



**Projekt AGRUM<sup>+</sup>**

**Entwicklung eines Instrumentes für ein  
flussgebietsweites Nährstoffmanagement  
in der Flussgebietseinheit Weser  
- Kurzfassung des Endberichtes -**



**FGG Weser**   
Flussgebietsgemeinschaft Weser

# Inhalt

<b>Problemstellung</b>	<b>4</b>
<b>Das Einzugsgebiet der Flussgebietseinheit Weser</b>	<b>6</b>
<b>Modellstrategie und Vorgehensweise</b>	<b>10</b>
<b>Beschreibung des Modellverbunds AGRUM Weser</b>	<b>12</b>
RAUMIS	13
GROWA-DENUZ-WEKU und MEPhos	14
MONERIS	15
<b>Datenbasis</b>	<b>17</b>
<b>Wasserhaushalt</b>	<b>19</b>
<b>Analyse der Nährstoffbilanzen für das Basisjahr 2007</b>	<b>21</b>
Entwicklung der Nährstoffbilanzüberschüsse in Deutschland	21
Nährstoffbilanzüberschüsse für das Basisjahr 2007	22
Nährstoffeinträge und -frachten für das Basisjahr 2007	25
Validierung der hydrologischen Modelle	33
Gegenüberstellung der Modellergebnisse	35
<b>Analyse der Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021</b>	<b>37</b>
Veränderungen der allgemeinen Agrarpolitik	37
Agrarumweltmaßnahmen	38
Maßnahmen aufgrund sonstiger Einflussgrößen	38
Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021 auf die Nährstoffbilanzüberschüsse	39
Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021 auf die Stickstoffeinträge in die Gewässer	43
<b>Handlungsgebiete und Handlungsbedarf</b>	<b>46</b>
Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung des Bewirtschaftungsziels in den Grundwasserkörpern	47
Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele in den Oberflächengewässern	48
Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern	48
<b>Analyse von Maßnahmenzenarien zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele</b>	<b>51</b>
Maßnahmenkatalog und Auswahl geeigneter Agrarumweltmaßnahmen	51
Maßnahmenzenario für den Grundwasserschutz	52
Maßnahmenzenario zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern	54
Weitere Maßnahmen	55

<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>58</b>
Basisjahr 2007	58
Baseline-Szenario 2021	59
Handlungsbedarf und Maßnahmen Grundwasser	59
Handlungsbedarf und Maßnahmen Oberflächengewässer	60
Handlungsbedarf und Maßnahmen Küstengewässer	60
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>62</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>65</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>67</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>70</b>
<b>Impressum</b>	<b>71</b>

## Problemstellung

Die Belastung der Gewässer mit den relevanten Nährstoffen Stickstoff und Phosphor wurde bereits 2007 wie in allen anderen deutschen Flussgebieten auch für die Flussgebietseinheit Weser als wichtige überregionale Frage der Gewässerbewirtschaftung identifiziert (FGG WESER, 2007). Dies wurde für den zweiten Berichtszyklus bestätigt (FGG WESER, 2014B).

Die Nährstoffe gelangen überwiegend diffus von landwirtschaftlich genutzten Flächen über unterschiedlichste Eintragspfade in die Oberflächengewässer und insbesondere im norddeutschen Flachland auch ins Grundwasser. Neben diffusen Einträgen gibt es punktuelle Einträge von Nährstoffen (vor allem Phosphor, aber auch Stickstoff) aus kommunalen Kläranlagen und Mischwasserentlastungsanlagen in die Oberflächengewässer. Im Grundwasser wirkt sich hauptsächlich der Gehalt an Nitrat nachteilig auf die Qualität aus. Insbesondere im Hinblick auf die Trinkwassergewinnung, jedoch auch vor dem Hintergrund des durch die Grundwasserverordnung flächendeckend geltenden Grenzwertes von 50 mg/l Nitrat, besteht aufgrund der Überschreitung dieses Grenzwertes in weiten Teilen des Einzugsgebietes der Weser Handlungsbedarf.

Um mögliche Maßnahmenoptionen hinsichtlich ihres Umfangs und der Verortung auswählen zu können, sind möglichst flächendifferenzierte Kenntnisse über die Nährstoffquellen, die Höhe und Art der Nährstoffeinträge und ihren Weg in die Gewässer sowie über die zukünftige Eintragungssituation notwendig. Dazu kommt, dass Stickstoff und Phosphor auf dem Fließweg (Boden-Grundwasser-Oberflächengewässer-Küstengewässer) einer Vielzahl von Abbau- und/oder Umsetzungsprozessen unterliegen.

Daher hatte die Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser) bereits 2005 das **Modellvorhaben AGRUM Weser** (KREINS ET AL., 2010) in Auftrag gegeben. Ziel des Modellvorhabens 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 der in Deutschland etablierten Modelle RAUMIS, GROWA-DENUZ-WEKU-MEPhos und MONERIS zu unterstützen. Der Modellverbund AGRUM Weser ermöglicht auf Grundlage einer flussgebietsweit einheitlichen Methodik die flächendifferenzierte Analyse eines Basisjahres sowie die Prognose zukünftiger zu erwartender Stickstoff- und Phosphoreinträge über sechs diffuse, sechs urbane und zwei punktuelle relevante Eintragspfade ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer. Weiterhin wurde eine Wirkungsanalyse von Maßnahmenzenarien unter der Berücksichtigung aller wesentlichen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Einflussfaktoren durchgeführt, um eine Entscheidungsunterstützung bei der Allokation und Auswahl kosteneffizienter Maßnahmen zu erhalten.

Im Modellvorhaben AGRUM Weser (KREINS ET AL., 2010) wurden folgende Erkenntnisse erlangt:

- Die Simulation der Nährstoffströme im System Grundwasser-Oberflächengewässer-Küstengewässer innerhalb einer gesamten Flussgebietseinheit ist hinreichend genau möglich.
- Eine flächendifferenzierte Darstellung der Nährstoffsituation in den Wasserkörpern nach EG-WRRL ist ableitbar.
- Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft, z. B. des Baseline-Szenarios (grundlegende Maßnahmen) oder verschiedener Maßnahmenzenarien, können räumlich und zeitlich differenziert prognostiziert werden.
- Die Auswertung der Maßnahmenzenarien und Kostenabschätzung liefert gute Ansätze zur Ableitung von Maßnahmen für das Maßnahmenprogramm nach EG-WRRL.
- Das Modellvorhaben hat wesentlich dazu beigetragen, eine gemeinsame Diskussion von Wasserwirtschaft und Landwirtschaft zu fördern.

Das Modellvorhaben wurde 2011 mit dem Folgeprojekt AGRUM+ fortgeführt und ausgebaut. Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Modellvorhaben AGRUM Weser wurden die Datengrundlagen aktualisiert, erweitert und in möglichst höherer Auflösung eingesetzt. Darüber hinaus wurde der Maßnahmenkatalog aktualisiert und erweitert. Der bestehende Modellverbund AGRUM Weser wurde um neue Modellkomponenten ergänzt und weiter entwickelt. Zudem wurde die Interaktion der Modelle untereinander verbessert.

Das Modellvorhaben und das Folgeprojekt wurden im Auftrag der FGG Weser durch das Thünen-Institut (TI), das Forschungszentrum Jülich (FZJ) und das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) durchgeführt. Die Arbeiten wurden durch einen Projektarbeitskreis aus Vertretern der zuständigen wasserwirtschaftlichen und landwirtschaftlichen Behörden und Ämter der Länder begleitet und evaluiert. Die hier vorgelegte Veröffentlichung stellt eine Zusammenfassung des Endberichtes zum Projekt AGRUM+ (HEIDECHE ET AL., 2015) dar.



# Das Einzugsgebiet der Flussgebietseinheit Weser

**Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF)** umfasst die Kulturarten Ackerland, Dauergrünland, Haus- und Nutzgärten, Obstanlagen, Baumschulflächen, Rebland und Weihnachtsbaumkulturen, Korbweiden- und Pappelanlagen außerhalb des Waldes. Auf mindestens 5 Jahre angelegte Wiesen oder Weiden werden als Dauergrünland bezeichnet. **Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN)** beinhaltet zusätzlich zu den landwirtschaftlich genutzten Flächen den Standort der Gebäude und die Verkehrsflächen des Betriebes.

Organische Substanzen z. B. Festmist aus Stroh und Tierkot oder Tiergülle, die in der Land- und Forstwirtschaft anfallen und zur Düngung eingesetzt werden, werden **Wirtschaftsdünger** genannt. **Mineraldünger** ist anorganischer Dünger, der häufig in Form von z. B. Kalisalzen oder Kalk vorliegt.

Die Fläche der Flussgebietseinheit Weser liegt ausschließlich innerhalb des Hoheitsgebiets Deutschlands und hier innerhalb des zentralen Bereiches von Nord- und Mitteldeutschland. Die Bundesländer Bayern, Bremen, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Thüringen haben Anteile unterschiedlicher Größe an dieser Flussgebietseinheit. Die Flussgebietseinheit Weser umfasst mit einer Gesamtfläche von ca. 49.000 km<sup>2</sup> die benachbarten Einzugsgebiete der Weser und der Jade, die beide in die Nordsee münden. Die Weser entsteht durch den Zusammenfluss von Werra und Fulda bei Hannoversch Münden in Süd-Niedersachsen.

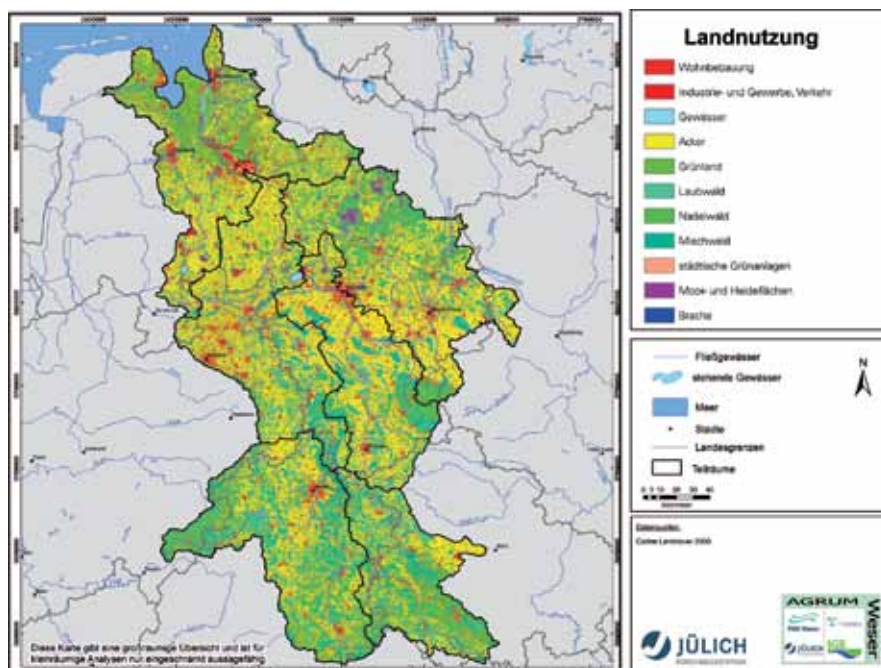
Die **Landnutzung** in der Flussgebietseinheit Weser ist aufgrund der

Ausdehnung über unterschiedliche Landschaftseinheiten regional sehr verschieden. Im Süden befindet sich das „Zentrale Mittelgebirge“ vom Thüringer Wald und dem Vogelsberg bis zum Harz und dem Wiehengebirge und im Norden das „Zentrale Flachland“ mit den Geestgebieten, den Niederungen und den Marschen an der Küste.

Etwa 37 % der Gesamtfläche wird als Ackerland genutzt, während ca. 18 % mit Grünland bedeckt ist. Annähernd 29 % ist mit Wald bewachsen und rund 5 % entfallen auf Siedlungsgebiete (►Abb. 1). Die anderen Nutzungen (Wasserflächen sowie sonstige Vegetation) nehmen nur kleine Anteile ein.

Die **landwirtschaftliche** Landnutzung bestimmt maßgeblich das landschaftliche Bild in der Flussgebietseinheit Weser und liegt mit rund 55 % an der Gesamtfläche über dem Bundesdurchschnitt, auch wenn die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) in den letzten 30 Jahren jährlich um rund 0,3 % im früheren Bundesgebiet vor allem zugunsten der Siedlungs- und Verkehrsfläche verringert wurde. Die landwirtschaftliche Bodennutzung und Tierhaltung hat Einfluss auf die Nährstoffbilanzüberschüsse, die potentiell in Gewässer eingetragen werden können. In der Regel gehen hohe Viehbestandsdichten mit hohen Nährstoffbilanzüberschüssen einher, da ein Großteil der im Wirtschaftsdünger enthaltenen Nährstoffe nicht pflanzenverfügbar ist.

Die wichtigsten Hauptgruppen der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) sind Ackerland (►Abb. 2)



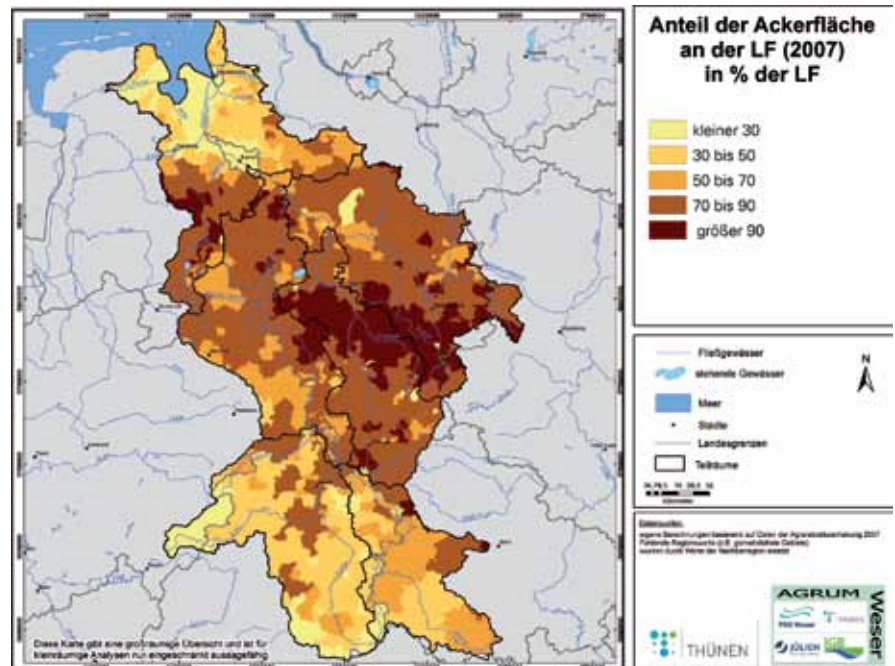
►Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit Landnutzung in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)



und Dauergrünland. Im bundesweiten Vergleich waren 2007 in der Flussgebietseinheit Weser die Flächenanteile für Getreide sowie für Hack- und Hülsenfrüchte leicht höher. Demgegenüber fiel der Ackerfutterbau mit insgesamt 10 % der LF etwa 4 % geringer aus. Der Flächenanteil des Silomais war hingegen mit 11 % der LF um 2 % höher als der Bundesdurchschnitt.

Aufgrund der heterogenen Standortbedingungen in der Flussgebietseinheit Weser weist die regionale Landnutzungsstruktur deutliche Unterschiede auf. Ausgeprägte Ackerbauregionen waren die Hildesheimer Börde und die Region Hannover mit mehr als 90 %. Demgegenüber standen Regionen mit einem hohen Grünlandanteil von mehr als 45 % einerseits in den Mittelgebirgslagen und andererseits im norddeutschen Flachland in den Marschregionen.

Die Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe wird maßgeblich durch die Landnutzung und Viehhaltung bestimmt. Im Bereich der Unterweser sowie in den südlichen Mittelgebirgslagen wurde teilweise mehr als 70 % der LF von Weidewiehebetrieben bewirtschaftet. Demgegenüber wurde die LF in der Hildesheimer Börde zum Großteil von spezialisierten Ackerbaubetrieben bewirtschaftet. Eine Ausnahme bildeten die Regionen im Westen (z. B. Raum Oldenburg), die einen Ackerflächenanteil von mehr als 80 % der LF aufzeigten, gleichzeitig aber auch sehr hohe Viehbestandsdichten aufwiesen. In diesen Regionen entfiel der überwiegende Teil der Flächen auf Veredelungsbe-



► Abb. 2: Anteil der Ackerfläche in der Flussgebietseinheit Weser (2007) (Heidecke et al., 2015)

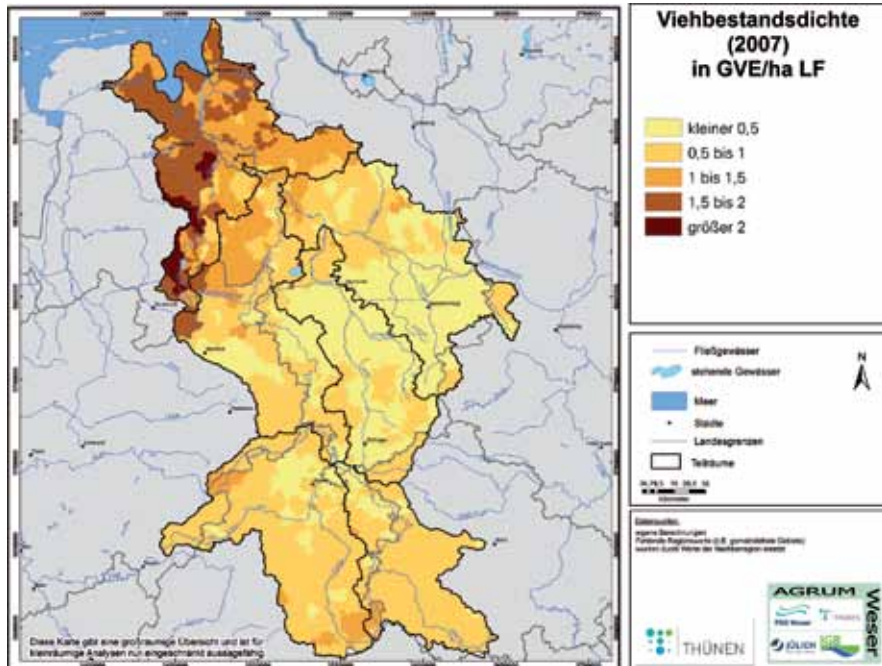
triebe.

Für die Nährstoffbilanzüberschüsse spielt sowohl die Höhe des Viehbestandes je ha LF als auch die Viehbestandsstruktur eine große Rolle. Die Viehbestandsdichte lag im Jahr 2007 mit rund 0,9 Großvieheinheiten (GVE) je ha LF über dem Bundesdurchschnitt.

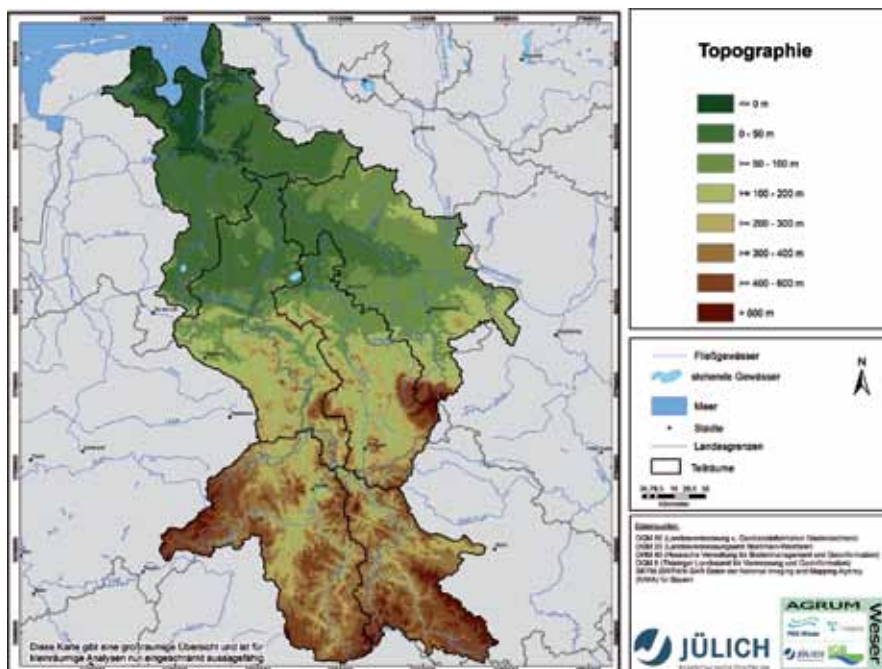
Innerhalb der Flussgebietseinheit Weser sind die regionalen Unterschiede der Viehbestandsdichte beachtlich (► Abb. 3). Während sich die Landwirtschaft in den fruchtbaren Bördegebieten auf einen intensiven Ackerbau weitgehend ohne Viehhaltung spezialisiert hat, herrscht im norddeutschen Flachland die Tierhaltung vor. Hier lagen die Viehbestandsdichten in zahlreichen Regionen zwischen 1,5 und 2 GVE/ha LF und in wenigen Regio-

**Hülsenfrüchte** sind auch unter dem Namen **Leguminosen** geläufig. Sie sind fast weltweit aufgrund ihres hohen Eiweißgehaltes wichtiger Bestandteil der menschlichen Ernährung. Bekannte Nutzpflanzen sind Bohnen, Erbsen, Sojabohnen, Erdnüsse aber auch Wicken oder Klee. Mais, der zu Maissilage als Futtermittel oder zu Biogassubstrat für die Energiegewinnung verarbeitet wird, wird als **Silomais** bezeichnet.

