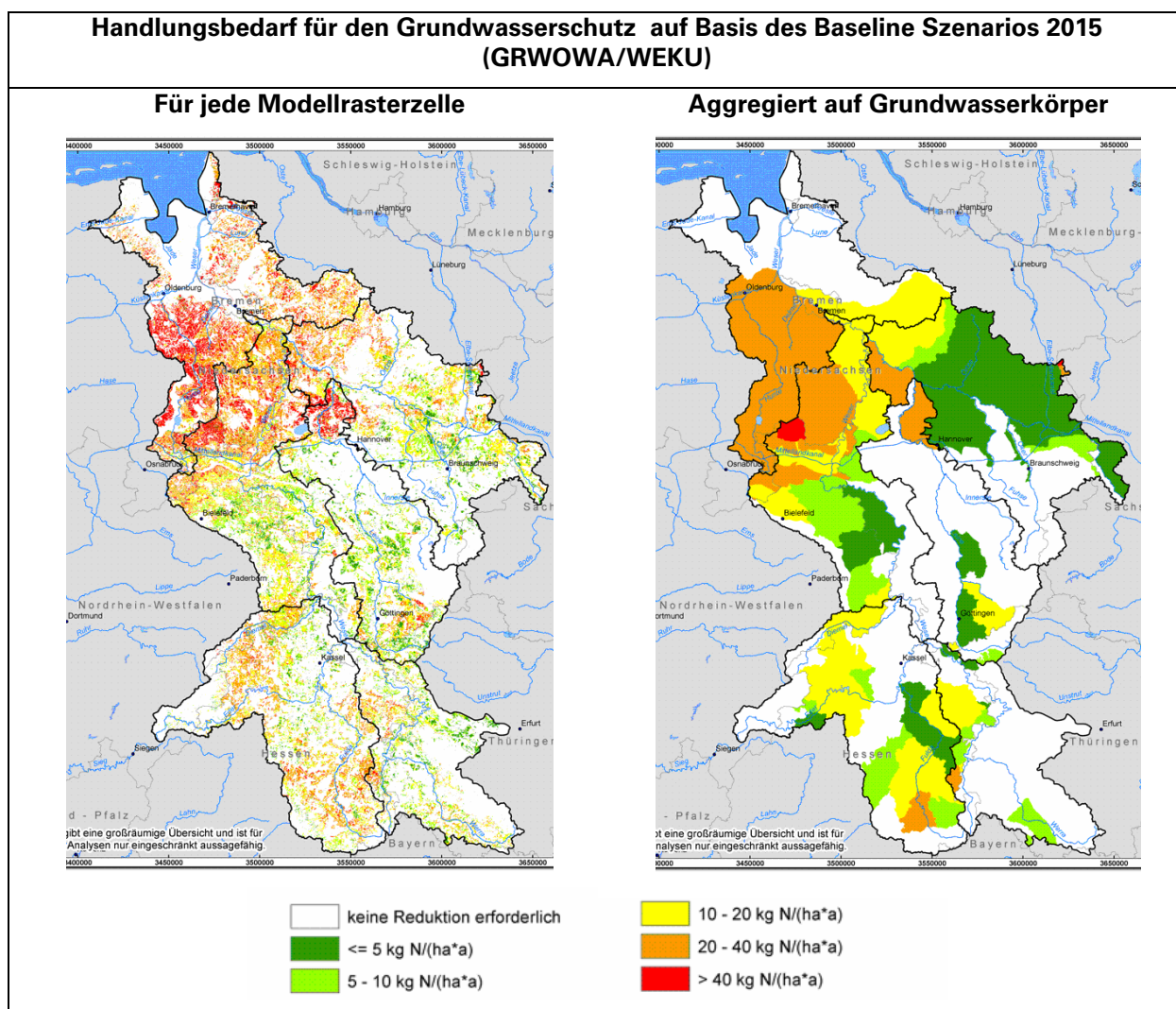


Abb. 21: Handlungsbedarf zur Erreichung einer Sickerwasserkonzentration  $\leq 50$  mg/l Nitrat



Unter der Annahme einer konstanten mittleren Sickerwasserrate und einem konstanten Denitrifikationspotential im Boden ist die Nitratkonzentration im Sickerwasser direkt durch die Höhe der Stickstoffüberschüsse bestimmt. Durch eine „Rückwärtsrechnung“ ist es somit möglich, den maximalen Stickstoffbilanzüberschuss aus der Landwirtschaft zu berechnen, der unter Berücksichtigung der atmosphärischen Deposition, der Stickstoffeinträge in nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen und der Denitrifikation im Boden zu einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l führt. Durch einen Vergleich mit den ausgewiesenen Stickstoffbilanzüberschüssen auf Basis des Baseline Szenarios 2015 konnte daraus der Minderungsbedarf bestimmt werden (Abb. 21). Es wird deutlich, dass auch nach der Aggregierung des Handlungsbedarfs auf die Flächen der Grundwasserkörper in 60 % Grundwasserkörpern noch ein Minderungsbedarf bestehen wird, insbesondere im Nordwesten des Einzugsgebietes mit bis zu über 40 kg N/ha\*a. Dieser hohe Reduktionsbedarf ist ein typischer Wert für viele intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen, insbesondere in Regionen mit flächenunabhängiger Viehproduktion und entsprechend hohem Anfall an Wirtschaftsdünger.

## **11.2. Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele in den Oberflächengewässern**

Da Maßnahmen für den Grundwasserschutz auf ihrem weiterem Fließweg auch Reduzierungen von Nährstoffeinträgen in die Oberflächengewässer zur Folge haben, wurde der weitere Handlungsbedarf auf Basis der Stickstoffbilanzüberschüsse für den guten chemischen Zustands des Grundwassers abgeschätzt. Diese Überschüsse wurden aus den Bilanzüberschüssen des Baseline Szenarios 2015 (Abb. 17) abzüglich des Handlungsbedarfs für das Grundwasser (Abb. 21) errechnet. Die Berechnung hat ergeben, dass sich die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer bei gutem chemischem Grundwasserzustand auf rd. 72.200 t N/a reduzieren. Für Phosphor wurden als Basis die Phosphorbilanzüberschüsse des Baseline Szenarios 2015 herangezogen.

Im Hinblick auf die vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele wird nach einer flächendeckenden Zielvorgabe für den Nährstoff Phosphor für alle Flussabschnitte der Werra, Weser und Fulda und einer punktuellen Zielvorgabe für Stickstoff im Hinblick auf eine Konzentrations- bzw. Frachtreduzierung in den Küstengewässern unterschieden.