Beim **intensiven Ackerbau** wird ein hoher Ertrag durch intensiven Einsatz von Maschinen, Dünger etc. auf einer relativ kleinen Fläche erzeugt. Die Erträge beim **extensiven Ackerbau** werden mit minimalem Aufwand für Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte erzeugt. Der großflächige Weizenanbau in den USA ist hier ein Beispiel. Die Weizenenerträge in der EU (intensiver Ackerbau) sind bis zu viermal höher als in den USA.



► Abb. 3: Viehbestandsdichte in der Flussgebietseinheit Weser (2007) (Heidecke et al., 2015)



► Abb. 4: Topographie in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

nen darüber.

Hinsichtlich des **topographischen** Charakters lässt sich die Flussgebietseinheit zwei Hauptbereichen zuordnen. In ►Abb. 4 sind die Bereiche der Norddeutschen Tiefebene und des höhergelegenen Mittelgebirgslandes gut zu unterscheiden.

Mit dem Harz und dem Niedersächsisch-Hessischen Bergland beginnen nach Süden hin die zentralen Mittelgebirge. Die Hangneigungen liegen meist zwischen 3,5 und 18 %. Im Harz sowie in den Kammagen des Rothaargebietes und des Thüringer Waldes sind jedoch Hangneigungen von mehr als 18 % keine Seltenheit. Großräumig treten in der deutschen Mittelgebirgsschwelle Höhenlagen von über 200 m ü. NHN auf.

Der nördliche Teil des Einzugsgebiets liegt im Bereich der Norddeutschen Tiefebene mit den eiszeitlich geprägten Landschaften und Sedimenten aus der Weichselkaltzeit. Oberflächenformen und Ablagerungen aus dieser Zeit bildeten unter anderem zahlreiche Gewässer, Moore und auch fruchtbare Bördelandschaften. Die Höhenlagen liegen in diesen Bereichen unter 100 m ü. NHN. Die Hangneigungen betragen hier durchgängig weniger als 2 %.

Die **Hauptbodentypen** (►Abb. 5) bzw. hiermit in Zusammenhang stehende physikalisch-chemische Eigenschaften wie z. B. die Bodenart, die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge, die Grund- und Stauwasserbeeinflussung und das Nitratabbauvermögen der Böden lassen bereits Rückschlüsse auf die

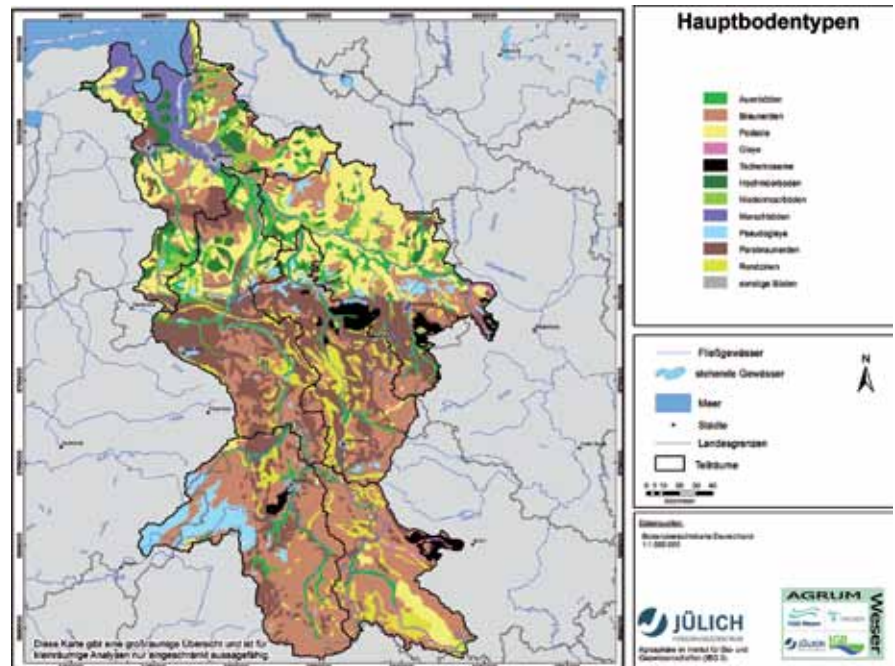


Landnutzung und den Nährstoffauftrag in den Landschaftsräumen der Flussgebietseinheit Weser zu.

Der Südteil der Flussgebietseinheit Weser ist durch Festgestein geprägt und gehört **geomorphologisch** zur deutschen Mittelgebirgsschwelle. Hier dominieren podsolige Braunerden sowie ihre Subtypen. Grundwasserbeeinflusste Böden (z. B. Nassgleye) sind auf die Bach- und Flussniederungen beschränkt und zeichnen daher das Gewässernetz nach. Die wenig fruchtbaren Böden der Hochflächen sind weitgehend von Waldflächen bedeckt. Die Talböden werden zu meist als Grünland bewirtschaftet. Ackerbaulich genutzt sind vor allem Beckenbereiche (z. B. Hessische Senke), in denen es regional zu einer Bodenbildung in eiszeitlichen Lösssedimenten gekommen ist.

Im Übergangsbereich der Mittelgebirge zum Norddeutschen Flachland treten fruchtbare Parabraunerden auf (z. B. Hildesheimer Börde). Aufgrund ihrer hohen Wasserkapazität, dem ausgeglichenen Wasser- und Lufthaushalt sowie der guten Basenversorgung werden diese Standorte, neben den Schwarzerdeböden, bevorzugt ackerbaulich genutzt.

Der Nordteil der Flussgebietseinheit Weser gehört zum Norddeutschen Tiefland. 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



► Abb. 5: Hauptbodentypen in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

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 ebene Marschlandschaft, in der tonreiche bindige Böden dominieren. Diese Böden sind ohne intensive Meliorationsmaßnahmen nicht landwirtschaftlich nutzbar. Aufgrund der ungünstigen Bodenwasserverhältnisse dominiert dort die Grünlandnutzung.

**Hochmoore** werden ausschließlich über Regenwasser ernährt, so dass sie sauer und sehr nährstoffarm sind. Sie zeichnen sich durch einen hohen Gehalt an Kohlenstoff aus. Andere Bezeichnungen für derartige Moore sind Anmoor oder Regenmoor. Im Gegensatz zu Hochmooren sind **Niedermoore** sehr nährstoffreich. Die Nährstoffe gelangen häufig über eingestauten Fremdwasser auf diese Böden. Aufgrund ihres Nährstoffreichtums werden sie auch Reichmoor genannt.

Als landwirtschaftliche **Meliorationsmaßnahmen** werden Maßnahmen bezeichnet, die die Ertragsfähigkeit steigern, die Bewirtschaftung erleichtern und vor Schädigung bzw. Zerstörung schützen. Solche Maßnahmen sind zum Beispiel die Be- oder Entwässerung, Dränierung, Eindeichung und die Urbarmachung.

# Modellstrategie und Vorgehensweise

Unter den Maßnahmen zur Umsetzung gemeinschaftlicher Wasserschutzvorschriften (**grundlegende Maßnahmen**) wird die rechtliche Umsetzung bundeseinheitlicher sowie länderspezifischer Gesetze und Verordnungen verstanden, die gemäß § 82 Absatz 3 WHG in Verbindung mit Artikel 11 Absatz 3 a) und Anhang VI Teil A EG-WRRL erfolgt. Da in vielen Fällen die Bewirtschaftungsziele durch die grundlegenden Maßnahmen allein nicht erreicht werden können, sieht § 82 Absatz 4 WHG (Artikel 11 Absatz 4 EG-WRRL) darüber hinaus **ergänzende Maßnahmen** zum Erreichen des guten Gewässerzustands vor. Eine scharfe Trennung zwischen grundlegenden und ergänzenden Maßnahmen ist im Einzelfall nicht immer möglich. Die Unterscheidung spielt für die praktische Umsetzung der notwendigen Maßnahmen nur eine nachgeordnete Rolle.

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Eingangsdaten für das Einzugsgebiet der Flussgebiets-einheit Weser bilden die Grundlage für das landwirtschaftliche und die hydrologischen Modelle. Das Nährstoffmanagement der FGG Weser (►Abb. 6), das den Modellrechnungen zugrunde liegt, umfasst folgende fünf Schritte:

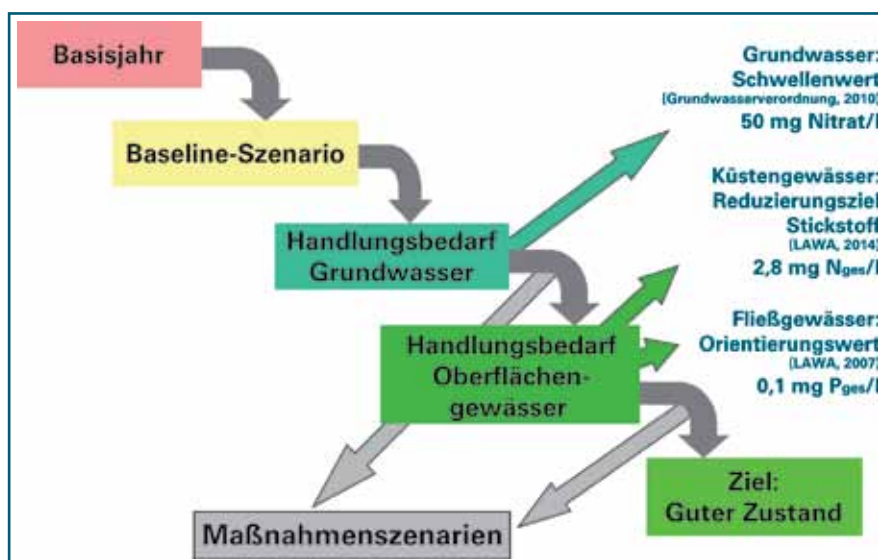
1. Abbildung eines Ausgangszustands für ein zurückliegendes Bezugsjahr (Basisjahr im Projekt 2007) einschließlich der Validierung mit Monitoringdaten.
2. Prognose eines zukünftigen Zustandes unter Annahme einer vollständigen Umsetzung grundlegender, gesetzlich verankerter Maßnahmen (**Baseline-Szenario**). Bezug im Projekt ist das Jahr 2021.
3. Ableitung des Handlungsbedarfs für über Punkt 2 hinausgehende notwendige ergänzende

Maßnahmen zur Erreichung des **guten chemischen Zustands des Grundwassers** nach EG-WRRL bzgl. Nitrat.

4. Ableitung des weiteren **Handlungsbedarfs** für über den Punkt 3 hinausgehende notwendige ergänzende Maßnahmen zur Erreichung des **guten ökologischen Zustands/Potentials** nach EG-WRRL in den Oberflächengewässern bzgl. der Orientierungs- bzw. Zielwerte für Phosphor (Fließgewässer) und für Stickstoff (Küstengewässer).
5. Ableitung von **Maßnahmenszenarien** zur möglichen Umsetzung des Handlungsbedarfs nach Punkt 3 und 4.

Mit der oben abgestimmten Vorgehensweise ist es möglich, den Handlungsbedarf zur Nährstoffreduzierung aufeinander aufbauend für das Grundwasser, die Oberflächen- sowie für die Küstengewässer abzuleiten. Als Basis für die Ausgangssituation wird im Modellverbund das Basisjahr 2007 (als Jahresmittelwerte) herangezogen.

Aufbauend auf dem Basisjahr (Schritt 1) wird die Auswirkung der zu erwartenden Entwicklung anhand aller zwischen 2007 und 2021 umgesetzten Maßnahmen (Schritt 2) abgebildet, wie z. B. die Auswirkungen der allgemeinen Agrarpolitik (u. a. Preisentwicklungen, Entwicklungen der Tier- und Pflanzenproduktion), die Entwicklung des Energiepflanzenanbaus sowie die Umsetzung der Düngeverordnung. Das Baseline-Szenario beinhaltet somit die Auswirkung der grund-



►Abb. 6: Modellstrategie AGRUM\* (FGG Weser, 2015)

legenden Maßnahmen nach EG-WRRL. Darüber hinaus werden im Projekt auch die bis 2013 in Länderförderprogrammen festgesetzten Agrarumweltmaßnahmen einbezogen und berücksichtigt.

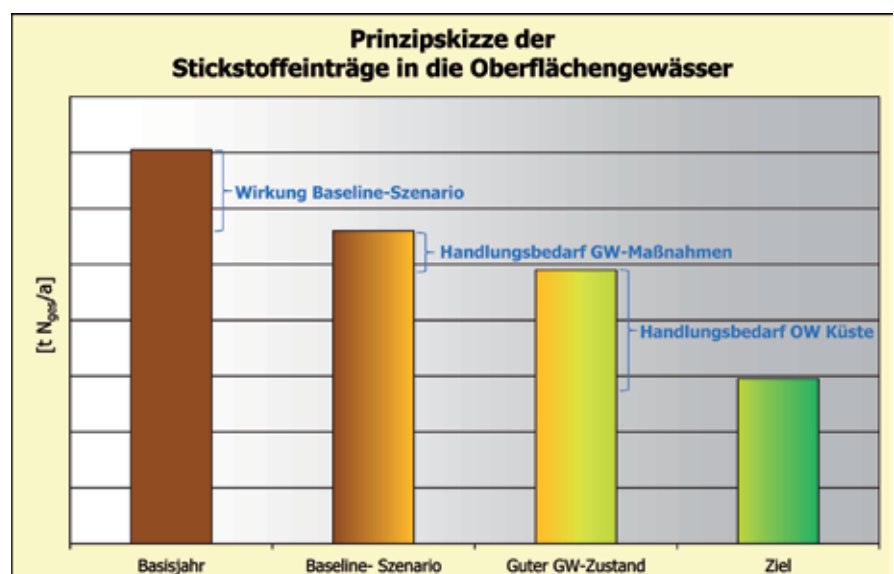
Ausgehend vom Baseline-Szenario wird im nächsten Schritt der Handlungsbedarf für die Erreichung der Bewirtschaftungsziele nach EG-WRRL im Grundwasser (Schritt 3) analysiert. Dieser Zwischenschritt ist auch für die Abschätzung des Handlungsbedarfs für die Küstengewässerkörper notwendig, da die Wirkung der Reduzierungsmaßnahmen für das Grundwasser sich auf dem weiteren Fließweg ebenfalls reduzierend auf die Einträge in die Oberflächen- bzw. Küstengewässer (►Abb. 7) auswirken kann. Aus diesem Grund wird im Modellverbund in Schritt 4 der Handlungsbedarf „Küste“ ausgehend vom guten chemischen Zustand der Grundwasserkörper bzgl. der Qualitätskomponente Nitrat ermittelt.

Im Schritt 5 der Modellanalysen wurde auf Basis eines abgestimmten Maßnahmenkatalogs abgeschätzt, wie der Handlungsbedarf für Grundwasser sowie für die Küstengewässer abgedeckt werden kann. Der Katalog umfasst eine Auswahl derzeit bekannter und akzeptierter Reduzierungsmaßnahmen im Bereich der Nährstoffbilanzüberschüsse, der Bodenbearbeitung, der Landnutzungsänderung und der urbanen Gebiete (►Tab. 3). Auf Basis dieses Katalogs wurde im Projekt jeweils ein mögliches Maßnahmenzenario zur Abdeckung des Handlungsbedarfs für die Zielerreichung bzgl. der Nährstoff-

belastung für das Grundwasser und die Küstengewässer analysiert.

**Agrarumweltmaßnahmen (AUM)** sind landwirtschaftliche, gewässerschonende Maßnahmen. Die Anwendung ist freiwillig und für mögliche Ertragsausfälle werden aus Länderförderprogrammen Ersatzzahlungen geleistet.

Der **Nährstoffbilanzüberschuss** ist diejenige Menge an Stickstoff bzw. Phosphor, die von Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden kann und ein mögliches Gefährdungs-/Belastungspotential für die Gewässer darstellt.



►Abb. 7: Prinzipskizze der Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer (FGG Weser, 2015)

# Beschreibung des Modellverbunds AGRUM Weser

Bei **diffusen Gewässerbelastungen** handelt es sich um Einträge, die nicht eindeutig einem Ort zugeordnet werden können. Dies sind z. B. Einträge aus den Direktabflüssen Erosion, Abschwemmung, Dränagen und Zwischenabfluss sowie Einträge aus dem Grundwasser. Aber auch Einträge aus der atmosphärischen Deposition tragen zur diffusen Gewässerbelastung bei. Im Gegensatz zu den diffusen Quellen lassen sich **punktuellen Gewässerbelastungen** eindeutig einem Ort zuordnen. Zu diesen Einträgen gehören z. B. Einträge aus Misch- und Trennsystemen sowie aus kommunalen und industriellen Kläranlagen.

Mit **Geoinformationssystemen (GIS)** lassen sich raumbezogene Daten erfassen, bearbeiten, analysieren und präsentieren.

Ziel des Modellverbundes war die Entwicklung einer einheitlichen Methodik zur Ableitung des Handlungsbedarfs für Grundwasser und Küstengewässer im Bereich der diffusen und punktuellen Gewässerbelastung sowie eines Analyse- und Bewertungsansatzes für Maßnahmen des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes in der Flussgebietseinheit Weser.

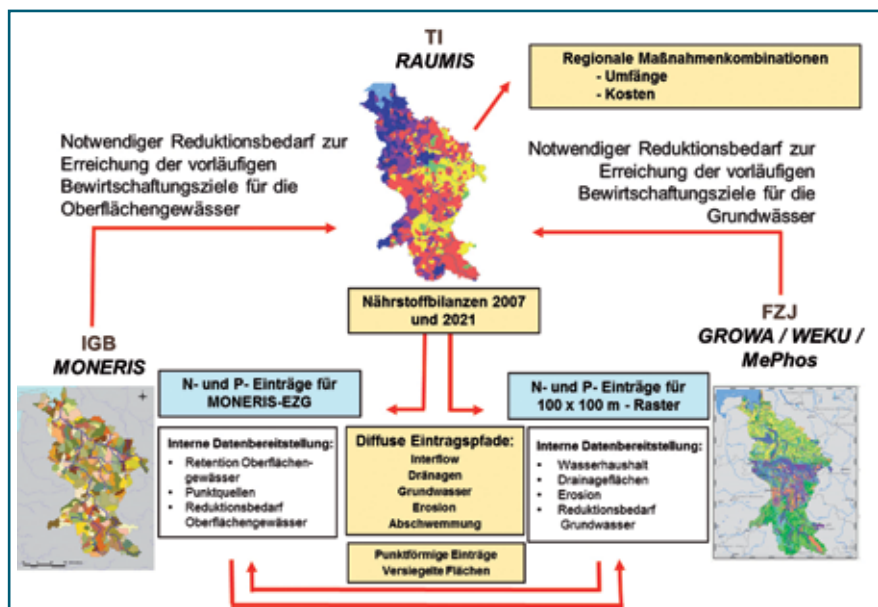
Im Modellvorhaben AGRUM Weser wurde ein Modellverbund (►Abb. 8) von einem Landwirtschaftsmodell (RAUMIS) und zwei hydrologischen Modellen (GROWA-DENUZ-WEKU und MONERIS) verwendet. Aufgrund der unterschiedlichen Betrachtungsebenen der drei Modelle wurden Schnittstellen für den Datenaustausch zwischen den Einzelmodellen entwickelt. Im Projekt AGRUM+ wurde der Modellverbund um das Modell MEPhos erweitert,

um den Parameter Phosphor besser abbilden zu können. Die Methodik des Modellverbundes und eine detailliertere Beschreibung der verwendeten Modelle sind in (FGG WESER, 2015) beschrieben.

Ein besonderer Vorteil des Modellverbundes ist es, dass Synergien zwischen den hydrologischen Einzelmodellen optimal ausgenutzt werden konnten. So werden der Wasserhaushalt und die diffusen Nährstoffeinträge ausführlich über die Modelle GROWA-DENUZ-WEKU-MEPhos abgebildet, während die Punkteinträge, die Einträge aus urbanen Systemen sowie die Retention in den Oberflächengewässern ausführlich über das Modell MONERIS dargelegt sind.

Durch die Entwicklung der GIS-gestützten Schnittstellen konnten die unterschiedlichen regionalen Differenzierungen der Modelle angenähert werden, was auch den Austausch von Daten, Parametern und Ergebnissen mit hoher räumlicher Auflösung ermöglichte. Mittels einer dieser Schnittstellen erfolgte beispielsweise eine adäquate Übertragung der landwirtschaftlichen Bilanzüberschüsse von der agrarstatistisch erfassten LF auf die LN, die in den hydrologischen Modellen abgebildet wird. Hierzu wurden auf Grundlage räumlich differenzierter Bodennutzungs- bzw. Bodenbedeckungsdaten die ermittelten Überschüsse den zugrunde liegenden LN flächengewichtet zugeordnet.

Auch durch die Kopplung der rasterbasierten Modelle GROWA-DENUZ-WEKU-MEPhos und des auf hydrologischen Teileinzugsgebieten



►Abb. 8: Zusammenspiel der Modelle im Modellverbund AGRUM Weser (FGG Weser, 2015)



basierten Modells MONERIS wurden Synergien erzielt. So wurde der Wasserhaushalt beispielsweise ausschließlich von GROWA berechnet und in einer auf Teileinzugsgebiete aggregierten Form an MONERIS übergeben. Umgekehrt wurden die Nährstoffeinträge aus Punktquellen von MONERIS berechnet und an DENUZ-WEKU bzw. MEPhos übermittelt.

## RAUMIS

Das Landwirtschaftsmodell **RAUMIS** (**R**egionalisiertes **A**grar- und **U**mwelt-**I**nformations-**S**ystem, ►Abb. 9) des Thünen-Instituts (TI) ist ein numerisches Modell für den landwirtschaftlichen Sektor Deutschlands (HEINRICHSMeyer ET AL., 1996). Es bildet die gesamte deutsche landwirtschaftliche Produktion und deren intrasektorale Verflechtungen konsistent zur landwirtschaftlichen Gesamtrechnung (LGR) ab. Insgesamt werden ca. 50 landwirtschaftliche Aktivitäten in 326 Modellregionen dargestellt. Hauptziele, die mit der Entwicklung des Modellsystems RAUMIS verfolgt werden, sind erstens die geschlossene, regional differenzierte Ex-Post-Abbildung des Agrarsektors und zweitens die mittelfristige Wirkungsanalyse alternativer Agrar- und Umweltpolitiken hinsichtlich der landwirtschaftlichen Produktion, des Faktoreinsatzes im Agrarsektor, des landwirtschaftlichen Einkommens, der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte und der Agrar-Umwelt-Beziehungen.

Mit dem RAUMIS-Modell wurde im Projekt AGRUM<sup>+</sup> für die Flussgebietseinheit Weser eine

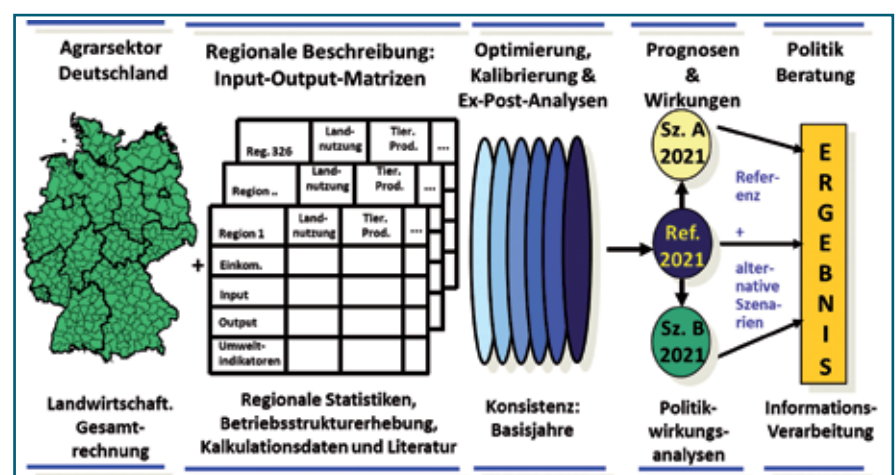
aktualisierte Analyse der landwirtschaftlichen Produktion und der Nährstoffbilanzen für ein Basisjahr (2007) auf Grundlage regionaler Statistiken, Daten aus der Betriebsstruktur-erhebung und Literaturdaten für unterschiedliche Szenarien vorgenommen. Dabei wurden alle wesentlichen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Einflussfaktoren berücksichtigt (KREINS ET AL., 2002).

In den modellgestützten Wirkungsanalysen mit dem Informationssystem RAUMIS erfolgt zunächst eine Status-quo-Projektion ausgehend vom Basisjahr zum Zieljahr. Darauf aufbauend werden Politik-szenarien formuliert und Änderungen dieser Politikparameter in Wirkungsprognosen analysiert (KREINS ET AL., 2004).

So konnte für das Projekt AGRUM<sup>+</sup> eine Baseline, eine Prognose basierend auf Experteninformationen und Austausch mit dem Thünen Modellverbund (OFFERMANN ET AL., 2012) für das Jahr 2021 erstellt werden,

Die **landwirtschaftliche Gesamtrechnung (LGR)** erfasst die gesamtwirtschaftlichen Einkommens- und Güterströme in der Landwirtschaft. Die jährliche Veränderung ist ein wichtiger Indikator für die Einkommensentwicklung in der Landwirtschaft.

**Ex-Post-Abbildung** bezeichnet die Abbildung eines in der Vergangenheit liegenden Vorganges.



►Abb. 9: Analyseinstrument RAUMIS (Kreins et al., 2010)

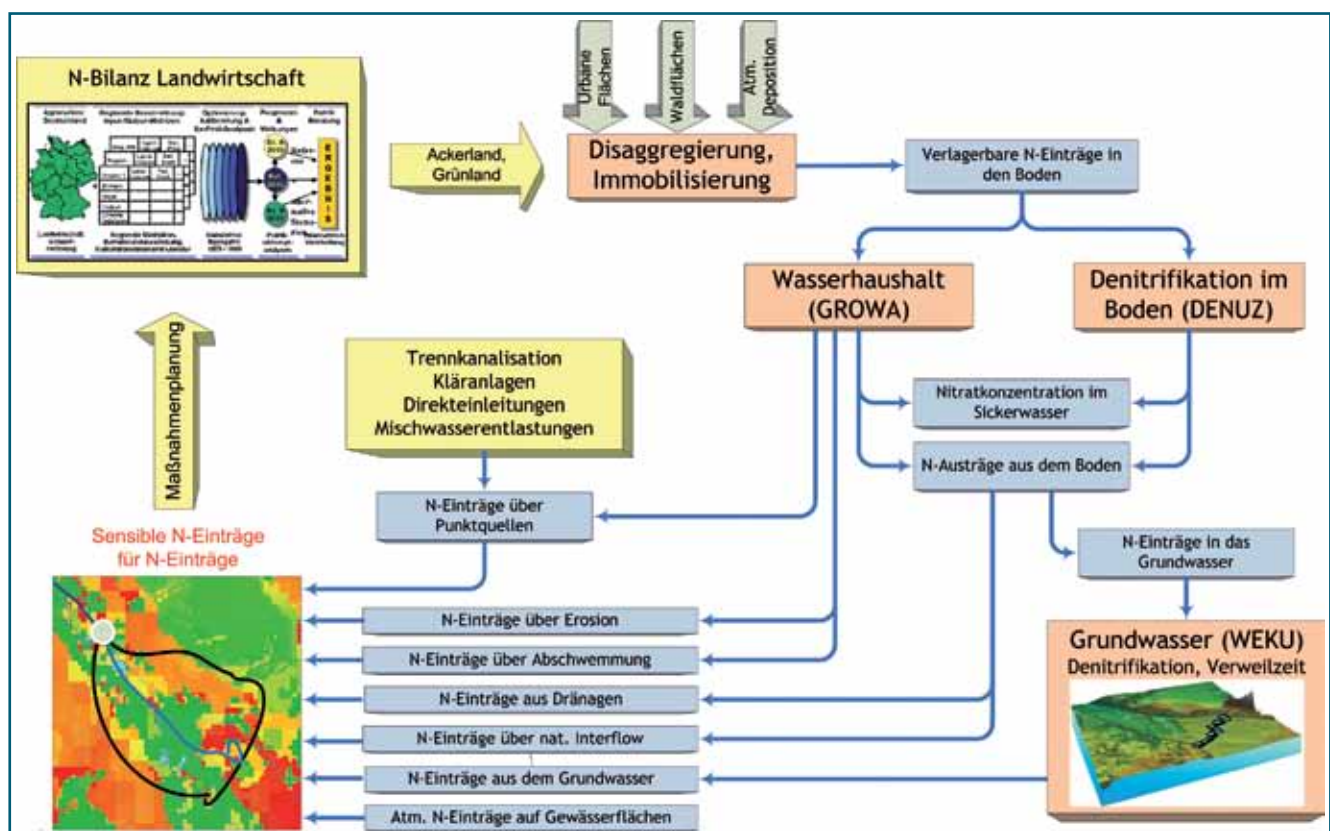
die die im Jahr 2021 veränderte Flächennutzung und Tierproduktion analysiert. Dies ist eine wichtige Grundlage, um die Nährstoffbilanzen im Jahr 2021 abzuleiten. Des Weiteren gehen die landwirtschaftlichen für 2021 prognostizierten Strukturen in die Analyse von Maßnahmen für den landwirtschaftlichen Gewässerschutz ein.

### GROWA-DENUZ-WEKU und MEPhos

Mit den Modellen GROWA-DENUZ-WEKU des Forschungszentrums Jülich wird im Projekt AGRUM+ schwerpunktmäßig eine flächen-

differenzierte Modellierung der diffusen Stickstoffeinträge ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer über die verschiedenen Eintragspfade unter Berücksichtigung des Nitratabbaus in Boden und Grundwasser vorgenommen (►Abb. 10). Auf die ebenfalls mögliche Quantifizierung der punktuellen Nährstoffeinträge sei an dieser Stelle nicht eingegangen.

Die Simulation der hydrologischen Situation in der Flussgebietseinheit Weser erfolgte basierend auf dem **großräumigen Wasserhaushaltsmodell GROWA** (KUNKEL ET AL., 2002) vom Forschungszentrum



►Abb. 10: Schematische Darstellung diffuser Stickstoffeinträge ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer (GROWA-DENUZ-WEKU-Modell) (Heidecke et al., 2015)

Jülich (FZJ). Dieses Wasserhaushaltsmodell ist ein empirisches Verfahren, mit dem verschiedene Wasserhaushaltskomponenten flächendifferenziert berechnet werden können: reale Verdunstungshöhe, Gesamtabflusshöhe, Abfluss über Dränagen, Zwischenabflusshöhe und Grundwasserneubildungshöhe (►Abb. 14). Als Basisdaten werden klimatische Größen (Niederschlag und potentielle Verdunstung), Bodenparameter (pflanzenverfügbares Bodenwasser), die Landnutzung und hydrogeologische Daten benötigt.

**DENUZ** (WENDLAND ET AL., 2009) berechnet auf Grundlage der mit dem Modell RAUMIS ermittelten Stickstoffüberschüsse den Nitratabbau im Boden und die Stickstoffauswaschung aus dem Boden. Die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer über die Eintragspfade Dränagen, Zwischenabfluss, Erosion und Abschwemmung bzw. die Stickstoffeinträge ins Grundwasser werden vom DENUZ direkt berechnet. In DENUZ erfolgt auch die Ermittlung der Szenario-Analysen zum Handlungsbedarf für das Grundwasser. Die auf dem Transport im Grundwasserraum stattfindenden Nitratabbauprozesse, durch die die Nitratbelastungen unterliegender Gewässersysteme je nach Standortbedingung deutlich verringert werden können, erfolgen im Modell **WEKU** (KUHR ET AL., 2013).

Das Phosphortransportmodell **MEPhos** (**M**odell zur **E**rmittlung des **Phosphorein**trags) wurde entwickelt, um mehrjährige mittlere Phosphoreinträge aus diffusen und

punktuellen Quellen in mittleren und großen Flusseinzugsgebieten zu quantifizieren (TETZLAFF ET AL., 2013; TETZLAFF ET AL., 2009). MEPhos basiert auf einem pfad- und flächendifferenzierten Emissionsansatz, bei dem die folgenden diffusen Eintragspfade berücksichtigt werden: Dränagen, grundwasserbürtiger Abfluss, Abschwemmung, Erosion, Zwischenabfluss und atmosphärische Deposition auf Wasserflächen. Das Ziel der MEPhos-Anwendung besteht in der flächendifferenzierten Ermittlung der Phosphorbelastung und im Ausweisen von räumlichen Belastungsschwerpunkten (Hotspots) innerhalb von Flussgebieten. Für diese Hotspots können dann zielgerichtet effiziente Reduktionsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

## MONERIS

Das Nährstoffbilanzmodell **MONE-RIS** (**M**odelling **N**utrient **E**missions in **R**iver **S**ystems) vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) ist ein empirisch konzeptionelles Modell, welches eine räumlich und nach Eintragspfaden differenzierte Quantifizierung von Nährstoffeinträgen in die Gewässer von Einzugsgebieten ermöglicht (►Abb. 11). Die Grundlagen für das Modell bilden einerseits Abfluss- und Gütedaten der zu untersuchenden Flussgebiete sowie ein Geographisches Informationssystem (GIS), in das sowohl zahlreiche digitale Datengrundlagen, als auch umfangreiche statistische Informationen integriert werden. Eine Differenzierung in die folgenden Eintragspfade ist berücksichtigt: Erosion, Abschwemmung, Grundwasser/

*Etwa durch Überweidung oder Abholzung sowie durch zu kurze Brachzeiten können Bodenschichten durch Wind oder Regen abgetragen werden. Diesen Prozess nennt man **Erosion**. Als **Abschwemmung** bezeichnet man das Abspülen feinen Materials von der Erdoberfläche.*

*Unter **Dränagen** wird ein System von Gräben oder Rohren zur Bodenentwässerung verstanden.*

*Bei der **atmosphärischen Deposition** werden gelöste, partikelgebundene oder gasförmige Luftinhaltsstoffe aus der Erdatmosphäre auf der Erdoberfläche abgelagert.*

*Als **versiegelte urbane Flächen** werden durch menschliche Bauwerke bedeckte natürliche Böden bezeichnet. Hierzu zählen auch nicht sichtbare Bauwerke unter der Erdoberfläche, wie z. B. Leitungen, Kanäle, Fundamente sowie stark verdichtete Böden.*

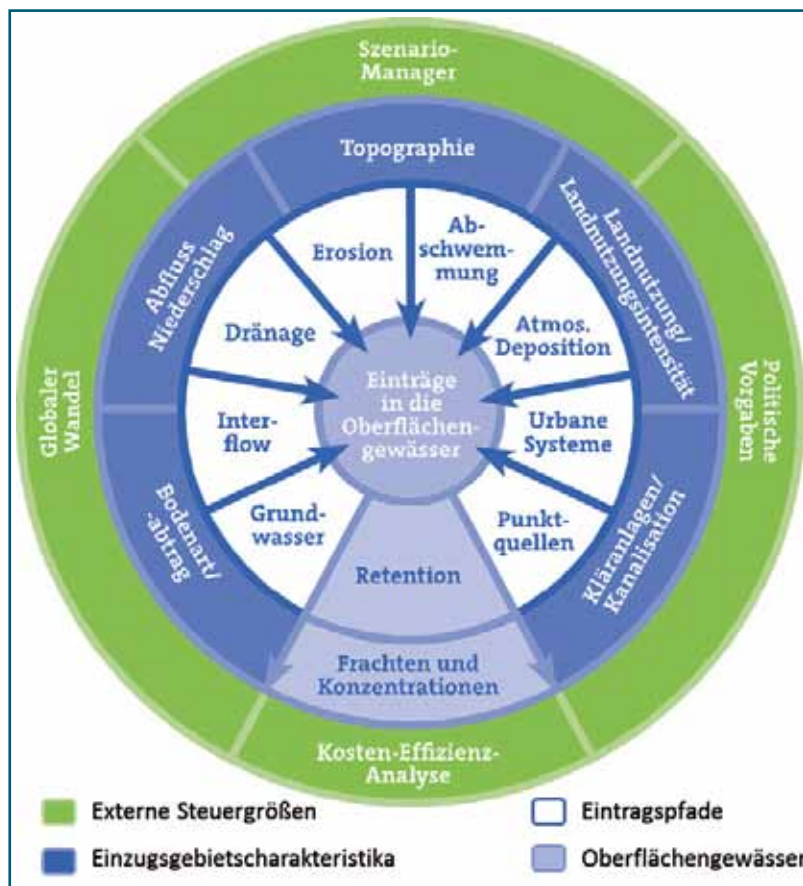
*In einer **Trennkanalisation** werden Schmutzwasser und Regen- und Fremdwasser in getrennten Leitungssystemen abgeführt. In einer **Mischkanalisation** werden alle Abwässer in einer gemeinsamen Leitung gemischt entsorgt.*

**Industrielle und kommerzielle Abwässer** werden häufig in industrieeigenen Anlagen behandelt, da diese besondere Verschmutzungen aufweisen können. Bei **Fremdwasser** handelt es sich nach DIN 4045 um durch Undichtigkeit in die Kanalisation eindringendes Grundwasser, unerlaubt über Fehlschlüsse eingeleitetes Wasser sowie bei einem Schmutzwasserkanal durch z. B. Abdeckungen von Kanalschächten zufließendes Oberflächenwasser.

Zwischenabfluss, Dränagen, atmosphärische Deposition, versiegelte urbane Flächen, punktuelle Einträge aus kommunalen Kläranlagen und durch industrielle Direkteinleiter. Auf Grundlage der mit dem Modell RAUMIS ermittelten Nährstoffüberschüsse und dem Wasserhaushalt von GROWA werden die Stickstoff- und Phosphoreinträge und -frachten in die Oberflächengewässer für alle Eintragspfade (punktuell und diffus) berechnet (BEHRENDT ET AL., 1999), (BEHRENDT ET AL., 2003) und (VENOHR ET AL., 2011).

Die räumliche Diskretisierung der Berechnungen erfolgt auf hydrologischen Teileinzugsgebieten, sogenannten Analysegebieten (analytical units, AU), die im Modellvorhaben AGRUM Weser sowie im Projekt AGRUM+ den Einzugsgebieten der Oberflächenwasserkörper nach EG-Wasserrahmenrichtlinie entsprechen.

Für die Berechnung von punktuellen und urbanen Einträgen wird die gesamte versiegelte urbane Fläche entsprechend dem Anteil der angeschlossenen Bevölkerung und proportional zu den Ausbaulängen den verschiedenen Kanalisationssystemen in den Teileinzugsgebieten zugeteilt. Es wird unterschieden in Einträge von versiegelten urbanen Flächen sowohl über die Trennkanalisation als auch über die Mischkanalisationsüberläufe und in Einträge von Haushalten und versiegelten urbanen Flächen, die entweder an eine Kanalisation, aber an keine Kläranlage oder nicht an die Kanalisation angeschlossen sind. Grundlage für die Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge von kommunalen Kläranlagen und direkten industriellen Abwässern waren die Daten der Bundesländer zu den Kläranlagenstandorten. Die jährliche Abflussmenge des geklärten Abwassers aus Kläranlagen wird unterteilt in industrielle und kommerzielle Abwässer, Fremdwasser und Gesamtabwässer.



► Abb. 11: Eintragspfade in MONERIS (Venohr et al., 2011)



## Datenbasis

Für die Berechnung der Nährstoffbilanzüberschüsse wurden im Projekt AGRUM<sup>+</sup> vorrangig die Agrarstrukturdaten der landwirtschaftlichen Landnutzung und Tierhaltung nach Geheimhaltung verwendet. Diese liegen für Hessen und Nordrhein-Westfalen auf Gemeindeebene sowie für Thüringen und Sachsen-Anhalt auf Kreisebene vor. Für das Bundesland Niedersachsen wurden die Agrarstrukturhebungsdaten vor Geheimhaltung auf Gemeindeebene bereitgestellt und als Berechnungsgrundlage eingesetzt.

Die im Amtlichen Topographischen Karteninformationssystem und Digitalen Landschaftsmodell (ATKIS DLM25) erfasste **Landnutzung** (landwirtschaftlichen Acker- und Grünlandflächen der Landwirtschaftsflächen) wurde unter Verwendung von georeferenzierten Flächennutzungsdaten der Förderdatenbanken des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS) der Bundesländer am TI aktualisiert. Der aktualisierte LN-Datensatz wurde am FZJ in die vorliegenden ATKIS-Landnutzungsdaten integriert. Das so aktualisierte DLM dient im Rahmen des Projektes AGRUM<sup>+</sup> als Datengrundlage für die Wasserhaushalts- und Nährstoffeintragsmodellierung am FZJ und beim IGB und wird für die Schnittstelle zur Übertragung der Datensätze zwischen den Modellen verwendet.

Sämtliche für die Modellierung benötigten **Klimadaten** (Niederschlagshöhe, Lufttemperatur und -feuchte) wurden in täglicher Auflösung vom Deutschen Wetterdienst als Stationsdaten für die

Zeitreihe 1983 bis 2005 zur Verfügung gestellt. Über entsprechende Regionalisierungsverfahren wurden aus diesen Stationswerten Niederschlagskarten und eine Karte der potentiellen Verdunstung erstellt.

Der Datensatz der **atmosphärischen Stickstoffdeposition** wurde federführend vom Institut für Navigation der Universität Stuttgart erstellt und beinhaltet landnutzungsbezogene NO<sub>x</sub>-N- und NH<sub>4</sub>-N-Deposition-Äquivalente in einem 1x1 km-Raster. Die Szenarien für das Jahr 2021 basieren auf der mittleren Deposition der Jahre 2004 bis 2007 (GAUGER ET AL., 2008). Anhand der Analyse statistischer Daten (BEHRENDT ET AL., 2002) lässt sich für die **Phosphordepositionsrate** europäischer Einzugsgebiete ein Mittelwert von 0,37 kg P/(ha-a) ableiten, der für die Berechnungen der Flussgebietseinheit Weser verwendet wurde.