Für Phosphor wurde analog zur Vorgehensweise im Grundwasser eine „Rückwärtsrechnung“ für die maximal zulässigen Bilanzüberschüsse vorgenommen. Danach ergibt sich ein Reduzierungsbedarf fast flächendeckend von weniger als 0,5 kg P/ha\*a. Lediglich in Teilbereichen, insbesondere in den Ballungsgebieten können auch Reduzierungen von mehr als 3 mg P/l erforderlich werden, was auch auf einen Reduzierungsbedarf bei Kläranlageneinträgen hindeutet (Abb. 22).

Für Stickstoff wird der Handlungsbedarf als notwendige Frachtreduzierung bzw. Konzentrationsreduzierung an der Einmündung der Weser in die Küstengewässer formuliert. Diese wurde dann auf eine entsprechende Zielkonzentration in den Oberflächenwasserkörpern übertragen, wobei die Retention im Verlauf der Weser bis zur Küste berücksichtigt wurde. Innerhalb der Wasserkörper wurden dann ebenfalls mittels „Rückwärtsrechnung“ die Nährstoffbilanzüberschüsse soweit reduziert, dass die jeweilige Zielkonzentration eingehalten wurde.

Sichtbar wird, dass in Gebieten mit hohen Gesamteinträgen auch ein hoher Reduktionsbedarf vorhanden ist. Ein hoher Reduktionsbedarf ist einerseits in Gebieten mit hohen Stickstoffbilanzüberschüssen bzw. hohen Drainageflächenanteilen zu erkennen, andererseits zeigen Teileinzugsgebiete mit hohem Eintrag aus kommunalen und industriellen Einleitern einen hohen Reduktionsbedarf, was ebenfalls auf einen Reduzierungsbedarf bei Kläranlageneinträgen hindeutet (Abb. 23).



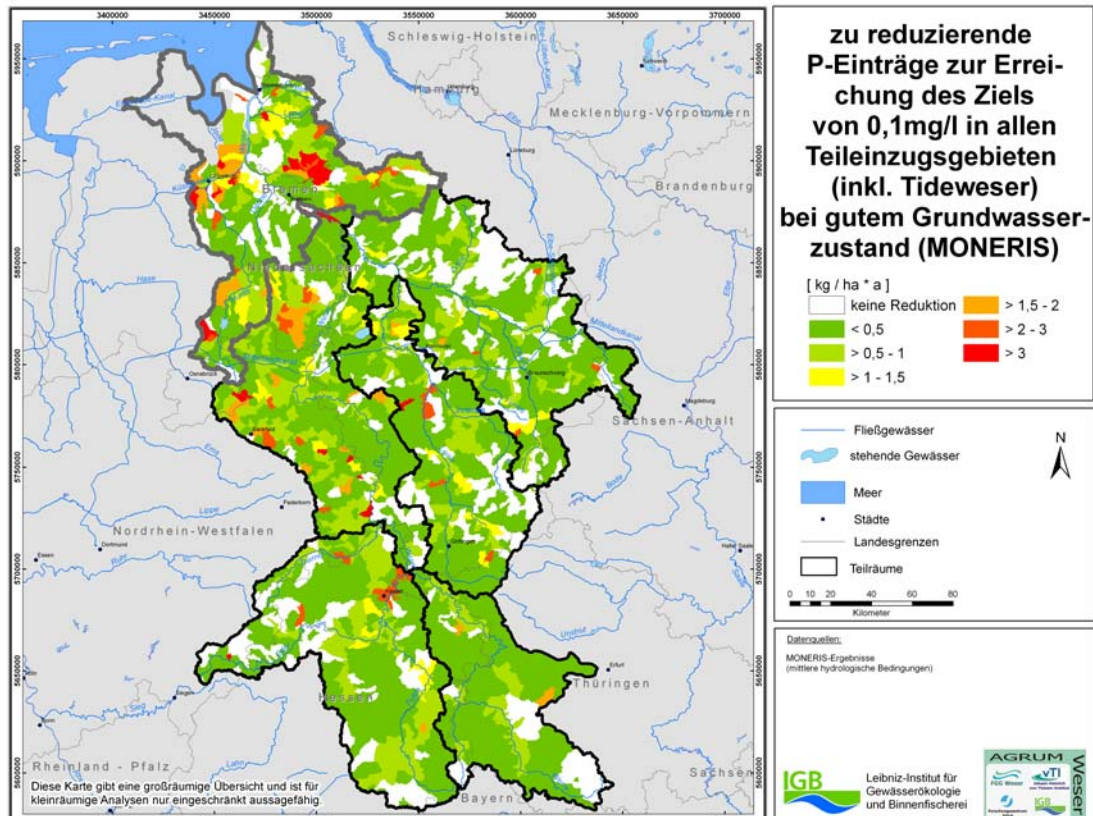


Abb. 22: Handlungsbedarf zur Erreichung des vorläufigen Bewirtschaftungsziels nach EG-WRRL für Phosphor

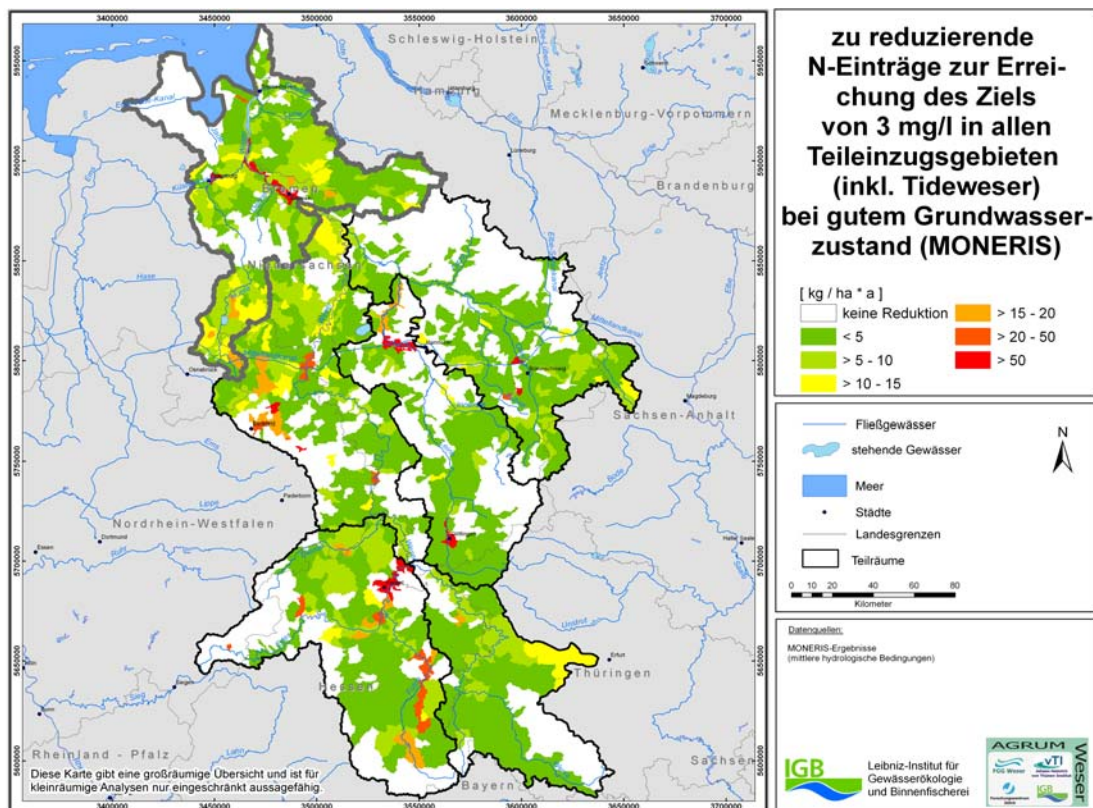


Abb. 23: Handlungsbedarf zur Erreichung des vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziels nach EG-WRRL für Stickstoff

## 12. Analyse von Maßnahmenzenarien zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele

Die Modellanalysen zum Ausgangszustand und zum Baseline Szenario haben gezeigt, dass zwar insgesamt eine weitere Reduzierung der Nährstoffbilanzüberschüsse erwartet werden kann, diese aber nicht ausreichen wird, um alle Wasserkörper in einen guten Zustand zu versetzen. Neben der zeitlichen Verzögerung der Wirkung der allgemeinen agrarpolitischen Maßnahmen und der sonstigen Einflüsse reichen diese auch unter Berücksichtigung der Wirkungsverzögerung nicht aus, um die vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele der EG-WRRL flächendeckend zu erreichen. Es sind vielmehr regional sehr unterschiedlich zusätzliche ergänzende Maßnahmen zur Erreichung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele der EG-WRRL zu ergreifen.

### 12.1. Maßnahmenkatalog und Auswahl geeigneter Maßnahmen

Im Rahmen einer Untersuchung am Institut für Ländliche Räume des vTI wurde eine ausführliche Literaturrecherche der ökologischen Wirksamkeit und Eignung von technisch-organisatorischen Wasserschutzmaßnahmen vorgenommen und veröffentlicht (Osterburg et al., 2007). In der Veröffentlichung wurden 45 Maßnahmen anhand von Steckbriefen nach folgenden Kriterien beschrieben:

- Name und Kategorie
- Zielsetzung
- Beschreibung
- Referenzsituation
- Bewertung/Standorteignung
- Entgeld
- Minderungspotential
- Kostenwirksamkeit
- Umsetzbarkeit
- Sonstige ökologische Wirkungen

Mit diesen Informationen können für jede Gemeinde die für die jeweiligen Standortbedingungen und landwirtschaftlichen Randbedingungen geeigneten Maßnahmen bestimmt werden.

Im Rahmen des Modellvorhabens wurden aus diesem Maßnahmenkatalog acht Maßnahmen mit hohem Minderungspotenzial, hoher Kostenwirksamkeit und hoher Akzeptanz ausgewählt, mit Hilfe derer der notwendige Handlungsbedarf abgedeckt werden kann (Tab. 5). Die Auswirkungen und Kosten einer „Zusatzberatung“ bzw. „Fortbildung der Landwirte“ war nicht Untersuchungsgegenstand des Projektes. Gleichwohl zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass die Zusatzberatung eine wichtig Begleitmaßnahme sowohl zur Düngeplanung als auch zur Vermarktung der freiwilligen Agrarumweltmaßnahmen ist. So wird durch eine Zusatzberatung die Akzeptanz in den Maßnahmenangeboten erhöht. Zusatzberatung bewirkt über die eigentlichen vertraglich vereinbarten Maßnahmen hinaus eine Steigerung der N-Effizienz. Gemeinsam mit dem Berater können die für den jeweiligen Betrieb am besten geeigneten Maßnahmekombinationen ausgewählt und die Umsetzungsqualität der einzelnen Maßnahmen gesteigert werden.

Tab. 5: Maßnahmenkatalog für das Modellvorhaben AGRUM Weser

Maßnahme	Reduzierungswirkung kg N/ha	Kosten	
		(€/ha)	€/kg N
Zwischenfruchtanbau	20	80	4
Anbau von Winterrübsen	10	60	6
Förderung von Extensivkulturen	40	70	1,8
Grünlandextensivierung	30	100	3,3
Reduzierte Mineraldüngung bei Getreide	30	80	2,7
Grundwasser schonende Ausbringungstechnik Gülle und Festmist	15	25	1
Keine Wirtschaftsdüngerausbringung nach Ernte	15	15	1
Ökologischer Landbau	60	170	2,8

Zur flächendifferenzierten Auswahl von Maßnahmen wurde der von den hydrologischen Modellen ermittelte Handlungsbedarf auf Gemeindeflächen übertragen und der ausgewiesene Handlungsbedarf mit der Standorteignung und der Wirksamkeit der ausgewählten Maßnahmen abgeglichen. Dabei hat sich ergeben, dass die erforderlichen Reduzierungen innerhalb einer Gemeinde nicht durch eine einzelne Maßnahme zu erreichen ist, sondern dass immer geeignete Maßnahmenkombinationen entwickelt werden müssen. Zunächst wurde das maximal mögliche Reduktionspotenzial einer jeden Maßnahme regional differenziert in Abhängigkeit der maßnahmenspezifischen Anforderungen abgeschätzt. In einem zweiten Schritt wurde dem maximal möglichen Reduktionsumfang aller Maßnahmen der notwendige Reduktionsumfang gegenübergestellt und somit der notwendige regionale Maßnahmenumfang ermittelt. Bei dieser Vorgehensweise wurden alle Maßnahmen mit Ausnahme des ökologischen Landbaus berücksichtigt. Der ökologische Landbau wurde zunächst nicht mit einbezogen, weil sich die Ausdehnung dieser Bewirtschaftungsweise nicht einfach berücksichtigen ließ. Lediglich in den Regionen, in denen die Ausschöpfung des Reduktionspotenzials der anderen Maßnahmen nicht ausreicht, wurde aus diesem Grund ergänzend der Umfang des ökologischen Anbaus ermittelt, der notwendig ist, um die Bewirtschaftungsziele zu erreichen.