Im Maßstab 1:50.000 lagen die **Bodendaten** der BÜK50 (Niedersachsen und Bremen), der BK50 (Nordrhein-Westfalen), der BFD50 (Hessen), der VBK50 (Sachsen-Anhalt) und der BGK50 (Thüringen) vor. Die Bodendaten für Bayern wurden aufgrund des geringen Flächenanteils am Wesereinzugsgebiet der Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK1000) entnommen. Durch Zusammenführen der Datensätze wurden flächendeckende Rasterdatensätze der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge, des Flurabstands und des Staunässegrads erzeugt. Im Vergleich mit Untersuchungen anderer Autoren weisen diese Daten eine deutlich höhere Auflösung als die bei Was-



► Abb. 12: verschiedene landwirtschaftliche Landnutzungen (Geries Ingenieure GmbH)

**Niederschlagshöhe** gibt an, wie hoch flüssiger Niederschlag eine horizontale Erdbodenoberfläche bedecken würde, wenn nichts davon verdunstet oder versickern würde. Eine Niederschlagshöhe von 1mm entspricht 1 Liter pro Quadratmeter.

Der **Staunässegrad** beschreibt den Einfluss von Stauwasser auf den Boden.

Als **Flurabstand** wird der Abstand zwischen Geländeoberkante und Grundwasseroberfläche bezeichnet. Die **Grundwasseroberfläche** ist die obere Begrenzungsfläche eines Grundwasserkörpers. Der Bereich des Bodens, der oberhalb der Grundwasseroberfläche liegt, aber dessen Poren teilweise mit Wasser gefüllt sind, wird **ungesättigte Bodenzone** genannt.



► Abb. 13: Kläranlageneinleitung (FGG Weser)

serhaushalts- und Nitratreintragsuntersuchungen für makroskalige Untersuchungsgebiete üblicherweise eingesetzten Daten auf.

Die Reliefdaten (Hangneigung) wurden aus sechs **digitalen Geländemodellen** (DGM) der beteiligten Bundesländer zusammengesetzt. Für den größten Teil der Flussgebietseinheit Weser konnten hierbei die in den Ländern vorliegenden DGM5 genutzt werden. Nur für die Einzugsgebietsanteile aus den Bundesländern Bayern, Bremen und Sachsen-Anhalt wurde auf Daten aus dem DGM10 zurückgegriffen. Aus dem zusammengesetzten digitalen Geländemodell wurden dann die Reliefparameter Hangneigung und Exposition mit einer Auflösung von 100 x 100 m abgeleitet.

Amtliche Kartenwerke zur Lage **künstlich gedränkter landwirtschaftlicher Nutzflächen** liegen nicht oder nicht flächendeckend vor, sodass sie abgeleitet werden müssen. Hierzu wurde ein im FZJ bereits entwickelter Ansatz (TETZLAFF ET AL., 2008) verwendet, bei dem gedränkte Flächen zunächst aus Luftbildern ermittelt und digitalisiert werden. Aus einer Reihe von Landnutzungs- und Bodenparametern werden diejenigen Standorteigenschaften ermittelt, anhand derer auf eine Dränung geschlossen werden kann.

Die Karten der **hydrogeologischen Gesteinseinheiten** und der **hydraulischen Durchlässigkeit** wurden aus der Hydrogeologischen Übersichtskarte 1:200.000 (HÜK200) entnommen.

Der Datensatz zu Einträgen über

**kommunale Kläranlagen** und **industrielle Direkteinleiter** wurde von den Bundesländern über die FGG Weser zur Verfügung gestellt. Von Thüringen wurden zusätzliche Informationen zu kommunalen und industriellen Einleitern bereitgestellt, um die Aktualität der Daten zu gewährleisten. Weiterhin wurden Daten zum Anschlussgrad an kommunalen Kläranlagen, Kleinkläranlagen sowie Trenn- und Mischsysteme ausgewertet.

# 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 verschiedenen Abflusskomponenten Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Drainageabfluss, Sickerwasser sowie Grundwasserneubildung vorgenommen werden.

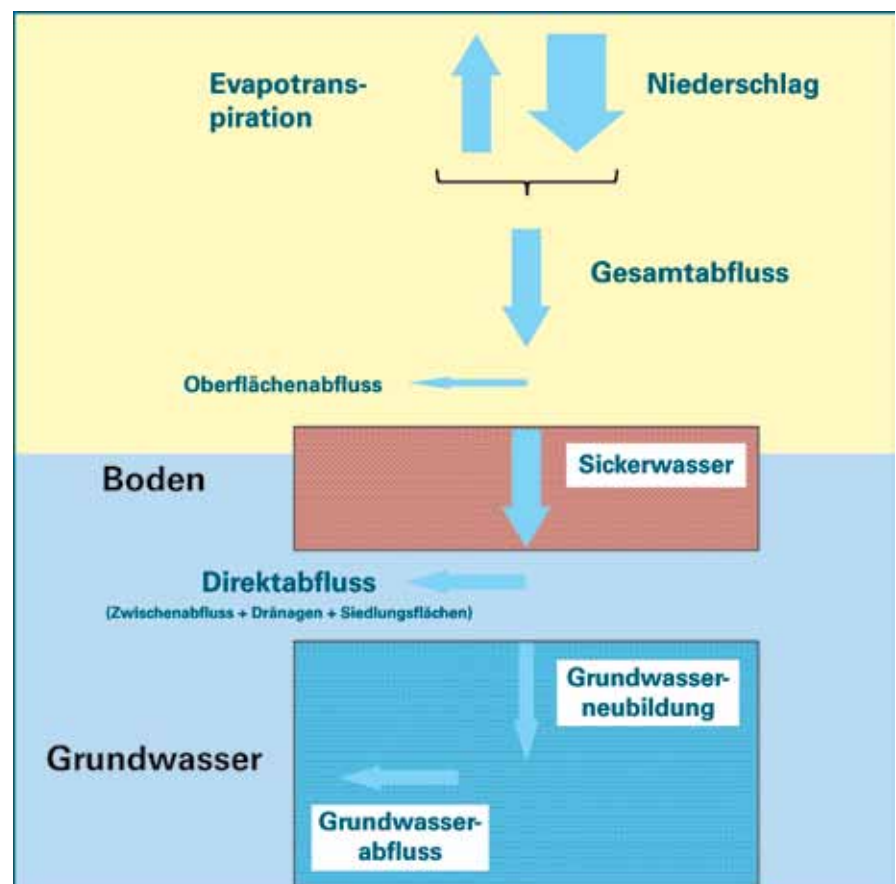
Die relevanten Wasserhaushaltskomponenten sind der Niederschlag und die Verdunstung, deren Differenz den Gesamtabfluss ergibt. Dieser teilt sich auf der Geländeoberfläche in den Oberflächenabfluss und das in den Boden eindringende Sickerwasser auf. Unterhalb der ungesättigten Bodenzone trennt sich das Sickerwasser nochmals in die schnell abfließende Komponente Direktabfluss (Zwischenabfluss und Dränagen) und die zeitlich stark verzögert abfließende Komponente Grundwasserabfluss auf (►Abb. 14).

Beim im Boden vorhandenen Wasser (Bodenwasser) wird unterschieden zwischen frei beweglichem Sicker- und Grundwasser, unbeweglichem Kapillar- und Adsorptionswasser sowie an der Versickerung gehindertem Stauwasser. Sickerwasser ist in den Boden eingedrungenes Wasser, was sich unter Einwirkung der Schwerkraft

abwärts zum Grundwasserleiter bewegt. Wenn Sickerwasser sich aufgrund der Bodenbedingungen z. B. durch Schluff- oder Tonschichten nicht weiter abwärts bewegt sondern aufstaut, spricht man von Staunässe bzw. Stauwasser.

Das Bodenwasser, welches zwischen Bodenoberfläche und Grundwasser innerhalb weniger Tage in den Vorfluter abfließt, wird Zwischenabfluss genannt. Der Direktabfluss wiederum erfasst alle Komponenten, die nur mit geringer Verzögerung an die Vorfluter abgegeben werden. Das sind im

*Verdunstungsrate ist das Volumen an Wasser, das an einem bestimmten Ort in einer bestimmten Zeit durch Verdunstung an die Atmosphäre abgegeben wird. Gemessen wird die **Verdunstungshöhe** in mm bzw. in l/m<sup>2</sup>.*



►Abb. 14: Komponenten des Wasserhaushalts in GROWA (Heidecke et al., 2015)

Einzelnen der Oberflächenabfluss, der Dränageabfluss und der Zwischenabfluss. Die Summe der Komponenten aus Oberflächenabfluss, dem Zwischenabfluss, der Sickerwasserhöhe, dem Dränageabfluss und dem Basis- oder Grundwasserabfluss bildet den Gesamtabfluss.

Basis für die Analyse der Nährstoffeinträge bildete ein über mehrere Jahrzehnte (Klimadaten von 1983 bis 2005) gemittelter Wasserhaushalt, um Einflüsse wie z. B. klimatische Schwankungen und Extremereignisse (Extreme Trockenjahre) zu vermeiden. Die Modellierung selbst erfolgte in einem 100 x 100 m - Raster, so dass für jede einzelne Rasterzelle ein quasistationärer durchschnittlicher Zustand des Wasserhaushalts angenommen wird. Die langfristigen Mittelwerte der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten in der Flussgebietseinheit Weser zeigt ►Tab. 1.

<b>Wasserhaushaltskomponente</b>	<b>Langfristiger Mittelwert [mm/a]</b>
Mittlere reale Verdunstung	470
Mittlerer Jahresniederschlag	830
Gesamtabfluss	360
Oberflächenabfluss	50
Sickerwasserrate	310
Zwischenabfluss	120
Dränagen	80
Mittlere Grundwasserneubildung	110

► Tab. 1: Kenngrößen des mittleren langfristigen Wasserhaushalts (1983 bis 2005) in der Flussgebietseinheit Weser (FGG Weser)



# Analyse der Nährstoffbilanzen für das Basisjahr 2007

Die im GROWA-Modell ausgewiesene Wasserhaushaltsmodellierung der Abflusskomponenten (=Eintragspfade) bildet die Grundlage für die Modellierung des Nährstoffeintrags, ausgehend vom Boden bis in die Oberflächen- und Küstengewässer. Die Nährstoffüberschüsse von landwirtschaftlichen Flächen können somit auf mit dem Wasserhaushalt korrespondierende Komponenten übertragen werden. Aufgetragene Düngemengen als Summe aus Wirtschafts- und Mineraldünger, inkl. der Einträge von sekundären Rohstoffdüngern wie Kompost und Klärschlamm, sowie Einträge der biologischen Stickstoff-Fixierung und der atmosphärischen Deposition werden teilweise von den Pflanzen aufgenommen und mit der Ernte entzogen. Übrig bleibt der Nährstoffbilanzüberschuss als potentielle Belastungskomponente für Boden und die Gewässer, hinzu kommt der Eintrag aus der atmosphärischen Deposition. Die Nährstoffe werden dann zum Teil über den Oberflächenabfluss (Abschwemmung und/oder Erosion) direkt in die Vorfluter eingetragen. Vor allem die Erosion kann dabei für Phosphor relevant sein. Große Nährstoffmengen (überwiegend Nitrat) versickern aber im Boden. Nitrat kann durch mikrobielle Prozesse im Boden teilweise abgebaut werden (= Denitrifikation), wenn die Verlagerung zeitlich verzögert oder langsam erfolgt. Die im Boden verbleibende Menge wird dann entweder relativ schnell über den Zwischenabfluss oder Dränagen in die Oberflächengewässer eingetragen oder fließt mit der Grundwasserneubildung dem Grundwasser

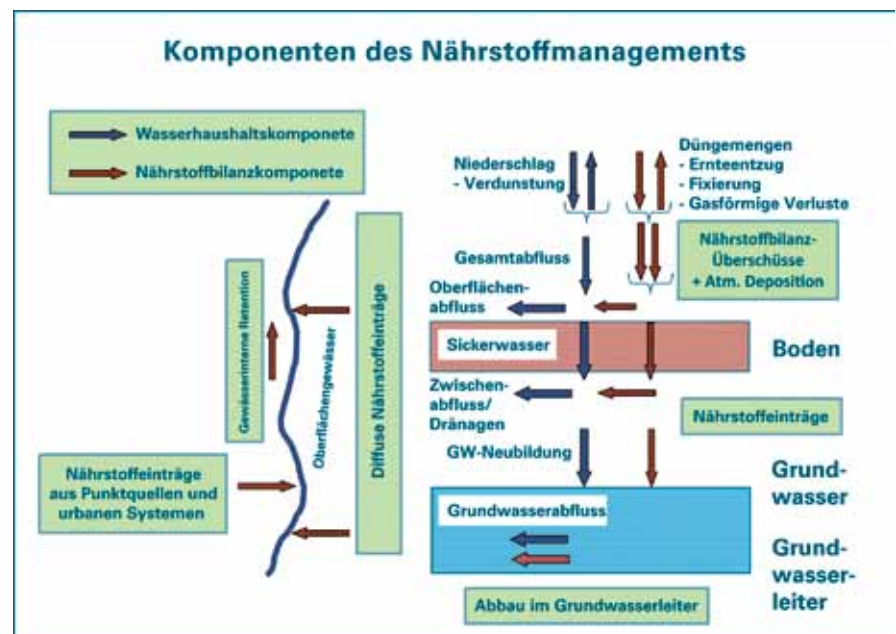
zu. Im Aquifer können weitere Denitrifikationsprozesse stattfinden, bevor das Grundwasser stark zeitverzögert in die Oberflächengewässer gelangt. Zudem sind Nährstoffeinträge von versiegelten Flächen in urbanen Gebieten und punktuelle Einträge aus Kläranlagen zu berücksichtigen (►Abb. 15).

## Entwicklung der Nährstoffbilanzüberschüsse in Deutschland

Die landwirtschaftliche Hofterbi-lanz für Stickstoff ist seit Ende der 1980er-Jahre deutschlandweit stark zurückgegangen. Während der Stickstoffbilanzüberschuss 1990 in Deutschland noch bei über 150 kg/ha LF lag, sank er bis 2007 um fast 50 kg/ha auf ca. 100 kg/ha LF ab (►Abb. 16). Im Wesentlichen sind hierfür drei Effekte relevant.

Bei einer **Stickstoff-Fixierung** wird durch Mikroorganismen molekularer Stickstoff ( $N_2$ ) zu bioverfügbaren Verbindungen reduziert. Diese Organismen leben entweder in Symbiose mit Pflanzen (symbiotische Stickstoff-fixierung) oder nicht (asymbiotische Stickstofffixierung).

Vorflut ist die Möglichkeit des Wassers, mit natürlichem Gefälle oder durch künstliche Hebung abzufließen (natürliche und künstliche Vorflut). Als **Vorfluter** werden die der Vorflut dienenden Gewässer bezeichnet (DIN 4049).



►Abb. 15: Komponenten des Wasserhaushalts und der Nährstoffbilanz (FGG Weser)

Als **Denitrifikation** wird ein Prozess bezeichnet, in dem der im Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) gebundene Stickstoff zu molekularem Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) reduziert wird. Denitrifikationsprozesse, die auf organische Kohlenstoffquellen angewiesen sind, werden als **heterotrophe Denitrifikation** bezeichnet. Erfolgt der Nitratabbau dagegen unter Beteiligung von Pyrit, so spricht man von **autotropher Denitrifikation**.

Bedingt durch ansteigende Erträge stiegen die Nährstoffentzüge und die Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut an. Zugleich nahm der Einsatz sowohl von mineralischem als auch von organischem Stickstoff ab. Der Rückgang des organischen Stickstoffeinsatzes ist dabei auf die sinkenden Viehbestände insbesondere bei den Rindern zurückzuführen.

Die Gesamtbilanz für Phosphor ist seit Beginn der 1990er-Jahre in Deutschland stark abnehmend (►Abb. 16). Während der Phosphor-gesamtbilanzüberschuss 1980 bei über 30 kg/ha LF lag, ist er bis Mitte des Jahres 2000 stark zurückgegangen und konnte unter 10 kg/ha LF reduziert werden. Trotz dieses Rückgangs steigen die Phosphorgehalte der Böden und somit die Einträge im Mittel sogar an, da immer noch ein Überschuss von 8 kg/ha LF und Jahr vorhanden ist, der in die Böden eingetragen und weitgehend

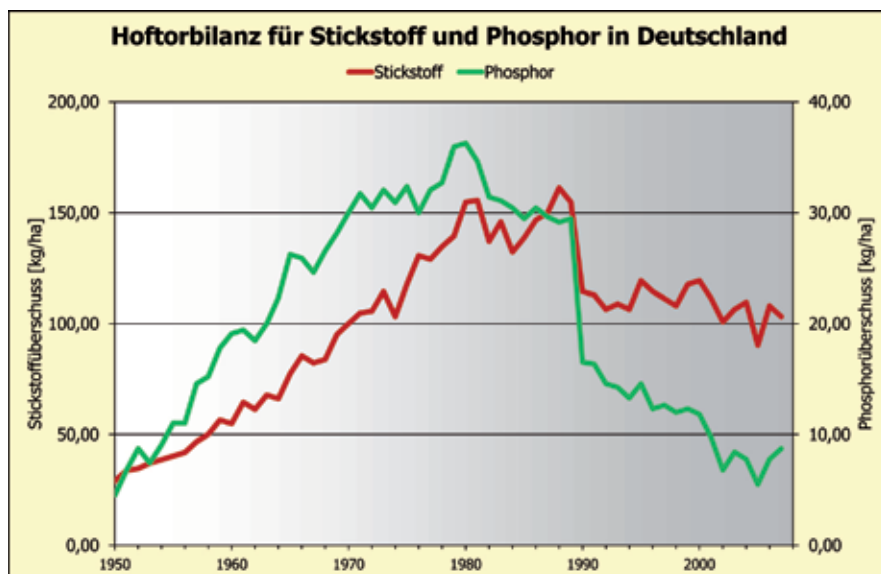
gespeichert wird (UBA, 2010).

## Nährstoffbilanzüberschüsse für das Basisjahr 2007

Die Nährstoffbilanzüberschüsse im Basisjahr wurden für die Bundesländer Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Hessen auf der Gemeindeebene und für die Bundesländer Sachsen-Anhalt und Thüringen aufgrund der verfügbaren Datenbasis auf der Kreisebene berechnet. Die Berechnungen erfolgten unter Berücksichtigung des Mineraldüngereinsatzes, des Anfalls organischer Dünger, Gärresten und sekundären Rohstoffdüngern wie Klärschlamm und Kompost aber auch der Stickstoffbindung aus Leguminosen auf der einen Seite sowie der Nährstoffentzüge über das Erntegut und Ammoniakverluste aus der Tierhaltung auf der anderen Seite.

Die regionale Verteilung des Mineraldüngers fiel sehr unterschiedlich aus. Die höchsten Mineraldüngergaben fanden sich in den vieharmen Ackergunststandorten der Flussgebietseinheit 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 richtete sich nach den regionalen Umfängen der Tierproduktionsverfahren sowie den tierartspezifischen Koeffizienten der Nährstoffaus-



►Abb. 16: Hoftorbilanz für Stickstoff und Phosphor in Deutschland 1950 bis 2008 nach Bach und Frede (UBA, 2010)

scheidung. In Regionen im Norden, Osten und Süden der Flussgebietseinheit Weser, in denen ein überdurchschnittlicher Grünlandanteil an der LF zu beobachten war, überwog die Milchkuh- bzw. die Rinderhaltung. Die Stickstofflieferungen aus der Rinder- und Milchkuhhaltung lagen in diesen Regionen teilweise über 100 kg N/ha LF. Demgegenüber fielen in ackerbaulich geprägten Regionen die Stickstofflieferungen aus der Rinder- und Milchkuhhaltung mit weniger als 15 kg N/ha LF gering aus. Eine hohe Konzentration an Veredelungswirtschaft fand sich in einem Gürtel unterhalb von Bremen, der sich westlich bis einschließlich des nordrheinwestfälischen Teils der Flussgebietseinheit Weser hinunter zog. In dieser Region war die Schweinehaltung von besonderer Bedeutung. Hinzu kam, dass im Westen dieser Region auch die Geflügelhaltung eine größere Bedeutung hatte, sodass im Durchschnitt die Stickstofflieferung allein aus der Schweine- und Geflügelhaltung in einigen Gemeinden bei über 100 kg N/ha LF lag. Geringe Stickstofflieferungen aus der Schweine- und Geflügelhaltung fanden sich, ähnlich wie bei der Rinderhaltung, in den ackerbaulich geprägten Regionen. Sie betrugen hier weniger als 10 kg N/ha LF.

Die höchsten Stickstofflieferungen aus Wirtschaftsdünger waren mit mehr als 125 kg N/ha LF im Norden und Westen der Flussgebietseinheit Weser zu finden. Weniger als die Hälfte an organischem Stickstoff wurde in den ackerbaugeprägten Gunststandorten ausgebracht. Eine

ähnliche regionale Verteilung wie beim Stickstoff ergab sich für die Phosphorlieferungen aus Wirtschaftsdünger. Während im Nordwesten mehr als 30 kg P/ha LF ausgebracht wurden, waren es in den vieharmen Regionen der Flussgebietseinheit Weser weniger als 10 kg P/ha LF.