## 12.2. Maßnahmenzenario Grundwasserschutz

In Kapitel 11.1 wurden potenzielle Handlungsgebiete abgegrenzt, die sich ergeben, wenn eine Nitratkonzentration im Grundwasser von unter 50 mg/l nachhaltig garantiert werden soll. Analysen mit dem Modell GROWA/WEKU weisen einen Reduktionsbedarf von insgesamt rund 21.000 Tonnen Stickstoff pro Jahr für alle Regionen (Gemeinden bzw. Landkreise) aus. Die Analyse des dafür notwendigen Maßnahmenumfangs hat ergeben, dass auf ca. 1 Mio. ha Maßnahmen mit einem Kostenumfang von ca. 74 Mio. €/a notwendig sind, um den guten chemischen Grundwasserzustand in Bezug auf Nitrat zu erreichen. In rd. 7 % der Gemeinden ist ohne Ausweitung des ökologischen Landbaus das Ziel nicht zu gewährleisten.

Bezogen auf die Bundesländer entfallen rund 72 % der Maßnahmenumfänge auf den niedersächsisch/bremischen Teil der FGE Weser, etwa 17 % auf Nordrhein-Westfalen und rund 10 % auf den hessischen Teil der FGE Weser (Tab. 6). Die Kosten teilen sich zu 73 % auf Niedersachsen( einschl. Bremen), 17 % auf Nordrhein-Westfalen und knapp 10 % auf Hessen auf. 1,5 % der Mittel sind von den neuen Bundesländern der FGE Weser aufzuwenden (Tab. 7).

Tab. 6: Maßnahmenumfang zur Erreichung des guten chemischen Grundwasserzustandes (RAUMIS)

<b>Maßnahmen- umfang [ha]</b>	Zwi- schenfru- cht -anbau	Reduzier- te Mine- raldün- gung in Getreide	Anbau von Winter- rüb- sen	Grund- wasser scho- nende Ausbrin- gungste- chnik	Kein Wirt- schafts- dünger nach Ernte	Förde- rung von Exten- sivkultu- ren	Grün- land- extensi- vierung	Ökolo- gischer Landbau	Summe
NI/HB	237.700	114.100	97.500	64.500	92.000	45.900	60.500	69.500	781.700
NW	66.300	29.800	26.100	15.900	9.700	15.100	8.800	12.200	183.900
HE	40.300	19.100	15.500	16.100	1.200	13.000	14.700	1.000	120.900
ST	600	200	200	100	0	200	100	0	1.400
TH	4.700	1.900	1.500	1.700	0	1.300	2.300	0	13.400
<b>Gesamt</b>	<b>349.600</b>	<b>165.200</b>	<b>140.800</b>	<b>98.300</b>	<b>102.900</b>	<b>75.400</b>	<b>86.500</b>	<b>82.600</b>	<b>1.101.300</b>

Die Maßnahmen Zwischenfruchtanbau sowie reduzierte Mineraldüngung bei Getreide haben mit rund 350.000 ha bzw. 165.000 ha den größten Flächenumfang. Einen geringen Flächenumfang hat mit rund 83.000 ha der ökologische Anbau. Dennoch hat der ökologische Anbau zusammen mit der Maßnahme „Reduzierte Mineraldüngung bei Getreide“ mit jeweils 5.000 t/a Stickstoffreduzierung die höchste Wirkung aller untersuchten Maßnahmen. In den Regionen mit hoher Viehbesatzdichte im Norden der FGE Weser ist die Maßnahme „keine Wirtschaftsdünger nach der Ernte“ ein relativ wichtiges Instrument um die Grundwasserziele zu erreichen.



Tab. 7: Gesamtkosten der Maßnahmen zur Erreichung des guten chemischen Grundwasserzustands (RAUMIS)

Maßnahmen- umfang [€/a]	Zwi- schen- frucht- -anbau	Reduzier- te Mine- ral- düngung in Ge- treide	Anbau von Winter- rübsen	Grund- wasser scho- nende Ausbrin- gungs- technik	Kein Wirt- schafts- dünger nach Ernte	Förde- rung von Exten- sivkultu- ren	Grün- land- extensi- vierung	Ökolo- gischer Landbau	Summe
NI/HB	19.018.000	9.132.000	5.849.000	1.935.000	1.380.000	3.211.000	84.000	11.811.000	52.420.000
NW	5.301.000	2.385.000	1.564.000	477.000	146.000	1.060.000	47.000	2.073.000	13.053.000
HE	3.226.000	1.529.000	931.000	482.000	17.000	908.000	286.000	162000	7.541.000
ST	45.000	19.000	14.000	4.000	0	12.000	8.000	0	102.000
TH	376.000	152.000	91.000	52.000	0	89.000	230000	0	990.000
<b>Gesamt</b>	<b>27.970.000</b>	<b>13.220.000</b>	<b>8.450.000</b>	<b>2.950.000</b>	<b>1.540.000</b>	<b>5.280.000</b>	<b>660.000</b>	<b>14.050.000</b>	<b>74.110.000</b>

Der regionale Umfang sowie die Zusammensetzung der Maßnahmenkombination ist sehr unterschiedlich (Abb. 24). Erwartungsgemäß muss in den Regionen mit hoher Belastung ein relativ hoher Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Maßnahmen versehen werden. Dieser Anteil kann in einigen Regionen auch über 100 % der vorhandenen Landwirtschaftsfläche liegen, weil bei den Berechnungen der Maßnahmenkombinationen zugelassen wurde, dass auf einer Fläche mehrere Maßnahmen realisiert werden können, sofern sie dafür geeignet sind.

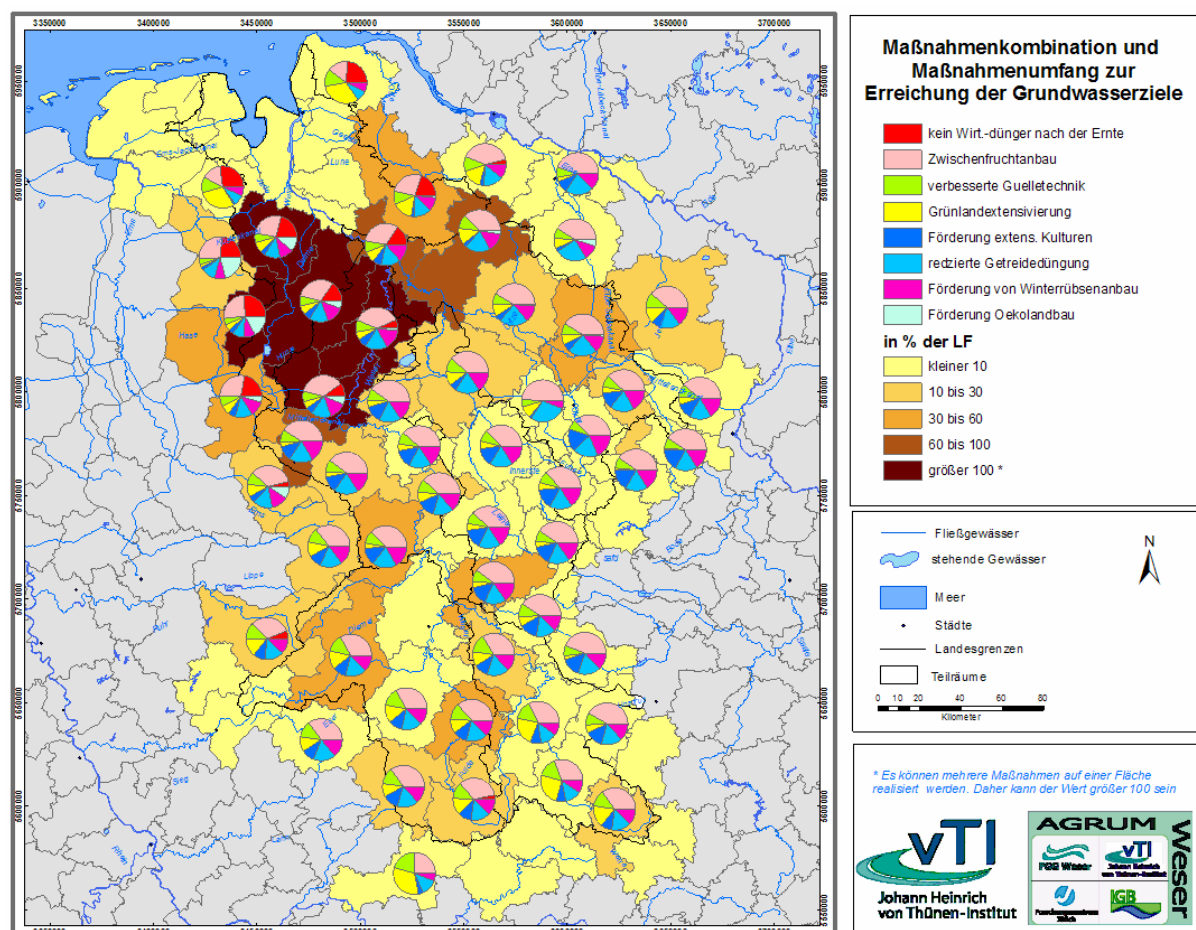


Abb. 24: Maßnahmenkombinationen und Maßnahmenumfang zur Erreichung des guten chemischen Grundwasserzustands



### 12.3. Maßnahmenzenario Oberflächengewässer

Ausgehend von einem guten chemischen Grundwasserzustand ist für Zielerreichung in den Oberflächengewässern ein weiterer Handlungsbedarf von rd. 5.500 t Stickstoff abgeschätzt worden. Hierzu sind weitere Maßnahmen in einem Umfang von rund 270.000 ha notwendig. Dies entspricht rd. 25 % des Maßnahmenumfangs für den Grundwasserschutz.

Rund 45 % der Maßnahmen fallen auf Niedersachsen/Bremen, 20 % auf Hessen, 15 % auf Thüringen, 14 % auf Nordrhein-Westfalen und rund 6 % auf Sachsen-Anhalt (Tab. 8). In etwa 6 % aller Gemeinden kann das Ziel für die Oberflächengewässer voraussichtlich nicht ohne eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus erreicht werden.

Tab. 8: Maßnahmenumfang zur Erreichung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele Nach EG-WRRL in den Oberflächengewässern (RAUMIS)

Maßnahmen- umfang [ha]	Zwi- schen- frucht -anbau	Reduzier- te Mine- ral- düngung in Ge- treide	Anbau von Winter- rübsen	Grund- wasser scho- nende Ausbrin- gungs- technik	Kein Wirt- schafts- dünger nach Ernte	Förde- rung von Exten- sivkultu- ren	Grün- land- extensi- vierung	Ökolo- gischer Landbau	Summe
NI/HB	41.000	19.700	17.200	9.700	2.500	12.900	5.700	10.000	118.700
NW	12.100	5.700	5.100	3.100	100	3.600	1.600	3.700	35.000
HE	20.200	9.500	8.100	7.300	300	7.100	5.600	2.200	60.300
ST	6.200	2.600	2.500	1.400	0	2.200	600	0	15.500
TH	16.300	6.400	5.100	4.800	0	5.000	5.200	0	42.800
<b>Gesamt</b>	<b>95.900</b>	<b>44.000</b>	<b>38.000</b>	<b>26.300</b>	<b>2.900</b>	<b>30.900</b>	<b>18.600</b>	<b>15.900</b>	<b>272.500</b>

Tab. 9: Gesamtkosten der Maßnahmen zur Erreichung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele Nach EG-WRRL in den Oberflächengewässern (RAUMIS)

Maßnahmen- umfang [€/a]	Zwi- schen- frucht -anbau	Reduzier- te Mine- ral- düngung in Ge- treide	Anbau von Winter- rübsen	Grund- wasser scho- nende Ausbrin- gungs- technik	Kein Wirt- schafts- dünger nach Ernte	Förde- rung von Exten- sivkultu- ren	Grün- land- extensi- vierung	Ökolo- gischer Landbau	Summe
NI/HB	3.283.000	1.578.000	1.035.000	290.000	38.000	906.000	52.000	1.706.000	8.888.000
NW	969.000	456.000	304.000	92.000	1.000	253.000	13.000	632.000	2.720.000
HE	1.613.000	762.000	485.000	218.000	5.000	497.000	250.000	370.000	4.200.000
ST	498.000	211.000	150.000	44.000	0	158.000	50.000	0	1.111.000
TH	1.308.000	511.000	307.000	146.000	0	350.000	398.000	0	3.020.000
<b>Gesamt</b>	<b>7.670.000</b>	<b>3.520.000</b>	<b>2.280.000</b>	<b>790.000</b>	<b>40.000</b>	<b>2.160.000</b>	<b>760.000</b>	<b>2.710.000</b>	<b>19.940.000</b>

Für den Schutz der Oberflächengewässer sind nach den Berechnungen insgesamt rund 20 Mio. € notwendig, um ausgehend von einem flächendeckend guten Grundwasserzustand die vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele für die Oberflächengewässer zu erreichen (Tab.9). Die regionale Aufteilung der Maßnahmenkosten entspricht in etwa der regionalen Aufteilung der Maßnahmenumfänge. Mit etwa 9 Mio. € fällt der größte Teil der Maßnahmenkosten auf Niedersachsen. Rund 4 Mio. € werden für Hessen notwendig sein, auf Thüringen und Sachsen-Anhalt entfallen insgesamt ebenfalls rd. 4 Mio. €.