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

Gebiete mit hohen Stickstoffüberschüssen und großem Eintragsrisiko waren vor allem die viehstarken Regionen im Nordwesten der Flussgebietseinheit Weser mit einem Bilanzüberschuss von jährlich bis zu 150 kg N/ha LF ohne atmosphärische Deposition. Auch einige Regionen im Westen und Süden der Flussgebietseinheit Weser zeigten mit mehr als 90 kg N/ha LF hohe Stickstoffbilanzüberschüsse.

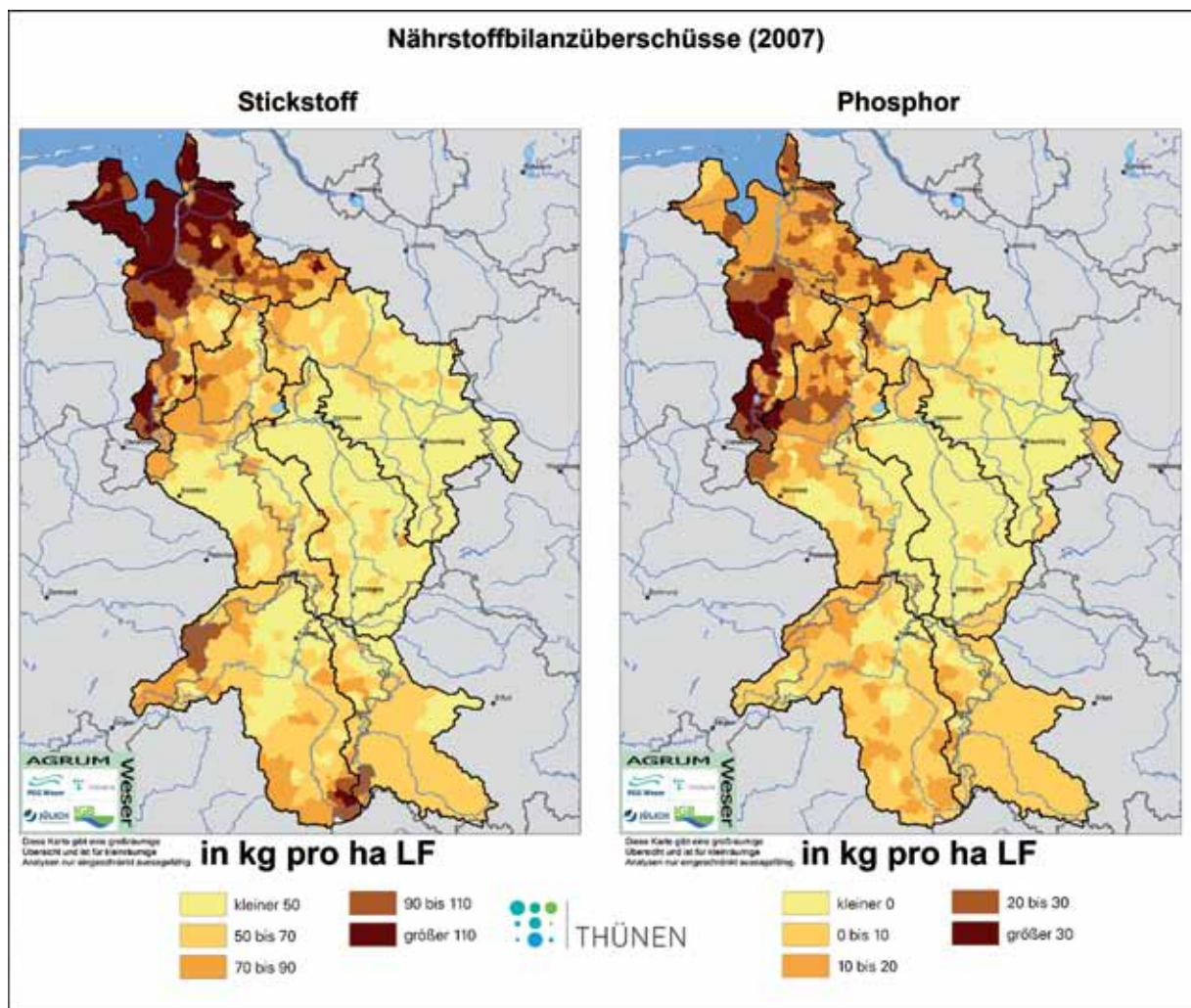


► Abb. 17: Wirtschaftsdüngeraufbringung mittels Schleppschuh (Landwirtschaftskammer Niedersachsen)

Niedrigere Stickstoffbilanzüberschüsse lagen in den überwiegend ackerbaulich geprägten Regionen vor, die gleichzeitig durch einen relativ geringen Sonderkulturanbau gekennzeichnet waren (►Abb. 18).

Die regionale Verteilung der Phosphorbilanzüberschüsse ähnelte der des Stickstoffs. Sowohl bei Stickstoff als auch bei Phosphor waren vorrangig hohe Viehbestandsdich-

ten für die regional hohen Überschüsse die Ursache (►Abb. 18). In den überwiegend ackerbaulich geprägten Regionen traten teilweise negative Bilanzüberschüsse für Phosphor auf. Durch die in der Vergangenheit hohen Phosphorbilanzüberschüsse hat sich in vielen Regionen ein „Phosphor-Speicher“ im Boden aufgebaut. Diese hohe Phosphor-Versorgungssituation der



►Abb. 18: Nährstoffbilanzüberschüsse (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)



Böden erlaubte es, dass über mehrere Jahre mehr Phosphor über das Erntegut entzogen werden konnte als auf der anderen Seite über Mineral- und Wirtschaftsdünger zugeführt wurde, ohne dass Ertrags-einbußen zu befürchten waren.

### Nährstoffeinträge und -frachten für das Basisjahr 2007

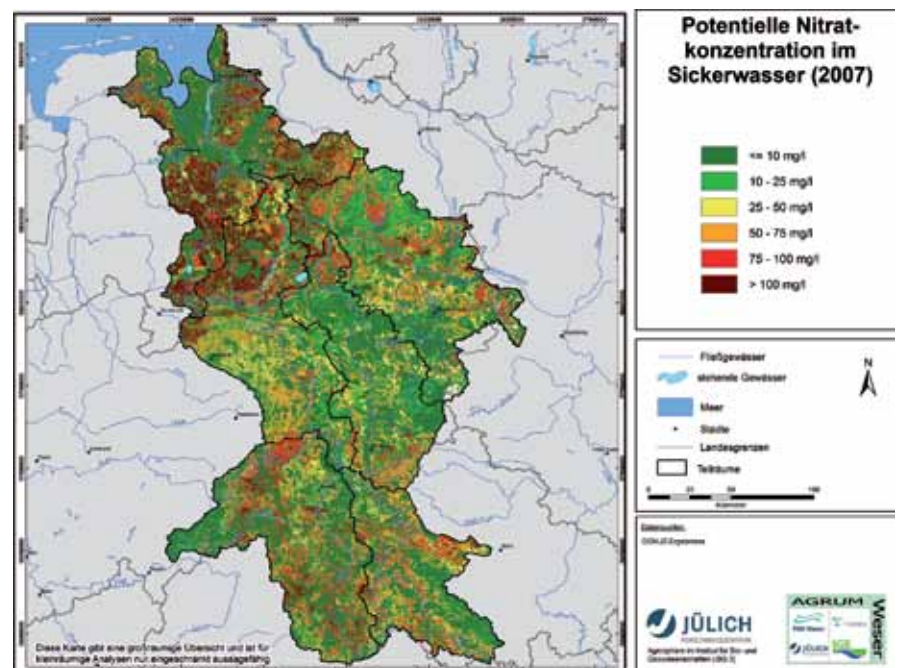
Zur Analyse der Nährstoffeinträge in die Gewässer für das Jahr 2007 wurden die Nährstoffbilanzüberschüsse als Eingangsdaten an die hydrologischen Modelle GROWA-DENUZ-WEKU und MONERIS weitergegeben und auf die entsprechenden Modellbetrachtungsebenen (Rasterzelle und Einzugsgebiete der Oberflächenwasserkörper) übertragen.

Zu den Nährstoffbilanzüberschüssen der landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden die vorab nicht in RAUMIS berücksichtigten Nährstoffeinträge aus atmosphärischer Deposition als weitere Stickstoffeintragsquelle landnutzungsspezifisch eingerechnet, um die Gesamteinträge zu ermitteln. Zudem wurde die für Wälder und Grünland typische Nährstoffimmobilisierung berücksichtigt. Die Summe dieser Nährstoffe hieraus bildet somit die in den Boden verlagerbare Nährstoffmenge.

### Stickstoffeinträge mit den Modellen GROWA-DENUZ-WEKU

Mit den Modellen GROWA-DENUZ wurden zunächst der diffuse Stickstoffaustrag aus dem Boden und die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser ermittelt. Die mit

dem Sickerwasser in den Boden eindringenden verlagerbaren Stickstoffüberschüsse gelangen im Allgemeinen nicht vollständig mit der Grundwasserneubildung ins Grundwasser bzw. über Drainagen und Zwischenabfluss auf direktem 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. Dieser Prozess wird als Denitrifikation bezeichnet. Das Ausmaß dieser Vorgänge hängt in komplexer Weise von einer Vielzahl verschiedener Einflussfaktoren wie z. B. Bodenfeuchte, Humusgehalt oder Verweilzeit im Boden ab. Die Stickstoffreduzierung im Boden beträgt hierbei



► Abb. 19: Potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

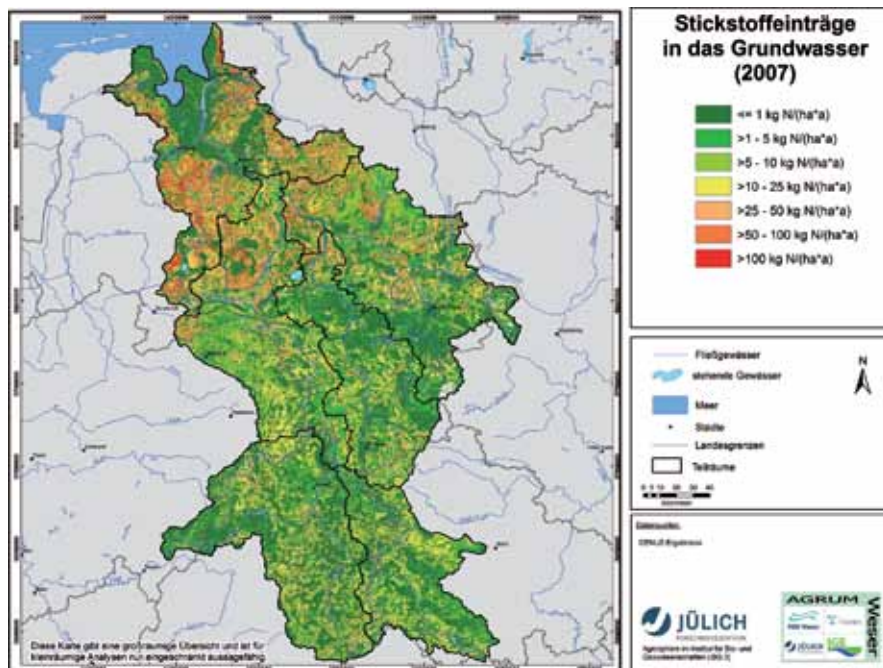
zum Teil über 80 %. Die höchsten Abbauraten verzeichnen die Niederungsregionen an der Küste und im Binnenland sowie die Bördegebiete, die niedrigsten Abbauraten im Boden treten in den Podsolen im Nordosten des Einzugsgebiets auf.

Die nach der Denitrifikation im Boden verbleibenden Stickstofffrachten unterhalb der Bodenzone ergeben dann in Kombination mit der Sickerwassermenge die potentiellen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Diese gibt an, mit welcher mittleren Konzentration das aus dem Boden ausgetragene Nitrat in das Grundwasser bzw. über den Direktabfluss in die Oberflächengewässer eintragen wird. In den meisten Regionen im Nordteil der Flussgebietseinheit Weser ergaben sich für 2007 großflächig Nitratkon-

zentrationen im Sickerwasser von 50 mg NO<sub>3</sub>/l und mehr (►Abb. 19). Besonders hohe Werte errechneten sich flächendeckend für die landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen der Syker Geest. Dort wurden vereinzelt Nitratkonzentrationen von mehr als 300 mg/l errechnet. Relativ geringe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser ergaben sich für die landwirtschaftlich extensiv genutzten Mittelgebirgsregionen sowie auch für die Börden.

Da Denitrifikationsprozesse in der ungesättigten Zone unterhalb des durchwurzelten Bereichs vernachlässigt werden können, entspricht die mittlere auswaschungsgefährdete Nitrat-Stickstoffmenge im Boden unterhalb der durchwurzelten Bodenzone der Nitratmenge, die über die Komponenten des Abflusses ins Grundwasser bzw. die Oberflächengewässer eingetragen werden. Die Nitratmenge teilt sich dabei nach dem Verhältnis Direktabfluss/Grundwasserneubildung auf die einzelnen Abflusskomponenten auf. Ein Teil gelangt über die Direktabflusskomponenten ohne weitere Denitrifikation in die Oberflächengewässer, der andere Teil gelangt über die Grundwasserneubildung in den Aquifer. Auf seinem Transport im Grundwasserraum können weitere Abbauprozesse auftreten, die die Nitratreinträge in die Vorfluter über den Grundwasserabfluss unter Umständen deutlich reduzieren.

Insgesamt wurden 2007 mit der Grundwasserneubildung ca. 54.100 t N/a in die Aquifere eingetragen. Für große Teile der Lockergesteinsregion im Norden der Flussgebietseinheit Weser ergaben



►Abb. 20: Stickstoffeinträge in das Grundwasser (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

sich 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. 20). In den Marschgebieten im Unterlauf der Weser sowie in den Festgesteinsregionen, d. h. allen Gebieten mit geringem Trockenwetterabfluss, ergaben sich dagegen geringere Stickstoffeinträge in das Grundwasser.

Auf dem Weg zum Vorfluter kann es in Abhängigkeit von den Denitrifikationsbedingungen im Aquifer zu einem signifikanten Nitratabbau kommen. Dieser Nitratabbau wird in nitratabbauenden Aquiferen dabei umso effektiver, je größer die Verweilzeit des Nitrats im Aquifer ist.

Die Fließzeiten 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 hydrogeologische Größen wie dem Durchlässigkeitsbeiwert und dem nutzbaren Hohlraumanteil, aber auch durch den aus der Morphologie der Grundwasseroberfläche abzuleitenden hydraulischen Gradienten, beeinflusst wird. Die in ►Abb. 21 dargestellten mittleren Fließzeiten des Grundwassers weisen eine große Spannbreite zwischen weniger als einem Jahr und mehr als 100 Jahren auf. Geringe Verweilzeiten ergeben sich generell für Bereiche in Vorfluternähe, Regionen mit hoher Vorfluterdichte und/oder Regionen mit steilen hydraulischen Gradienten (Festgesteinsregionen).

Längere Fließzeiten treten in der Regel in flacheren Gebieten wie z. B. dem Aller-Urstromtal auf.

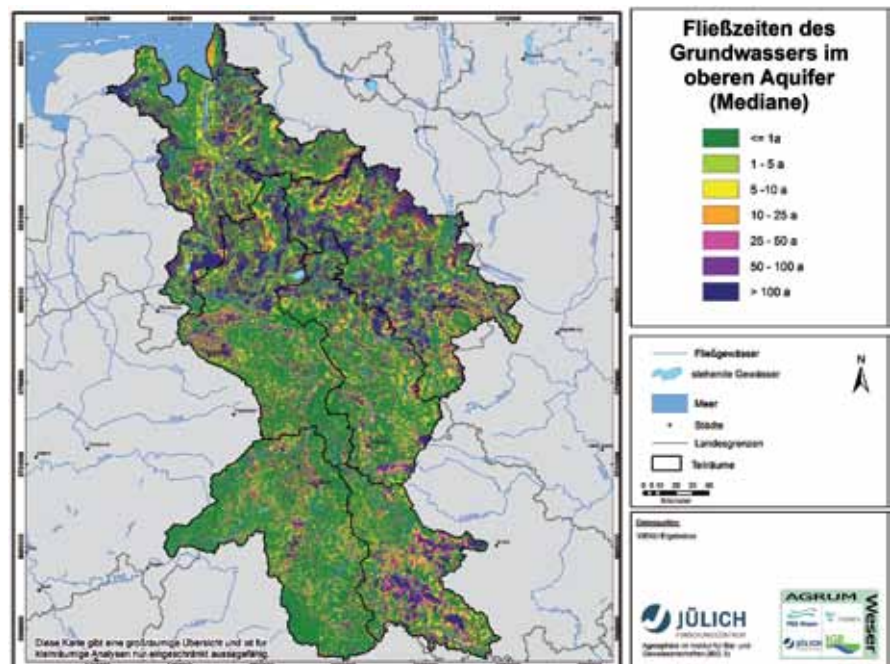
Für eine Denitrifikation im Grundwasserleiter sind ein sauerstoffarmes Milieu sowie das Vorhandensein von organischen Kohlenstoff- oder Eisensulfid-Verbindungen wie z. B. Pyrit notwendig. Diese Voraussetzungen findet man in den Aquiferen des Wesereinzugsgebietes nur im Lockergesteinsbereich der norddeutschen Tiefebene, in der das Nitrat bei ausreichend langer Fließstrecke fast vollständig mikrobiell abgebaut werden kann. 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 zu einem

Als **Trockenwetterabfluss** wird der Abfluss bezeichnet, der sich bei trockenem Wetter einstellt.

Der **Durchlässigkeitsbeiwert** (kf-Wert) quantifiziert die Durchlässigkeit von Böden. Er ist primär abhängig von der Porosität der Böden bzw. bei Fels von seiner Klüftigkeit. Die Korngrößen und das Porenvolumen bestimmen wiederum die Porosität.

Als der für Grundwasser **nutzbare Hohlraumanteil** wird das Volumen bezeichnet, das von beweglichen, wandlungsfähigen Medien, wie Wasser und Gasen, eingenommen werden kann.

Der **hydraulische Gradient** ist das Verhältnis zwischen dem Druckhöhenunterschied oder der Wasserstands Differenz und der Fließlänge.



►Abb. 21: Fließzeiten des Grundwassers im oberen Aquifer in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)



Die **Fließzeit** in einem Grundwasserleiter ist das Zeitintervall, das ein Stoff benötigt, um vom Eintritt in das Grundwasser zum Vorfluter zu gelangen.

Beim Nitratabbau im Grundwasser werden reduzierte Schwefel-Eisen-Verbindungen (z. B. Pyrit) bzw. organischer Kohlenstoff verbraucht. Wenn der natürliche Gehalt eines Grundwasserleiters an diesen Komponenten erschöpft ist, kommt es zu einem sprunghaften Anstieg der Nitratkonzentration im Grundwasser, dem sogenannten **Nitratdurchbruch**.

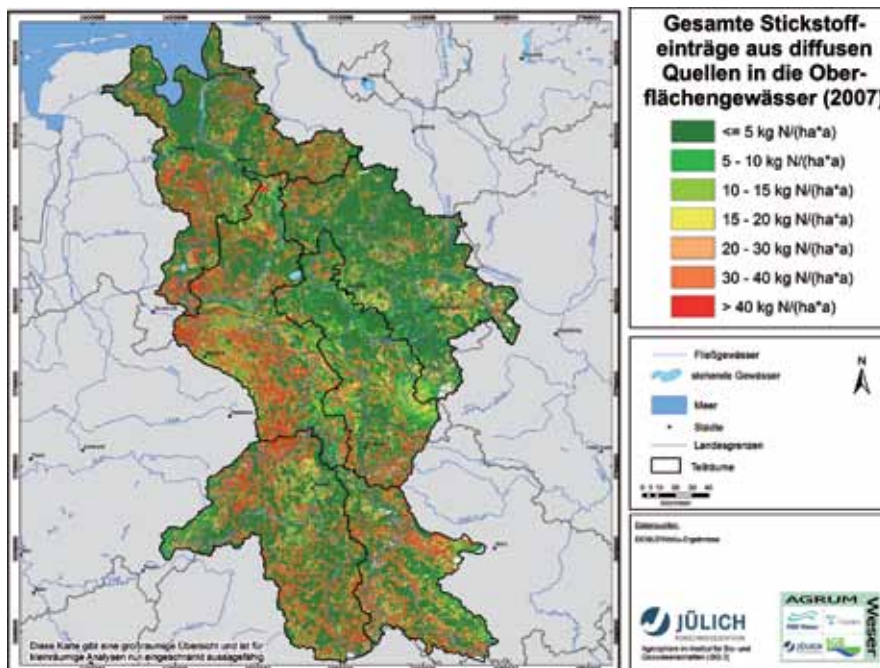
sogenannten „Nitratdurchbruch“ kommen und in der Folge zu einem erhöhten Stickstoffeintrag aus dem Grundwasser in die Oberflächengewässer. An dieser Stelle sei auch auf die Sekundärprobleme für die Wasserwirtschaft durch die Denitrifikation im Grundwasser hingewiesen, z. B. die Verockerung der Förderbrunnen durch Eisenausfällungen und den Anstieg der Arsen-, Nickel-, Kobalt-, und Sulfatkonzentrationen.

Im Gebietsmittel der Flussgebietseinheit Weser wurden 2007 etwa 6 kg N/(ha·a) über das Grundwasser in die Oberflächengewässer eingetragen, was einer Gesamtfracht von ca. 27.200 t N/a entspricht. Etwa zwei Drittel dieser Fracht stammen aus den südlichen Teilgebieten der Flussgebietseinheit Weser. Die

grundwasserbürtigen Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer entsprechen dort im Wesentlichen den Stickstoffeinträgen in das Grundwasser. Grund hierfür sind die dort vorherrschenden ungünstigen Denitrifikationsbedingungen, die einen nennenswerten Nitratabbau im Aquifer weitgehend verhindern.

Die Gesamtsumme der diffusen Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer (►Abb. 22) lag 2007 bei ca. 65.000 t N/a. Im Gebietsmittel errechneten sich so für die Flussgebietseinheit Weser Stickstoffeinträge in Höhe von ca. 14 kg N/(ha·a). Räumlich gesehen kommt es in der Flussgebietseinheit Weser in fast allen intensiv landwirtschaftlich genutzten Regionen zu erhöhten Stickstoffeinträgen in die Gewässer, die in einigen Regionen 40 kg N/(ha·a) übersteigen.

Es zeigt sich, dass der Eintrag in die Vorfluter vor allem über die diffusen Eintragspfade „Grundwasser“, „Drainagen“ und „natürlichen Zwischenabfluss“ erfolgt (►Abb. 23). So gelangten über diese drei Eintragspfade mit fast 62.000 t N/a ca. 80 % des gesamten Stickstoffeintrags in die Vorfluter. Die übrigen diffusen Eintragspfade (Erosion, Abschwemmung, Deposition auf Gewässerflächen) besitzen dagegen nur eine untergeordnete Bedeutung am Stickstoffeintrag in die Vorfluter. Die punktförmigen und urbanen Stickstoffeinträge haben ebenfalls eine geringere Relevanz und lagen bei ca. 9.000 t N/a. Mit einem Verhältnis von punktuellen/urbanen zu diffusen Quellen von ca. 15 % zu 85 % lag der Schwerpunkt aber eindeutig auf Seiten der diffusen



►Abb. 22: Gesamte Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)



Eintragspfade.

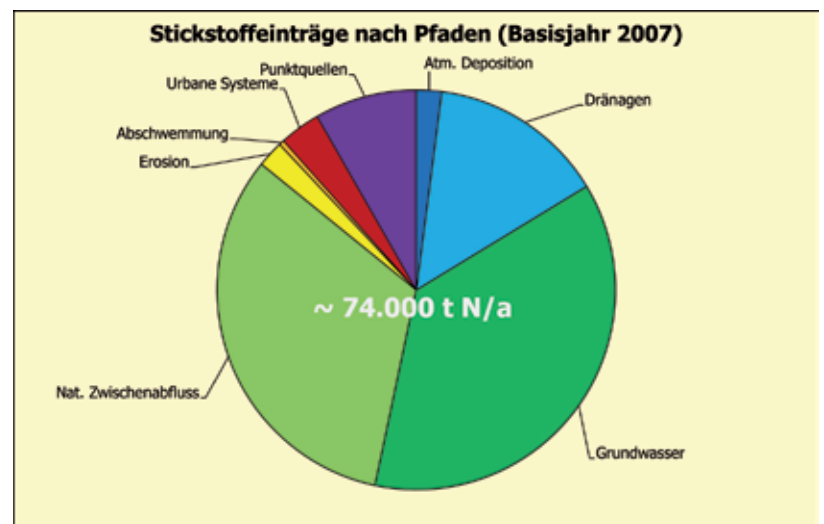
Der Eintragspfad „natürlicher Zwischenabfluss“ ist eigentlich nur für die Mittelgebirgsregion relevant, während der Eintrag aus Dränagen vor allem im Norddeutschen Tiefland dominiert. Im Hinblick auf den Eintragspfad Grundwasser zeigt sich, dass zwar zwei Drittel des gesamten Stickstoffeintrags ins Grundwasser im Norddeutschen Tiefland eingetragen wurden, aufgrund der Denitrifikation im Grundwasser aber nur ca. ein Drittel des gesamten Stickstoffeintrags in die Oberflächengewässer dort erfolgte. Insgesamt stammen auf diese Weise ca. 70 % der diffusen Stickstoffeinträge aus den drei wichtigsten diffusen Eintragspfaden aus der Mittelgebirgsregion.

### Phosphoreinträge mit dem Modell MEPhos

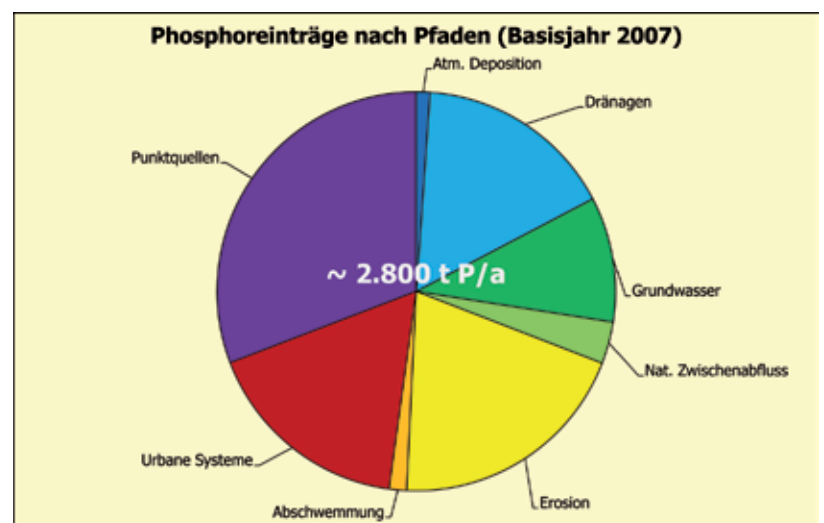
Im Gegensatz zum Stickstoff wird Phosphor unter den in Böden auftretenden Bedingungen nicht abgebaut. Phosphor wird häufig adsorptiv an Bodenpartikel gebunden und wird in gelöster Form nur in ganz geringen Mengen ins Sicker- und Grundwasser eingetragen. Er gelangt in der Regel ausschließlich über die Komponenten des Direktabflusses in die Vorfluter. Dies geschieht entweder gebunden an Bodenpartikeln über die Bodenerosion oder gelöst über Dränagen und Abschwemmung.

Das Verhältnis zwischen diffusen und punktuellen/urbanen Quellen war 2007 mit 52 % zu 48 % relativ ausgeglichen. Die Gesamtsumme des Phosphoreintrags aus punktförmigen und urbanen Quellen lag bei

ca. 1.350 t P/a. Mit etwa 20 % bzw. ca. 560 t P/a stellt die Erosion die bedeutsamste diffuse Phosphorquelle dar (►Abb. 24). Dann folgen Dränagen (ca. 460 t P/a bzw. 16 %) und Grundwasser (ca. 290 t P/a bzw. 10 %). Einträge über natürl-



►Abb. 23: Stickstoffeinträge 2007 in die Oberflächengewässer der Flussgebietseinheit Weser, aufgeschlüsselt nach Eintragspfaden (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)



►Abb. 24: Gesamte Phosphoreinträge 2007 in die Oberflächengewässer in der Flussgebietseinheit Weser, differenziert nach Eintragspfaden (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)

Als **Eutrophierung** bezeichnet man eine meist anthropogen bedingte Erhöhung des Nährstoffangebotes in Gewässern, in deren Folge es zu einem schädlichen Wachstum der Pflanzen und Algen kommt.

**Gesamtposphor** ( $P_{\text{ges}}$ ) ist die Summe aus gelöstem organischem und anorganischem, sowie an Partikel gebundenem Phosphor.

**Phosphate** werden häufig zur Düngung eingesetzt. Von den landwirtschaftlich genutzten Flächen gelangen die an Tonminerale gebundenen Phosphate hauptsächlich durch Erosion in Flüsse und Seen. Dort tragen Sie zur Eutrophierung bei.

**Stickstoff** ( $N_2$ ) kann über mikrobiell gesteuerte Redox-Reaktionen aus Nitrat mineralisiert werden. **Gesamtstickstoff** ( $N_{\text{ges}}$ ) ist die Summe aller organischen und anorganischen Stickstoffverbindungen.

chen Zwischenabfluss, Abschwemmung bzw. atmosphärische Deposition spielen eine untergeordnete Rolle.

Die erosionsbürtigen Phosphoreinträge nehmen von Süd nach Nord ab. Gleiches gilt für den natürlichen Zwischenabfluss. Phosphoreinträge aus Dränagen spielen schwerpunktmäßig im Tiefland eine Rolle, während ihr Beitrag zur Gewässerbelastung im Süden sehr gering ist.

Um Aussagen zur Eutrophierungsrelevanz von Phosphoreinträgen in Binnengewässern zu treffen, ist der Parameter Gesamtposphor nur von eingeschränkter Aussagekraft. In diesem Zusammenhang ist auf den gelösten Anteil bzw. den Parameter Orthophosphat abzustellen. Da letzterer in dieser Studie nicht Gegenstand der Modellierung war, wurde der gelöste Anteil am Gesamtposphor geschätzt, wie dies von TETZLAFF ET AL. (2009) für das Bundesland Hessen durchgeführt wurde. Bezogen auf gelöste Phosphoreinträge sind Punktquellen von noch größerer Bedeutung für den Phosphoreintrag, vor allem Kläranlagen. Der Anteil von Punktquellen am gelösten Phosphoreintrag betrug 60 % gegenüber 48 % beim Gesamtposphor.

### Nährstoffeinträge mit dem Modell MONERIS

Im Modell MONERIS wurden alle Phosphor- und Stickstoffeinträge über atmosphärische Deposition auf Wasserflächen, Abschwemmung, Erosion, urbane Gebiete und über Punktquellen analysiert. Basis für die Berechnungen bildeten ebenfalls die im Modell RAUMIS ermit-

telten Nährstoffbilanzüberschüsse ergänzt durch die Belastung aus atmosphärischer Deposition.

Die höchsten mittleren spezifischen diffusen Einträge wurden für die Teilräume der Hunte und der Ober- und Mittelweser ermittelt. Die geringsten mittleren spezifischen diffusen Einträge ergaben sich für die Aller.

Die höchsten Werte der diffusen Phosphoreinträge in der Tideweser ergaben sich für die Teileinzugsgebiete unterhalb der Hunte und der Küstendirekteinzugsgebiete, für die aufgrund eines hohen Anteils an Mooren und hoher Niederschläge die höchsten spezifischen Einträge über die Pfade Dränage und Grundwasser/Zwischenabfluss berechnet wurden.

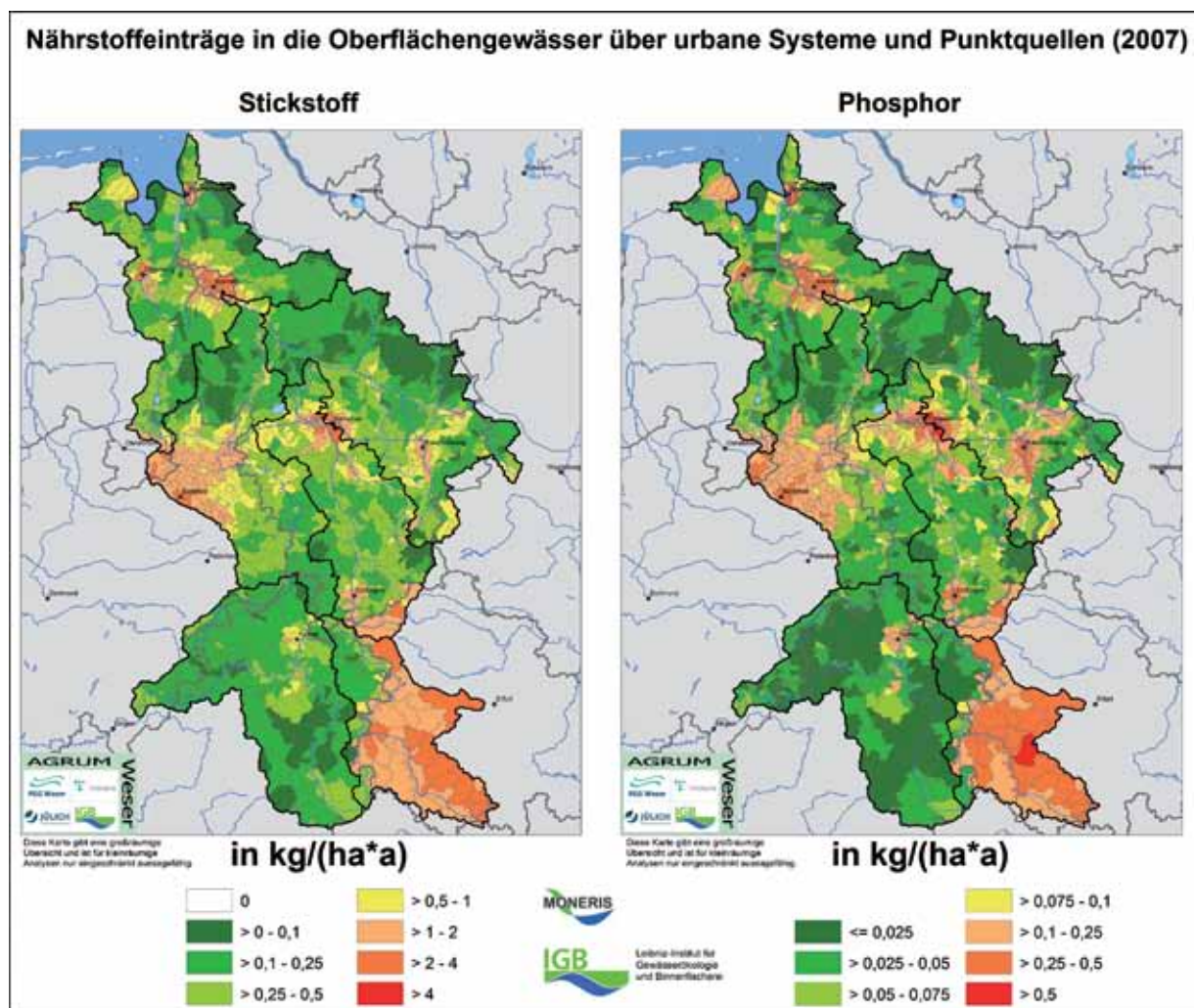
Die Stickstoffeinträge über urbane Flächen sind vor allem in den großen Städten wie Bremen und Hannover mit  $> 4 \text{ kg N}/(\text{ha}\cdot\text{a})$  relevant (►Abb. 25). Außerhalb der Städte liegen die Einträge in der Regel deutlich unter  $1 \text{ kg N}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ . Mit flächendeckend über  $2 \text{ kg N}/(\text{ha}\cdot\text{a})$  und teilweise über  $4 \text{ kg N}/(\text{ha}\cdot\text{a})$  stellen die thüringischen Gebiete eine Ausnahme dar. Die hohen Einträge in Thüringen werden vor allem durch Haushalte verursacht, die an Kleinkläranlagen angeschlossen sind.

Für die Phosphoreinträge aus urbanen Systemen ergibt sich ein ähnliches Verteilungsmuster (►Abb. 25) und auch eine vergleichbare Aufteilung in die verschiedenen Kompartimente des Eintragspfads wie für Stickstoff.

Die Stickstoffeinträge gelangen

hauptsächlich über die Pfade Dräna-  
gen/Grundwasser/Zwischenabfluss  
(80 %) und Punktquellen (8 %),  
Phosphoreinträge im Wesentlichen  
über Punktquellen (29 %), Dräna-  
gen/Grundwasser/Zwischenabfluss  
(35 %) und Erosion (18 %) in die  
Gewässer. In einzelnen Planungs-  
einheiten können jedoch auch Ein-  
träge über Punktquellen und urbane  
Systeme einen Eintragsanteil von

15 bis 20 % beitragen (►Abb. 26,  
links). Für Phosphor ist die Vertei-  
lung differenzierter. Während für  
die gesamte Flussgebietseinheit  
Weser Punktquellen mit 29 % den  
dominanten Eintragspfad darstellen,  
tragen in den Planungseinheiten In-  
nerste und Leine/Ilme Einträge über  
Erosion etwa 45 % der Einträge  
bei, wohingegen Dränagen in Hunte  
(55 %) und Wümme (61 %) die

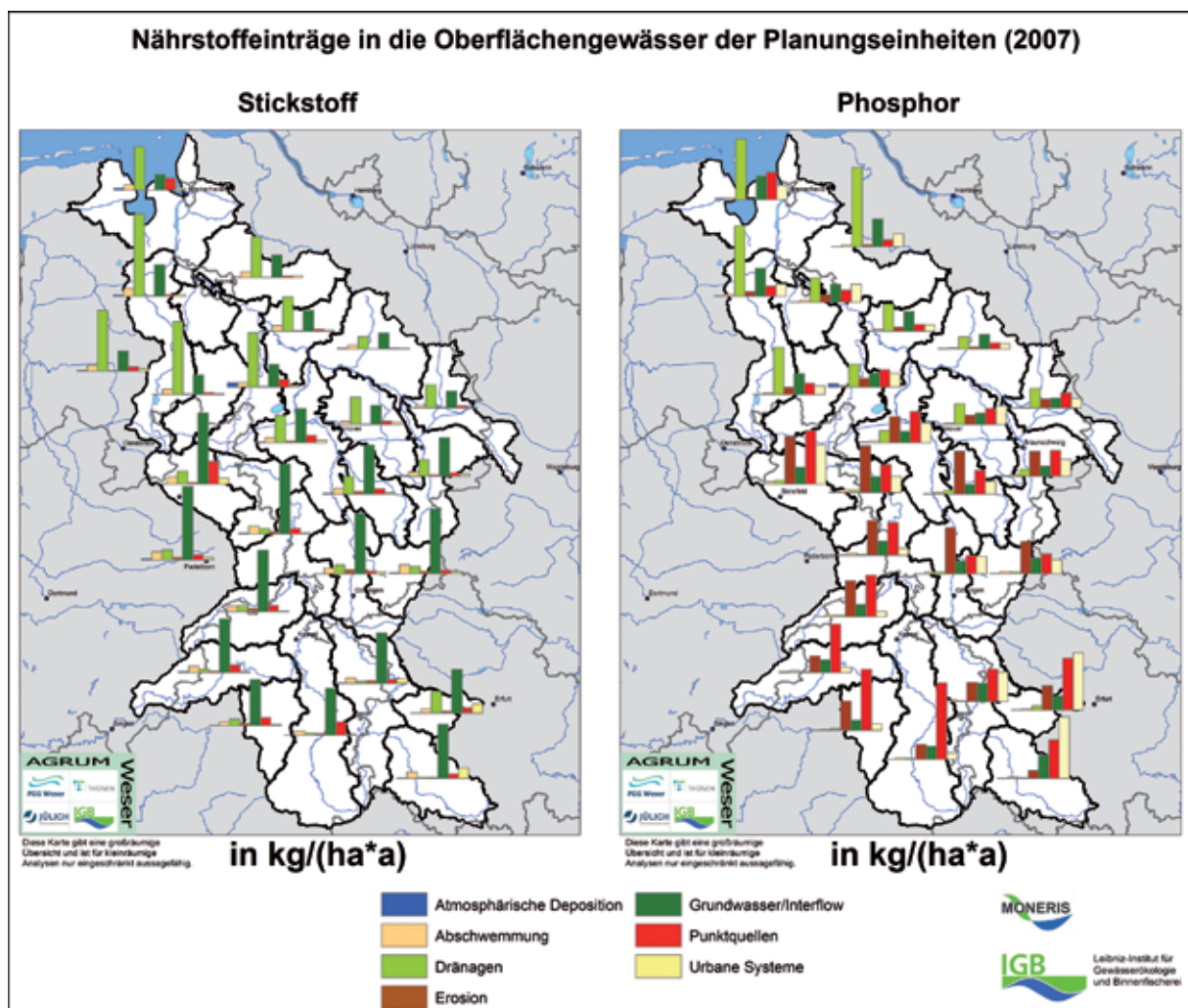


► Abb. 25: Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer über urbane Systeme und Punktquellen (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)

höchsten Eintragsanteile beisteuern (►Abb. 26, rechts). In der Oberen Werra hingegen sind mit 46 % die Phosphoreinträge über die urbanen Systeme dominant.

Die Einträge über die verschiedenen Pfade variieren natürlich auch innerhalb der fünf Teilräume der Flussgebietseinheit Weser. So trägt der für Stickstoff wichtigste Ein-

tragspfad Grundwasser im Teilraum Fulda/Diemel 70 % bei, während der Anteil in der Tideweser nur bei 24 % liegt. Für den Eintragspfad Dränagen liegt die räumliche Verteilung der Einträge bei 60 % in der Tideweser zu 6 % in Fulda/Diemel. Diese prozentuale Verteilung der Einträge erklärt sich zu einem Großteil durch die räumliche Verteilung der Dränagen, da diese einen Teil



►Abb. 26: Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der Planungseinheiten (2007) der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)



des Sickerwasser über den künstlichen Zwischenabfluss abführen und die Grundwasserneubildung und somit die Einträge über diesen Pfad reduzieren.