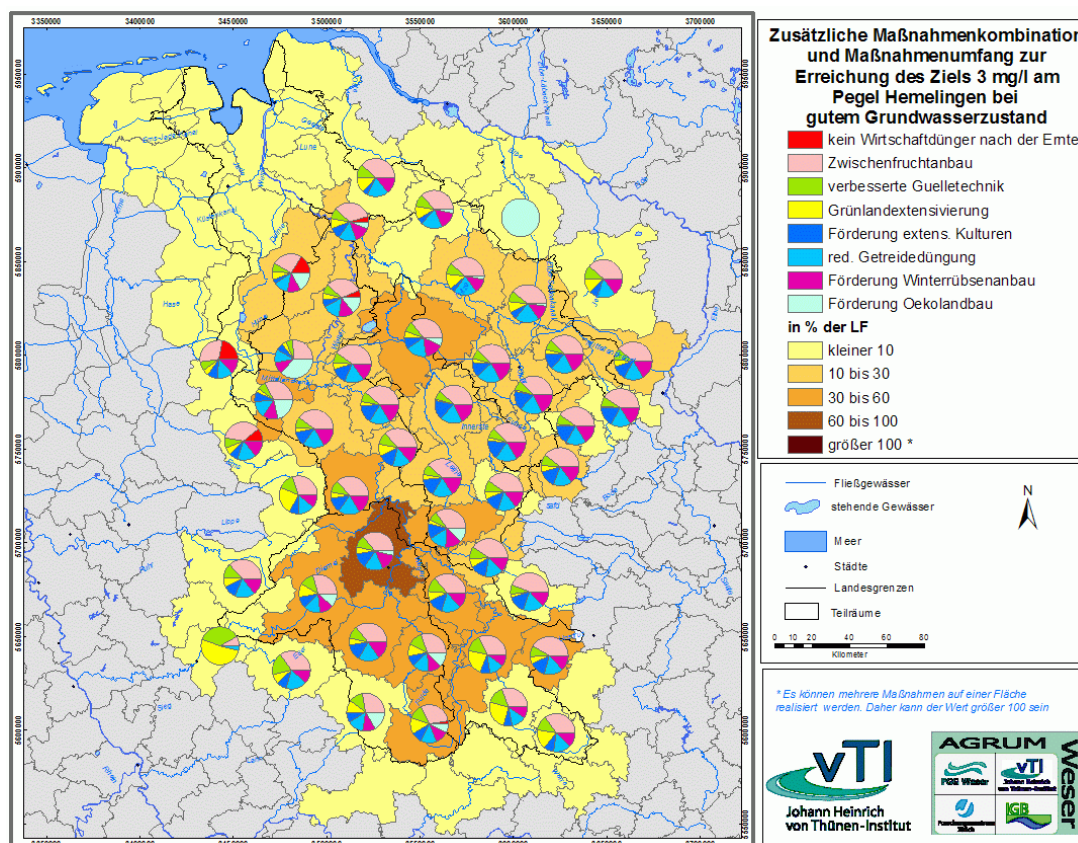


Abb. 25: Maßnahmenkombination und Maßnahmenumfang zur Erreichung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele in den Oberflächengewässern der FGE Weser.

## 13. Validierung der Modellergebnisse

### 13.1. Wasserhaushalt

Um die Validität der Wasserhaushaltsmodellierung beurteilen zu können, wurde am Beispiel der mittleren Gesamtabflusshöhen sowie der Grundwasserneubildungshöhen ein Vergleich mit gemessenen Abflüssen in täglicher Auflösung durchgeführt. Hierzu wurden aus den Messdaten mittlere jährliche Abflüsse sowie mittlere jährliche Trockenwetterabflüsse bestimmt. Im nördlichen Teil der FGE Weser wurden aufgrund des Tideinflusses keine Pegel zur Validierung der berechneten Abflusshöhen herangezogen. Der Vergleich der gemessenen Gesamtabflusshöhen von den 68 Pegeln mit den Modellergebnissen hat ergeben, dass bei 23 Pegeln Abweichungen von weniger als 10 % vorlagen. Bei weiteren 37 Pegeln lagen die absoluten Abweichungen unter 25 %. Lediglich 8 der 68 Pegel wiesen größere Abweichungen auf, wobei in einem Fall der mittlere gemessene Abfluss unterschätzt wurde. An den Pegeln mit Abweichungen über 25 % lagen einheitliche Überschätzungen des gemessenen mittleren Abflusses vor. Ursachen hierfür können z. B. hohe Entnahmen zur Trinkwasserversorgung oder für industrielle Zwecke sein. Angesichts der insgesamt guten Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen wurden die Modellergebnisse zur mittleren Gesamtabflusshöhe als valide angesehen.

### 13.2. Diffuse Nitrateinträge in die Oberflächengewässer (GROWA/WEKU)

Für die Validierung der vom Modell GROWA/WEKU modellierten mittleren langjährigen diffusen Nitrateinträge in die Oberflächengewässer standen für das Einzugsgebiet langjährige pegelbezogene

Messwerte (Abflussmenge und Nitratkonzentration) von 41 Teileinzugsgebieten zur Verfügung. Eine direkte Validitätsüberprüfung der modellierten Werte anhand der im Oberflächengewässer gemessenen Frachten oder Konzentrationen war jedoch unmöglich, da hierzu die Stickstoffeinträge aus Punktquellen sowie die Retention im jeweiligen Oberflächengewässer hätten berücksichtigt werden müssen. Die vom Forschungszentrum Jülich modellierten Nitratreinträge in die Oberflächengewässer beziehen sich jedoch lediglich auf die Einträge über den Direktabfluss und den Grundwasserabfluss. Daher wurden Stickstoffeinträge über Punktquellen sowie die gewässerinterne Retention vom Modell MONERIS mit herangezogen und mit den beobachteten Werten im Gewässer verglichen. Die Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Stickstofffrachten war zufriedenstellend, was auch das Bestimmtheitsmaß von  $r^2=0,99$  widerspiegelt.

### 13.3. Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer (MONERIS)

Für die Validierung der Modellergebnisse aus MONERIS wurden die berechneten Stickstofffrachten mit den auf Grundlage der gemessenen Gewässergüte- und Abflussdaten ermittelten Frachten verglichen. Die Stickstoff-Werte lagen fast vollständig innerhalb einer Abweichung von  $\pm 30\%$ , einige wenige Werte lagen jedoch recht dicht daran. Für Phosphor zeigte sich eine etwas höhere Streuung, die aber vor allem in kleineren Einzugsgebieten mit geringen Frachten vorkam. Die Abweichungen betrugen für Stickstoff ca.  $22,5\%$  bei einem Bestimmtheitsmaß von  $r^2=0,99$  und für Phosphor  $30\%$  bzw.  $r^2=0,98$ . Damit wurden auch für das Modell MONERIS die Modellergebnisse als zufriedenstellend angesehen.

## 14. Zusammenfassung

Ziel des Modellvorhabens war die Entwicklung einer flussgebietsweit einheitlichen Methodik zur Analyse der Nährstoffsituation. Dies sollte mit Hilfe eines Modellverbunds geschehen, um die Entwicklung der Nährstoffbelastungen in den Oberflächengewässern und im Grundwasser grob abzuschätzen sowie Wirkungsanalysen von Nährstoffminderungsmaßnahmen durchzuführen. Durch eine Kombination von Ansätzen zur Quantifizierung der Einträge aus punktförmigen und diffusen Quellen mit Wirtschaftlichkeitsanalysen sollte der Modellverbund dazu in der Lage sein, die vielfältigen, komplexen sozioökonomischen sowie hydrologischen und hydrogeologischen Wechselwirkungen und Zusammenhänge simultan zu berücksichtigen. Im Vordergrund standen hierbei integrative Modellanalysen zur Bewertung von Minderungsmaßnahmen der Landwirtschaft im Hinblick auf die Erreichung von vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungszielen im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-WRRL.

Die Analyse der Nährstoffbilanz erfolgte in 4 Schritten:

- Abbildung der Nährstoffsituation für den Ausgangszustand 2003 einschließlich einer Betrachtung der Entwicklung der Nährstoffbilanzüberschüsse seit 1990,
- Analyse der Auswirkungen des Baseline Szenarios 2015,
- Abschätzung von Handlungsgebieten und des Handlungsbedarfs zur Erreichung der Umweltqualitätsnorm für Nitrat auf Basis des Baseline Szenarios 2015 sowie Auswahl geeigneter Maßnahmen,
- Abschätzung von Handlungsgebieten und des Handlungsbedarfs zur Erreichung vorläufiger überregionaler Bewirtschaftungsziele für die Oberflächengewässer auf Basis eines guten chemischen Grundwasserzustands sowie Auswahl geeigneter Maßnahmen.

Die Analysen haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

Die Nährstoffbilanzüberschüsse sind seit 1990 erheblich zurückgegangen, wobei gravierende regionale Unterschiede bestehen. Ursache hierfür ist eine effektivere Bewirtschaftung durch sinkenden Düngemiteleinsatz bei steigenden Erträgen. Reduzierter Einsatz von organischen Düngemitteln ist auf sinkende Viehbestände zurückzuführen. Die für den Stickstoffeintrag relevanten Nitratabbauraten im Boden weisen regional bedeutende Unterschiede auf. Hohe Abbauraten ergeben sich vor allem im

nördlichen Flachland der FGE Weser, demgegenüber stehen geringere Abbauraten in den südlichen Festgesteinsbereichen. Hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser finden sich für die Ausgangssituation 2003 in den viehstarken Regionen. In den meisten Regionen des Einzugsgebietes errechnen sich Sickerwasserkonzentrationen von 50 mg Nitrat/l und mehr. Aufgrund des hohen Nitratabbauvermögens und der geringen Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers im gesamten Norddeutschen Tiefland der FGE Weser wird nahezu das gesamte in das Grundwasser eingetragene Nitrat auf dem Weg zum Vorfluter abgebaut. Dies gilt nicht für die über Grundwasser und Staunässe beeinflussten Standorte, bei denen Dränagen von Bedeutung sind. Die Verweilzeiten im Grundwasser können bis zu mehrere Jahrzehnte betragen. Die simulierten Stickstoffeinträge über den Oberflächenabfluss, Interflow und Dränagen sind insbesondere in den Festgesteinsregionen und in den künstlich entwässerten Niederungsregionen im Westteil der FGE Weser hoch und betragen ca. 75% des gesamten diffusen Stickstoffeintrags in die Oberflächengewässer. Die Einträge über den Grundwasserpfad in die Oberflächengewässer sind dagegen gering und finden überwiegend im Festgesteinsbereich statt. Hohe Nährstoffkonzentrationen der Hauptläufe in der Ausgangssituation 2003 führen zu einer deutlichen Überschreitung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele der FGG Weser für N und P.

Bis zum Zieljahr 2015 ist nach den Modellrechnungen aufgrund des Baseline Szenarios 2015 insgesamt eine Reduzierung der landwirtschaftlichen Nährstoffbilanzüberschüsse erwartbar. Aufgrund vielfältiger Anpassungsmöglichkeiten sind die Auswirkungen der Düngeverordnung schwer quantifizierbar. Sie werden sich aber erwartungsgemäß besonders in viehstarken Regionen auswirken. Es werden relativ hohe Reduzierungen der Nitratkonzentration im Sickerwasser im durch intensive Viehhaltung geprägten Westteil der FGE Weser erwartet, allerdings bei einem hohen Ausgangswert 2003 und immer noch recht hohen Werten aufgrund des Baseline Szenarios. Gegenüber dem Ausgangsjahr 2003 wird aufgrund des Baseline Szenarios mit einer Reduzierung der Stickstofffrachten in die Küstengewässer von ca. 17% gerechnet.

Trotz der positiven Entwicklungen aufgrund des Baseline Szenarios ist ein weiterer Minderungsbedarf notwendig, um die Grundwasserziele zu erreichen. Die notwendigen Reduktionen zur Erreichung der Grundwasserziele reichen nicht aus, um gleichzeitig die vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele der Oberflächengewässer zu erreichen. Aufgrund der hohen Verweilzeiten im Grundwasser wird selbst eine Fristverlängerung bis 2027 voraussichtlich nicht ausreichen, um die Ziele nach Grundwasserrichtlinie zu erreichen. Zur Erreichung der vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele für die Küstengewässer ist ausgehend vom guten chemischen Zustand des Grundwassers für Nitrat eine weitere Frachtreduzierung um ca. 14% notwendig.