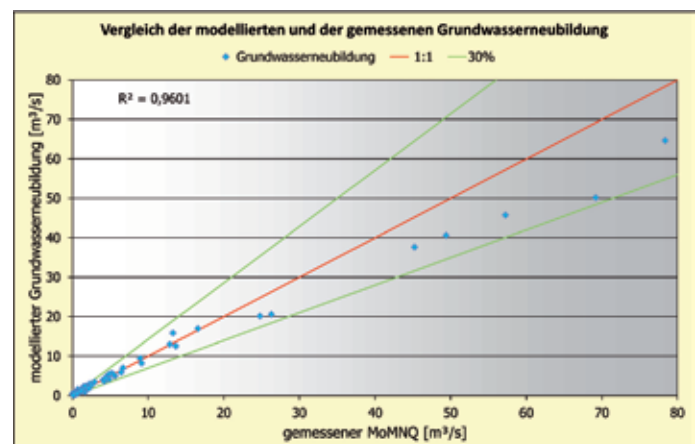
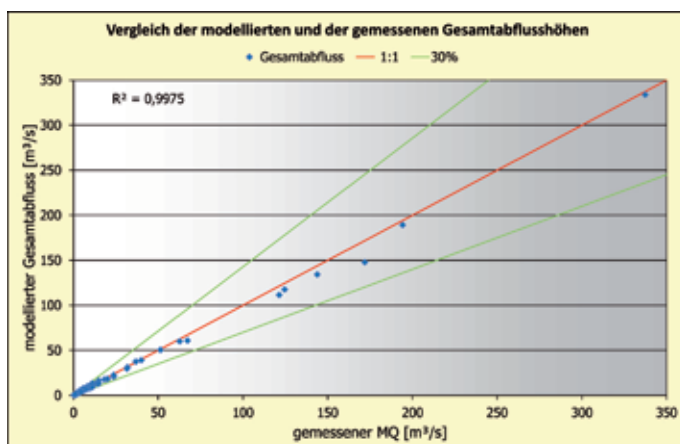
## Validierung der hydrologischen Modelle

### Wasserhaushaltsmodell GROWA

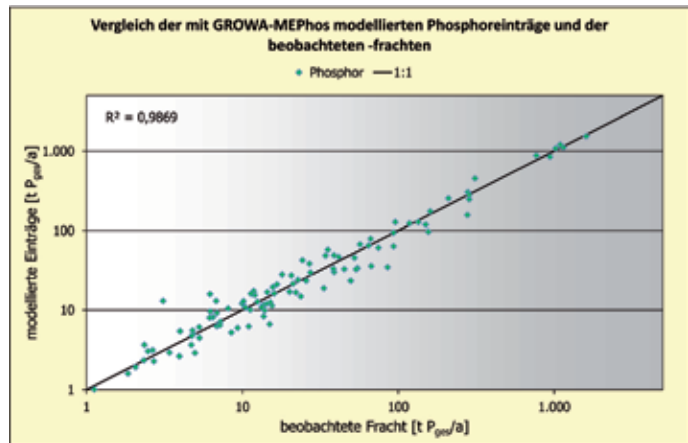
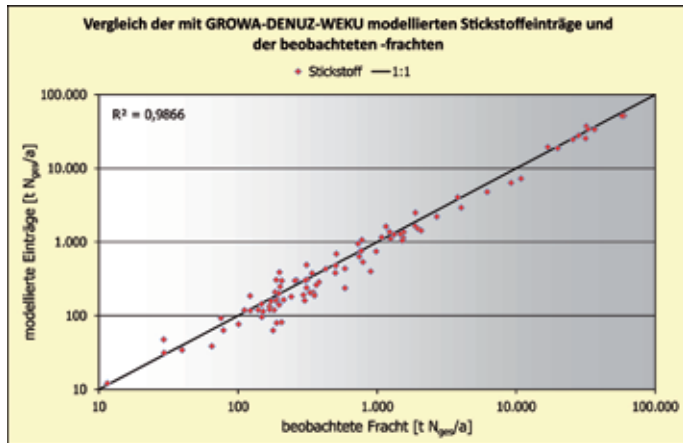
Um die Validität der Wasserhaushaltsmodellierung beurteilen zu können, wurde am Beispiel der mittleren Gesamtabflusshöhen sowie der Grundwasserneubildungshöhen ein Vergleich mit gemessenen Abflüssen durchgeführt (►Abb. 27). Hierzu wurden aus den Messdaten mittlere jährliche Abflüsse sowie mittlere jährliche Trockenwetterabflüsse bestimmt. Im nördlichen Teil der Flussgebietseinheit Weser wurden aufgrund des Tideeinflusses keine Pegel zur Validierung der berechneten Abflusshöhen herangezogen. Der Vergleich der gemessenen Gesamtabflusshöhen von 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 %. Keiner der 68 Pegel weist größere Abweichungen als 30 % auf.

Angesichts der insgesamt guten Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen wurden die Modellergebnisse zur mittleren Gesamtabflusshöhe und zur mittleren Grundwasserneubildungshöhe (1983 bis 2005) als valide angesehen. Eine Validitätsüberprüfung des Direktabflusses wurde nicht durchgeführt, da für diese Abflusskomponente im Gewässer keine gewässerkundliche Hauptzahl definiert ist. Da sich Direktabfluss und Grundwasserneubildung zum Gesamtabfluss addieren und die beiden letztgenannten Abflusstypen einer Überprüfung standgehalten haben, kann auch die mittlere Direktabflusshöhe, die im Mittelgebirgsraum durch den natürlichen Zwischenabfluss und im Norddeutschen Flachland durch den Dränabfluss bedingt ist, als valide



► Abb. 27: Vergleich der mit GROWA modellierten Gesamtabflusshöhen (links) und Grundwasserneubildungshöhen (rechts) mit gemessenen Abflüssen (Heidecke et al., 2015)



➤ Abb. 28: Vergleich der mit GROWA-DENUZ-WEKU modellierten Stickstoffeinträge (links) bzw. mit GROWA-MEPHos modellierten Phosphoreinträge (rechts) in die Vorfluter aus diffusen und punktförmigen Eintragsquellen mit beobachteten Stickstoff- bzw. Phosphorfrachten unter Berücksichtigung der gewässerinternen Retention (Heidecke et al., 2015)

eingeschätzt werden.

### **GROWA-DENUZ-WEKU-MEPHos**

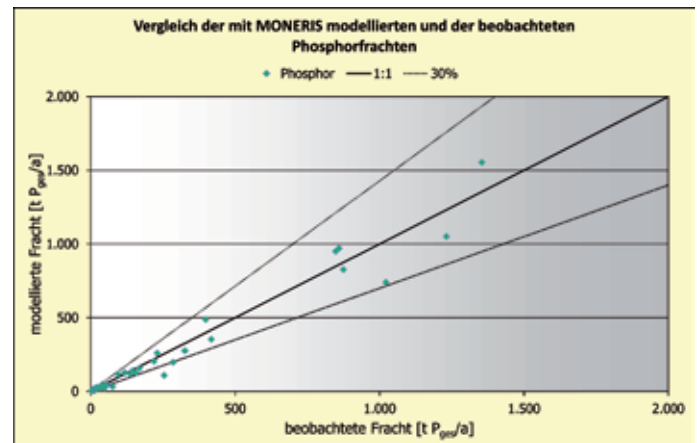
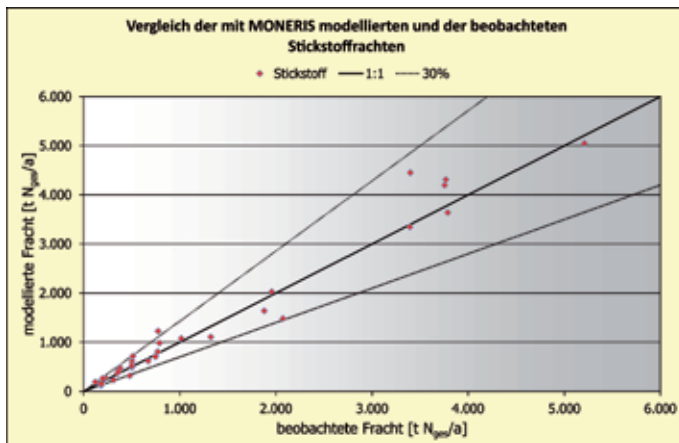
Für die Validierung der modellierten mittleren langjährigen diffusen und punktuellen Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer standen langjährige pegelbezogene Messwerte (Abflussmenge und Stickstoff- bzw. Phosphorkonzentration) von 103 Einzugsgebieten zur Verfügung. Pegel, bei denen Abfluss- und Gütepegel weit auseinander lagen oder nicht genügend Messungen (weniger als 50) vorlagen, wurden in diese Auswertung nicht einbezogen. Zur Validierung wurden die Stickstoff- und Phosphoreinträge aller betrachteten diffusen und punktuellen Eintragspfade aufsummiert und unter Berücksichtigung der Retention in den Oberflächengewässern mit den langjährigen pegelbezogenen Messwerten (Abflussmenge und Stickstoff- bzw. Phosphorkonzentration) verglichen. Sowohl für die Stickstoffeinträge (➤ Abb. 28, links), als auch die Phos-

phoreinträge (➤ Abb. 28, rechts) ergab sich eine gute Übereinstimmung.

### **MONERIS**

Der Vergleich für die einzelnen Stickstoff- bzw. Phosphormessstellen lieferte im Mittel über alle berücksichtigten Stationen mittlere Abweichungen von 15,5 % für Stickstoff (➤ Abb. 29, links) und 22,7 % für Phosphor (➤ Abb. 29, rechts). Das ist eine sehr gute statistische Übereinstimmung.

Neben der Verteilung der Konzentrationen in den verschiedenen Oberflächenwasserkörpern sind vor allem für die Ableitung der Bewirtschaftungsziele die Konzentrationen an den Übergabepunkten zwischen den Teilräumen und zur Tideweser von Bedeutung. Für die beiden relevanten Messstationen der Weser (Pegel Hemelingen) und der Hunte (Pegel Reithörne) als Übergabepunkte an den tidebeeinflussten Bereich ergibt der Vergleich eine Abweichung von 2 % (Heme-



► Abb. 29: Vergleich der mit MONERIS berechneten und aus beobachteten Werten berechneten („beobachteten“) Stickstoff- und Phosphorfrachten der Jahre 2006 bis 2008 (Heidecke et al., 2015)

lingen) bzw. 3 % (Reithörne). Diese Abweichungen liegen deutlich innerhalb der Messungenauigkeiten und erlauben daher ohne weiteres die Analyse und Ableitung des Reduktionsbedarfs zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele.

## Gegenüberstellung der Modellergebnisse

In den vorangegangenen Kapiteln wurde gezeigt, dass für die Modelle GROWA-DENUZ-WEKU-MEPHos wie auch für das Modell MONERIS eine gute Übereinstimmung mit den beobachteten Frachten vorliegt. Die Grundvoraussetzung für eine Vergleichbarkeit der Modellergebnisse wurde durch eine möglichst große Konsistenz der Datengrundlagen geschaffen. Bei dem Vergleich der Eintragssummen zeigt sich, dass die mit den Modellen berechneten Gesamteinträge in einer Größenordnung voneinander abweichen (N: 6 %, P: 13 %), die innerhalb der Modellungenauigkeiten liegt. Beide Modellsysteme liefern damit in sich konsistente und

nachvollziehbare Ergebnisse. Auch untereinander zeigen die Modelle hinsichtlich Höhe und räumlicher Verteilung der Gesamteinträge weitestgehend übereinstimmende Ergebnisse.

Bei der Betrachtung der Einzelpfade ergeben sich dennoch teilweise Unterschiede. Diese sind dadurch bedingt, dass den Modellen unterschiedliche Konzepte wie z. B. unterschiedliche Modellauflösungen bzw. räumliche Bezugseinheiten (Raster bzw. Wasserkörper) zugrunde liegen und Systemgrenzen z. B. zwischen Grundwasser-Zwischenabfluss oder Dränagen-Oberflächengewässer teilweise unterschiedlich interpretiert werden. So werden in MONERIS die Eintragspfade „Grundwasser“ und „natürlicher Zwischenabfluss“ im Gegensatz zum Modellkonzept des FZJ nicht getrennt voneinander ausgewiesen. Beispielsweise wird im DENUZ-Modell den Böden ein höheres Nitrat-abbau-potential beigemessen als in MONERIS und im Modellkonzept des IGB in den Oberflächengewäs-



➤ Abb. 30: Messpegel Porta (FGG Weser)

sern ein höheres Stickstoffretentionspotential berücksichtigt als im Modellkonzept des FZJ.

Unterschiede bei den Phosphor-Gesamteinträgen sind ebenfalls auf modellbedingte Spezifika zurückzuführen. Systemgrenzen in den Modellen werden unterschiedlich abgebildet und die Modellauflösung der Modellkonzepte basiert auf unterschiedlichen Geometrien und Flächengrößen.

Trotz dieser modellbedingten Unterschiede liegen die über die Modelle MONERIS bzw. GROWA-WEKU und MEPhos ermittelten Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer in einem vergleichbaren Bereich, sodass es im Gesamtergebnis weder mit den Modellen des FZJ noch bei denen des IGB zu systematischen Über- oder Unterschätzungen kommt. Die Nährstoffeinträge werden also mit beiden Modellen konsistent und mit hoher Güte abgebildet.



# Analyse der Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021

Ausgehend vom Basisjahr 2007 ist das Baseline-Szenario die Abschätzung der Nährstoffbilanzentwicklung der bis zum Jahr 2021 zu erwartenden Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion. Auf dem Baseline-Szenario 2021 aufbauend werden Maßnahmen-szenarien entwickelt. Grundannahmen bzw. Einflussfaktoren dieser Abschätzung sind unter anderem die Weiterführung der grundlegenden Maßnahmen (gesetzlich verankerten Mindestanforderungen), die Veränderung der allgemeinen Agrarpolitik und die in den Agrarförderprogrammen der Länder subventionierten Agrarumweltmaßnahmen. Darüber hinaus werden ebenso Szenarien zur Umsetzung der Düngeverordnung und zur Veränderung der Nährstoffeinträge bei reduzierter atmosphärischer Deposition dargelegt und diskutiert. Die Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021 beeinflussen maßgeblich die Stickstoffüberschüsse und dementsprechend auch die Stickstoffeinträge. Da die Phosphorüberschüsse einen nur minimalen Anteil an den Einträgen von Phosphor in die Gewässer ausmachen, werden im Folgenden nur die Auswirkungen auf die Stickstoffeinträge in die Gewässer betrachtet.

Die Analyse der Maßnahmenoptionen zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele erfolgt analog zum vorherigen Modellvorhaben AGRUM Weser (KREINS, ET AL., 2010) in drei Schritten. Der erste Analyseschritt besteht in der Projektion der zu erwartenden Entwicklungen in der Landwirtschaft bis zum Jahr 2021 und deren Auswirkungen auf die

Nährstoffbilanzüberschüsse (Baseline-Szenario 2021). Daran schließt sich die Berechnung der zukünftig zu erwartenden Nährstoffeinträge in das Grundwasser von landwirtschaftlich genutzten Flächen an. Auf dieser Grundlage können die Handlungsgebiete und der Handlungsbedarf über das Baseline-Szenario 2021 hinaus abgeleitet werden.

## Veränderungen der allgemeinen Agrarpolitik

Die Dynamik im Agrarsektor ist einem steten Wandel unterzogen. Dieser Wandel wird sich bis zum Jahr 2021 fortsetzen. Im Jahr 1992 wurde ein Reformprozess der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) eingeleitet. Dieser wurde durch die Luxemburger Beschlüsse im Jahr 2003 vertieft. Wichtige Elemente sind die Entkopplung produktspezifischer Direktzahlungen, wie Tier- und Flächenprämien und die Bindung der Zahlungen an die Einhaltung bestehender Produktionsstandards („Cross Compliance“). Die bestehende obligatorische Flächenstilllegung wurde ab 2007 ausgesetzt. Ein wesentlicher Grund dafür war die zunehmende Konkurrenz der Flächennutzung infolge weltweit stark gestiegener Agrarpreise.

Im Baseline-Szenario wird unterstellt, dass die für Direktzahlungen zur Verfügung stehenden Mittel bis 2021 beibehalten werden und keine Kürzungen im Haushaltsplan vorgesehen sind. In Deutschland führt die Umsetzung der Betriebsprämienregelung zu bundeslandeseinheitlichen Flächenprämien. Außerdem wird ein Auslaufen der Milchquote im Jahr 2015 und die resultierenden

*Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (**Düngeverordnung - DüV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.*

*Die Gemeinsame Agrarpolitik (**GAP**) ist ein Politikbereich der Europäischen Union. Sie beruht auf gemeinsamen Marktordnungen und der Entwicklung des ländlichen Raums. (Quelle: Wikipedia).*

*Bei der sogenannten „**Cross Compliance**“ werden Prämienzahlungen geleistet, wenn Umweltstandards eingehalten werden.*



► Abb. 31: Beweidete Flussaue (FGG Weser)

Als **Nachwachsende Rohstoffe (NawaRo)** werden land- und forstwirtschaftliche organische Rohstoffe bezeichnet, die nicht als Nahrung oder Futter angebaut wurden. Wichtige Nachwachsende Rohstoffe in der Landwirtschaft sind z. B. Energiemais oder Baumwolle.

Auswirkungen bis zum Jahr 2021 berücksichtigt. Im Hinblick auf die Zuckermarktordnung sind die Rückgaben von Lieferrechten im Rahmen des Restrukturierungsprogramms bis zum 06.03.2009 mit abgebildet. Im Rahmen der Thünen-Baseline werden darüber hinaus keine weiteren Kürzungen bis zum Jahr 2021 erwartet.

Seit dem Jahr 2007 ist die derzeitige Düngeverordnung 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 P/ha-a) und bei Stickstoff ab 2009 im Dreijahresdurchschnitt 60 kg N/ha-a) jeweils unter Berücksichtigung von Stall-, Lager- und Ausbringungsverlusten nicht überschreiten.

### Agrarumweltmaßnahmen

Agrarumweltmaßnahmen sind seit dem Jahr 2000 Bestandteil der Förderung ländlicher Räume und dienen der Subventionierung von Bewirtschaftungszielen. Einige der Maßnahmen sind direkt auf den Gewässerschutz ausgerichtet, wie z. B. die Reduktion des Mineraldün-

gereinsatzes, die Winterbegrünung und die umweltfreundliche Ausbringung von Wirtschaftsdünger. Dabei sind jedoch nur solche Maßnahmen förderfähig, die über die gute fachliche Praxis hinausgehen.

In der Förderperiode 2007 bis 2013 wurde in einigen Bundesländern der Umfang der Agrarumweltmaßnahmen allerdings im Vergleich zur vorangegangenen Förderperiode zunächst eingeschränkt. Nach Beschluss des GAP-„Health Check“ 2009 und der damit einhergehenden Fördermittelumschichtung wurden landesspezifisch sowohl neue Maßnahmen bzw. Teilmaßnahmen in die Agrarumweltprogramme integriert als auch die Fördersummen und die angestrebten Zielwerte der Förderflächen bestehender Maßnahmen angehoben.

### 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 Biomasse- und Energieerzeugung, der Preisanstieg für Agrarprodukte sowie für Energie- und Düngemittel und der technische Fortschritt. Diese Faktoren führen teilweise zu deutlichen Anpassungsprozessen der landwirtschaftlichen Bodennutzung und Tierproduktion und wirken sich daher auf die Nährstoffsalden aus.

Angesichts steigender Energie-

preise spielt die Sicherstellung der Energieversorgung auch durch den Anbau von NawaRo eine zunehmende Rolle in der Energiepolitik. Der NawaRo-Anbau wird in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Die Förderung hat zu einem Boom beim Anbau von Energiemais geführt. Daher wird im Baseline-Szenario die regionale Investitionsdynamik zwei Jahre fortgeschrieben und bis 2021 beibehalten.

Die Entwicklung der Agrarpreise ist geprägt vom Wirtschaftswachstum nach der Finanzkrise, das zu ansteigenden Weltmarktpreisen führt, aber auch die Binnenmarktpreise positiv beeinflusst. Zusätzlich hat die Förderung von erneuerbaren Energien Einfluss auf die Agrarpreise. Dabei profitiert insbesondere Weizen von den Preisanstiegen, wohingegen Futtergetreide schwächere Preisanstiege zeigt.

Der technische Fortschritt kommt vor allem in den Ertragszuwächsen der Kulturpflanzen sowie in 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 und Raps auf 1 %. Die jährlichen Leistungssteigerungen der Milchkühe spielen angesichts der Milchquotenregelung eine besondere Rolle für den Rindviehbestand und die landwirtschaftliche Landnutzung. In Deutschland sind die Milchleistungen je Tier von 1990 bis 2007 um jährlich 2,1 % gestiegen.

## **Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021 auf die Nährstoffbilanzüberschüsse**

In der Flussgebietseinheit Weser ist ein leichter Rückgang der LF im Baseline-Szenario von 2007 bis 2021 zu verzeichnen. Dieser resultiert aus der anhaltenden Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen („Flächenverbrauch“) zu Lasten der landwirtschaftlichen Flächennutzung.