Nur auf die jeweilige Region zugeschnittene Maßnahmenkombinationen können zu einer nachhaltigen Lösung des Nitratproblems beitragen. Insgesamt sind über das Baseline Szenario 2015 hinaus ergänzende Maßnahmen auf voraussichtlich ca. 1,4 Mio. ha landwirtschaftlich genutzte Fläche notwendig, um die vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele nach EG-WRRL zu erreichen. Die dafür notwendigen geschätzten Gesamtkosten werden sich auf ca. 94 Mio. €/a bzw. 67 €/ha belaufen. In geschätzten 7 % der Gemeinden reichen nach den Modellrechnungen die untersuchten Maßnahmen nicht aus, um das Grundwasserziel und die vorläufigen überregionalen Ziele für die Oberflächengewässer zu erreichen. In Ergänzung hierzu müssten weitere Anstrengungen unternommen werden z.B. durch die Ausdehnung des ökologischen Landbaus, eine weitere Reduzierung der Viehbestände und/oder durch den verstärkten Export von Nährstoffen aus den entsprechenden Regionen.

## 15. Fazit

Der integrative Ansatz der Betrachtung von Nährstoffbelastungen, -emissionen und -frachten im gesamten Fließsystem der FGE Weser ist mit Hilfe der Modellkopplung umgesetzt worden. Die Ergebnisse geben flächendifferenzierte Auskünfte über die Nährstoffsituation in der gesamten Flussgebietseinheit. Auswirkungen von Agrarumweltmaßnahmen auf die Nährstoffeinträge können grob quantifiziert und für unterschiedliche zukünftige Randbedingungen des Agrarsektors prognostiziert werden. Darüber können die Kosten für die Umsetzung der Maßnahmen abgeschätzt werden. Die



Analyse von Fließzeiten im Grundwasser gibt Hinweise auf die zeitliche Wirkungsweise von Agrarumweltmaßnahmen und zeigen eindeutig, dass die Bewirtschaftungsziele allein aus hydrologischen Gründen nicht bis 2015 zu erreichen sind. Selbst nach theoretischer Erreichung des guten Grundwasserzustands sind darüber hinaus weitere ergänzende Maßnahmen zur Erreichung der vorläufigen Bewirtschaftungsziele in den Oberflächengewässern und im Küstengewässer notwendig.

Die Ergebnisse beruhen auf einer gemeinsamen Diskussion von Wasserwirtschaft und Landwirtschaft. Für die Ableitung von Maßnahmen zur Erfüllung der überregionalen Bewirtschaftungsziele für Nährstoffe liefert das Projekt wertvolle Ansätze. Für den Umsetzungsprozess erscheint eine noch klarere Abgrenzung der landwirtschaftlichen von den sonstigen Eintragsquellen, insbesondere der Einträge über Kläranlagen erforderlich, um verursacherbezogene Maßnahmen planen und umsetzen zu können.

## 16. Literatur

AGRARBERICHT DER BUNDESREGIERUNG 2004, 2005 und 2006

BEHRENDT, H.; HUBER, P.; LEY, M.; OPITZ, D.; SCHMOLL, O.; SCHOLZ, G. & UEBE, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. UBA-Texte 79/99. Berlin.

BEHRENDT, H.; BACH, M.; KUNKEL, R.; OPITZ, D.; PAGENKOPF, W.-G.; SCHOLZ, G. & WENDLAND, F. (2003b): Quantifizierung der Nährstoffeinträge der Flussgebiete Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Vorgehens. UBA-Texte 82/03, 201 S.

BEHRENDT, H., KORNMILCH, M., OPITZ, D., SCHMOLL, O. & SCHOLZ, G. (2002): Estimation of the nutrient inputs into river systems - experiences from German rivers. Regional Environmental Changes 3, 107-117.

BMU (2006a): Wasserrwirtschaft in Deutschland. Teil 1 – Grundlagen

BMU (2006b): Wasserrwirtschaft in Deutschland. Teil 2 – Gewässergüte

BMU (2004): Bericht gemäß Art. 10 der Richtlinie 91/676/EWG (Nitratbericht), August 2004

DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (Hrsg.) (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserrpolitik. –ABl. Nr. L 327.

Der Rat der Europäischen Union (Hrsg.) (2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung, 12.12.2006

DEUTSCHER BUNDESTAG (2004): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004, Teil I, Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 31. Juli.

DEUTSCHER BUNDESTAG (2006): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) vom 10.01.2006, (BGBl. I S.22), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 6. Februar 2009 (BGBl. I S. 153)

FGG WESER (2005): Bewirtschaftungsplan Flussgebietseinheit Weser – Bestandsaufnahme 2005. [http://www.fgg-weser.de/wrrl/bericht\\_2005.html](http://www.fgg-weser.de/wrrl/bericht_2005.html)

FGG Weser (2008): Bewirtschaftungsplan Flussgebietseinheit Weser – Entwurf des Bewirtschaftungsplans 2009 [http://www.fgg-weser.de/bewirtschaftungsplan2009\\_entwurf.html](http://www.fgg-weser.de/bewirtschaftungsplan2009_entwurf.html)

FREDE, H.-G. (2003): Phosphorbilanz Deutschlands. Informationstag zur Phosphordüngung 27. November 2003, Braunschweig.

GAUGER, TH.; HAENEL, H.-D.; RÖSEMANN, C.; DÄMMGEN, U.; BLEEKER, A.; ERISMAN, J.W.; VERMEULEN, A.T.; SCHAAP, M.; TIMMERMANNS, R.M.A.; BUILTJES, P.J.H.; DUYZER, J.H.; NAGEL, H.-D.; BECKER, R.; KRAFT, P.; SCHLUTOW, A.; SCHÜTZE, G.; WEIGELT-KIRCHNER, R.; ANSHELM, F. (2008): Erfüllung der Zielvorgaben der UNECE-Luftreinhaltekonzvention (Wirkungen). Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben FKZ 204 63 252. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, gefördert vom Bundesministerium f. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Dessau-Rosslau.

KREINS, PETER, GÖMANN, HORST UND HENRICHSMEYER, WILHELM (2002): Auswirkungen der Vorschläge der EU-Kommission im Rahmen der Agenda 2000 Halbzeitbewertung auf Produktion, Faktoreinsatz und Einkommen der deutschen Landwirtschaft - Modellanalysen auf der Grundlage des Agrarsektormodells RAUMIS. In Agra-Europe 29.7.2002 Nr. 31, Sonderbeilage

KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1997): WEKU - A GIS supported stochastic model of groundwater residence times in upper aquifers for the supraregional groundwater management. *Envir. Geol.*, 30(1/2), 1-9.

KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (2002): The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins – the river Elbe case study. *Journal of Hydrology* 259, 152-162.

OSTERBURG, B. & RUNGE, T. (HRSG.) (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 307.

TETZLAFF, B., KUHR, P. U. WENDLAND, F. (2008,a): Ein neues Verfahren zur differenzierten Ableitung von Dränflächenkarten für den mittleren Maßstabsbereich auf Basis von Luftbildern und Geodaten.- *Hydrologie u. Wasserbewirtschaftung*, Bd. 52, H. 1, S. 9-18.