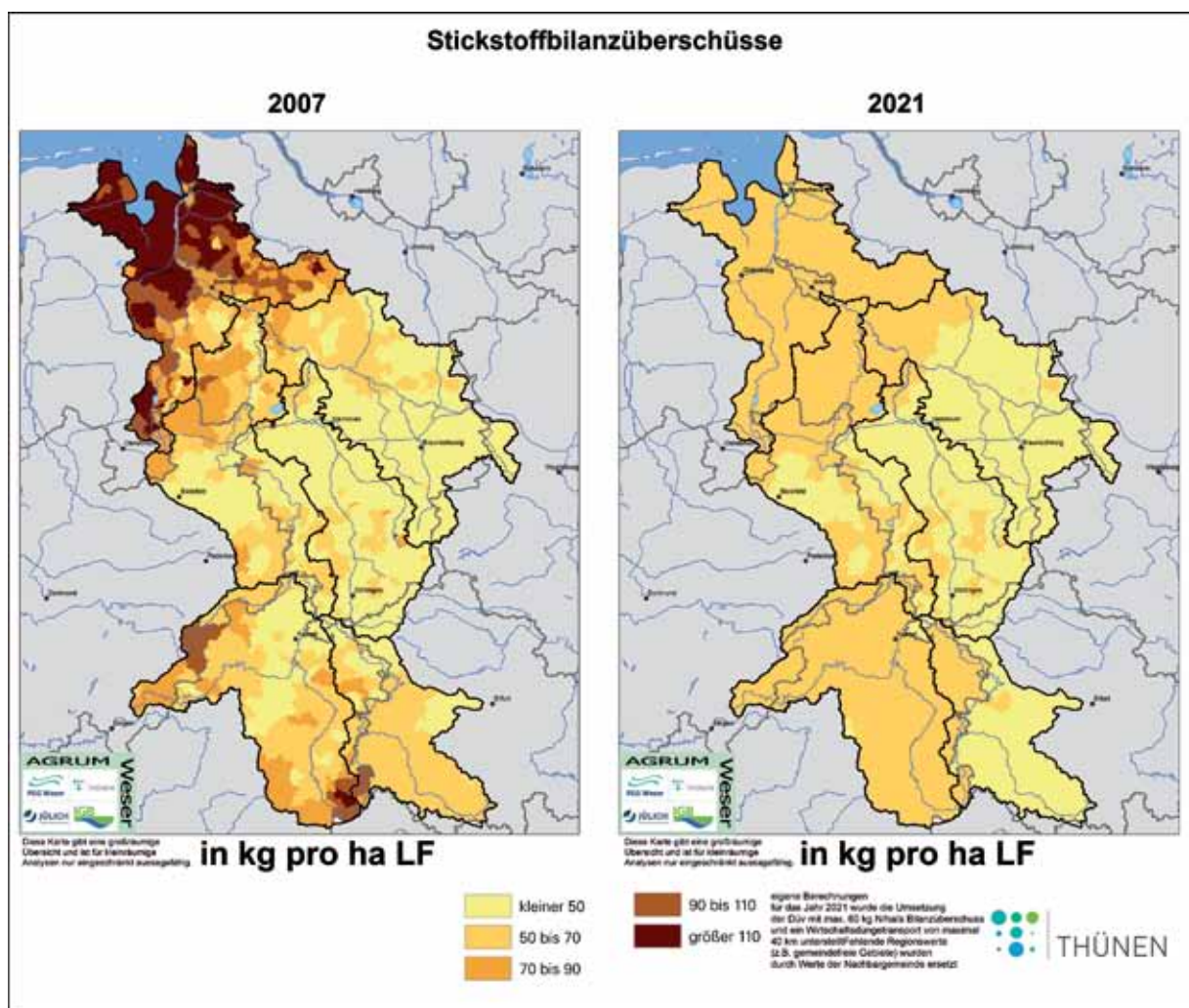
Ausgehend vom Ist-Zustand 2007 ist nach Berechnungen mit RAUMIS aufgrund der vorgenannten Randbedingungen insgesamt eine Verminderung der Stickstoffbilanzen um etwa 13 kg N/ha LF bis zum Jahr 2021 zu erwarten (►Abb. 32). Diese Gesamtreduktion setzt sich aus mehreren teils gegenläufigen Einzeleffekten zusammen. Die Ausdehnung der Milchquote führt zu einer Erhöhung der Milchviehbestände und damit zu einer Erhöhung der Stickstoffbilanzüberschüsse von im Mittel 0,1 kg N/ha bzw. bis zu 1 kg N/ha regional in den Milchviehregionen.

Deutschlandweit ist zu erwarten, dass 2021 bis zu 1,5 Mio. ha Energiemais angebaut werden. Dieser spielt für die Stickstoffbilanzen eine wichtige Rolle, da die Nährstoffe im vergorenen Substrat erhalten bleiben und als Wirtschaftsdünger zur Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen anfallen. Nach Meinung von Experten ist das Gärsubstrat wie Wirtschaftsdünger aus der Viehhaltung einzustufen.

In das Baseline-Szenario wird die Wirkung der Agrarumweltmaß-

nahmen mit eingerechnet. Berücksichtigt werden dabei die Flächenveränderungen, die sich aus dem Vergleich der geförderten Maßnahmenflächen im Basisjahr 2007 zu den angestrebten Förderflächen der Förderperiode bis 2013 ergeben. Die daraus resultierende Wirkung auf die Stickstoffbilanzüberschüsse vom Basisjahr 2007 bis zum Baseline-Szenario 2021 liegt in der

Flussgebietseinheit Weser meist zwischen +1,0 bis -1,5 kg N/ha LF der jeweiligen Gemeinde bzw. des Kreises. In einzelnen Gebieten innerhalb der Bundesländer können die berücksichtigten Wirkungsspannweiten größer sein, da die Maßnahmen teilweise auslaufen, ausgeweitet werden, nur für bestimmte Produktionszweige geeignet sind und/oder nur in bestimm-



► Abb. 32: Stickstoffbilanzüberschüsse 2007 und 2021 in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)



ten Gebietskulissen angeboten werden. Resultierend aus diesen Flächenveränderungen wird für den Zeitraum 2007 bis 2021 ein mittlerer Wirkungsanstieg von 1,1 kg N/ha angerechnet, woraus sich für das Baseline-Szenario 2021 eine mittlere Gesamtwirkung der berücksichtigten Agrarumweltmaßnahmenflächen von 5,5 kg N/ha LF für die Flussgebietseinheit Weser ergibt.

### Szenarien zur Umsetzung der Düngeverordnung

Für die Implementierung der Düngeverordnung von 2007 (DüV) im Baseline-Szenario 2021 wurden im Rahmen des Projektes Annahmen zur Umsetzung der Düngeverordnung gemacht. Zunächst wurde von einer vollständigen Umsetzung der Düngeverordnung (DÜNGEVERORDNUNG, 2007) ausgegangen. Die aktuellen Überlegungen zur Novellierung konnten im Projekt nicht berücksichtigt werden. Seit 2009 dürfen laut DüV u. a. landwirtschaftliche Betriebe eine Hoftorbilanz von 60 kg N/ha im Dreijahresmittel nicht überschreiten. Für das Projekt wurde weiterhin angenommen, dass die Umsetzung der Düngeverordnung auch im Zieljahr 2021 fortgesetzt wird.

Die Überschüsse in den Gemeinden mit über 60 kg N/ha müssten demnach entweder in andere Regionen umverteilt oder durch andere Maßnahmen (z. B. Viehabbau, weniger Einsatz von Mineraldünger) abgebaut werden. Dazu wurden drei verschiedene Szenarien untersucht.

Beim **DüV-Szenario 1** verteilen Gemeinden, die einen Stickstoff-

überschuss größer als 60 kg N/ha LF aufweisen, ihre überschüssigen Wirtschaftsdüngermengen an Nachbargemeinden desselben Landkreises, die unter 60 kg N/ha LF liegen, bis maximal 60 kg N/ha LF. Gemeinden an Landkreisgrenzen können Wirtschaftsdünger nicht an Nachbargemeinden eines anderen Landkreises verteilen. Eine Umverteilung innerhalb desselben Landkreises führt dazu, dass Wirtschaftsdünger durchschnittlich maximal 20 km transportiert werden würde, was zu Beginn des Projektes die übliche Praxis widerspiegelte.

Ebenso wie beim ersten Szenario werden beim **DüV-Szenario 2** die Stickstoffüberschüsse verteilt. Wenn darüber hinaus ein Landkreis im Durchschnitt über 60 kg N/ha LF liegt und somit nicht alle Überschüsse an Nachbargemeinden abgegeben werden können, werden diese in angrenzende Landkreise verteilt, was zu einer Umverteilung bis zu ca. 40 km führt. Ein Transport von bis zu max. 40 km würde nach KREINS ET AL. (2007) Transportkosten von 8 €/t Gülle nach sich ziehen. Diese Kosten könnten durch den Erlös der Tiere gedeckt werden.

Das **DüV-Szenario 3** sieht eine Umverteilung von Wirtschaftsdünger in den Nachbarkreis und in den daran angrenzenden Kreis bis zu ca. 80 km vor. Ein Transport von bis zu max. 80 km würde nach KREINS ET AL. (2007) Transportkosten von 13 €/t Gülle nach sich ziehen. Diese Kosten sind derzeit ökonomisch nicht sinnvoll, weil der verbleibende Deckungsbeitrag nicht für eine hinreichende Entlohnung der Produktionsfaktoren ausreicht und somit

u. a. Neuinvestitionen nicht möglich sind. Allerdings könnte zukünftig die Transportwürdigkeit von Wirtschaftsdünger durch Verfahren wie Separation steigen.

Trotz der Umverteilung der Stickstoffüberschüsse durch Wirtschaftsdüngertransporte in andere Regionen, verbleibt bei allen Szenarien ein Rest, der nicht verteilt werden kann. Dieser Überschuss müsste anderweitig entsorgt werden. Das bedeutet inhaltlich, dass Stickstoffüberschüsse durch einen Abbau der Tierbestände oder weniger Mineraldüngereinsatz erreicht werden müssen.

Für das DüV-Szenario 2, mit dem die weiteren Berechnungen erfolgten, wäre nach Analysen mit dem Modellverbund in der Flussgebiets-einheit Weser eine Reduktion der gesamten Mineraldüngereinsatzmengen oder aber der Tierbestände im Einzugsgebiet um etwa 10 % notwendig. Bezogen auf die Tierbestände würde dies in den meisten Regionen eine Reduktion um (deutlich) mehr als 100 GVE bedeuten. Dies würde allerdings mit erheblichen ökonomischen Verlusten einhergehen. Demnach sind die Annahmen der Baseline, die im Weiteren verfolgt werden, als eher positiv hinsichtlich ihrer Wirkung für die Umwelt einzustufen. Eine Reduktion der Nährstoffüberschüsse durch die Umsetzung der Düngeverordnung, wie oben beschrieben, erscheint politisch schwierig zu realisieren.

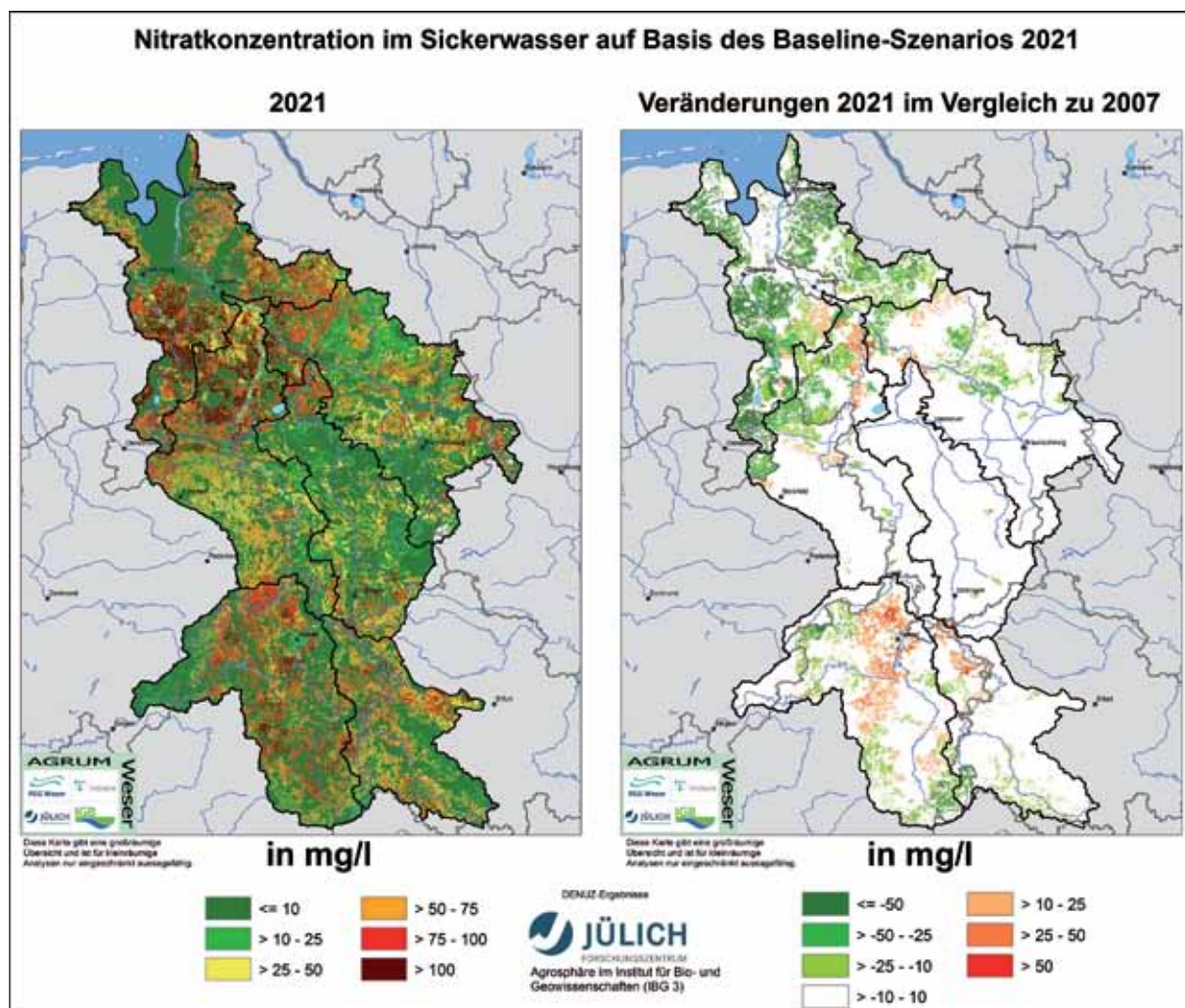
### **Szenario zur Veränderung der Nährstoffeinträge bei reduzierter atmosphärischer Deposition**

In diesem Szenario wird eine 25 %ige Reduktion der  $\text{NH}_y$ -Deposition auf allen Flächen angenommen, die aus der unmittelbaren Einarbeitung des Wirtschaftsdüngers in den Boden resultiert. Es wurde hier vereinfachend davon ausgegangen, dass sich eine Reduktion der Ausgasungsverluste auch in der unmittelbaren Nähe der Ausbringung auswirkt und somit die Immission in die Atmosphäre sowie die spätere Deposition innerhalb des Wesereinzugsgebiets stattfindet. Da jedoch durch den atmosphärischen Transport auch  $\text{NH}_y$  aus benachbarten Gebieten importiert wird, setzt die Maßnahme voraus, dass vor allem in Nordrhein-Westfalen und den Niederlanden eine entsprechende Einarbeitung des Wirtschaftsdüngers und eine damit verbundene Reduktion der Immission stattfinden. Somit liegt diese Maßnahme nur zum Teil im aktiven Handlungsspielraum der Weser-Anrainerländer und erfordert eine weiterreichende Zusammenarbeit mit anderen Akteuren. Für Stickstoff ergibt dieses Szenario eine deutliche Reduktion von ca. 6 % der Gesamteinträge.

## Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021 auf die Stickstoffeinträge in die Gewässer

Zur Analyse der möglichen Auswirkungen des Baseline-Szenarios 2021 auf die Stickstoffeinträge in die Grundwasserkörper wurden die vom Thünen-Institut für Ländliche Räume berechneten Stick-

stoffbilanzüberschüsse aus der Landwirtschaft für 2021 sowie die durch atmosphärische Deposition prognostizierten Stickstoffmengen als Input für die Modelle GROWA-DENUZ verwendet. Dabei wurden alle Modellparameter und Eingabegrößen (z. B. Klima und Landnutzung) beibehalten, so dass die Ergebnisse von 2021 direkt mit denen von 2007 verglichen werden



► Abb. 33: Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Basis des Baseline-Szenarios 2021 in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)

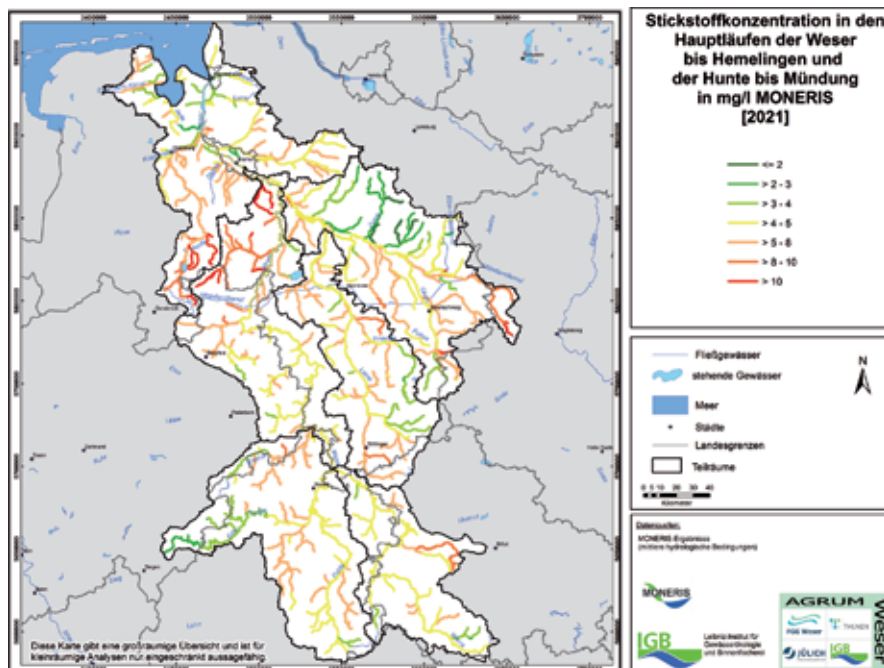
können (►Abb. 33).

Gemittelt über die gesamte Flussgebietseinheit Weser ergibt sich unter Berücksichtigung der Maßnahmen des Baseline-Szenarios zwar ein Rückgang der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, jedoch sind für viele Bereiche in der Flussgebietseinheit Weser weiterhin Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von mehr als 50 mg NO<sub>3</sub>/l zu erwarten (►Abb. 33).

Eine Reduzierung der Nitratreinträge ins Grundwasser wird sich vor allem in den Regionen bemerkbar machen, in denen die Grundwasserneubildung bzw. der Grundwasserabfluss die dominierende Abflusskomponente darstellt. Aus diesem Grunde ergeben sich hierdurch fast

ausschließlich im Norden der Flussgebietseinheit Weser verminderte Nitratreinträge, die häufig im Bereich zwischen 10 kg N/(ha·a) und 25 kg N/(ha·a) liegen. Aufgrund der guten Nitratabbaubedingungen verringern sich die grundwasserbürtigen Nitratreinträge im Norden des Wesereinzugsgebietes aber nur relativ unwesentlich. Die Fließzeiten im Grundwasser führen zudem dazu, dass sich Reduzierungsmaßnahmen teilweise erst nach Jahrzehnten in den Konzentrationsmessungen der Oberflächengewässer nachweisen lassen.

Das Baseline-Szenario 2021 wirkt sich vor allem in den intensiv landwirtschaftlich genutzten und durch Dränagen dominierten Gebieten im Nordwestteil der Flussgebietseinheit Weser im Teilraum Tideweser aus. Hier sind Reduzierungen der Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer von zum Teil über 50 kg N/(ha·a) zu erwarten. Im Südteil der Flussgebietseinheit Weser kommt es in einigen Regionen durch den Import von Stickstoffüberschüssen aus dem Nordteil der Flussgebietseinheit Weser zu einer Zunahme der Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer von zum Teil bis zu 50 kg N/(ha·a), so dass die Auswirkung des Baseline-Szenarios 2021 auf die Einträge in die Oberflächengewässer über Zwischenabfluss und Grundwasser bei einer Mittelung über die gesamte Flussgebietseinheit Weser weniger signifikant ist. Insgesamt ist in der Flussgebietseinheit Weser mit einer Reduktion der Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer über alle diffusen Eintragspfade von



►Abb. 34: Stickstoffkonzentration der Hauptläufe 2021 in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)



6.800 t N/a zu rechnen.

Generell reduzieren sich aufgrund der verminderten landwirtschaftlichen Bilanzüberschüsse die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer vor allem über Dränagen, Abschwemmung und Erosion. Unter Berücksichtigung der Annahmen des Baseline-Szenarios 2021 sinken die gesamten Einträge auf 67.000 t N/a, ein Rückgang um ca. 9 % bei einem Rückgang der Stickstoffbilanzüberschüsse um ca. 20 %.

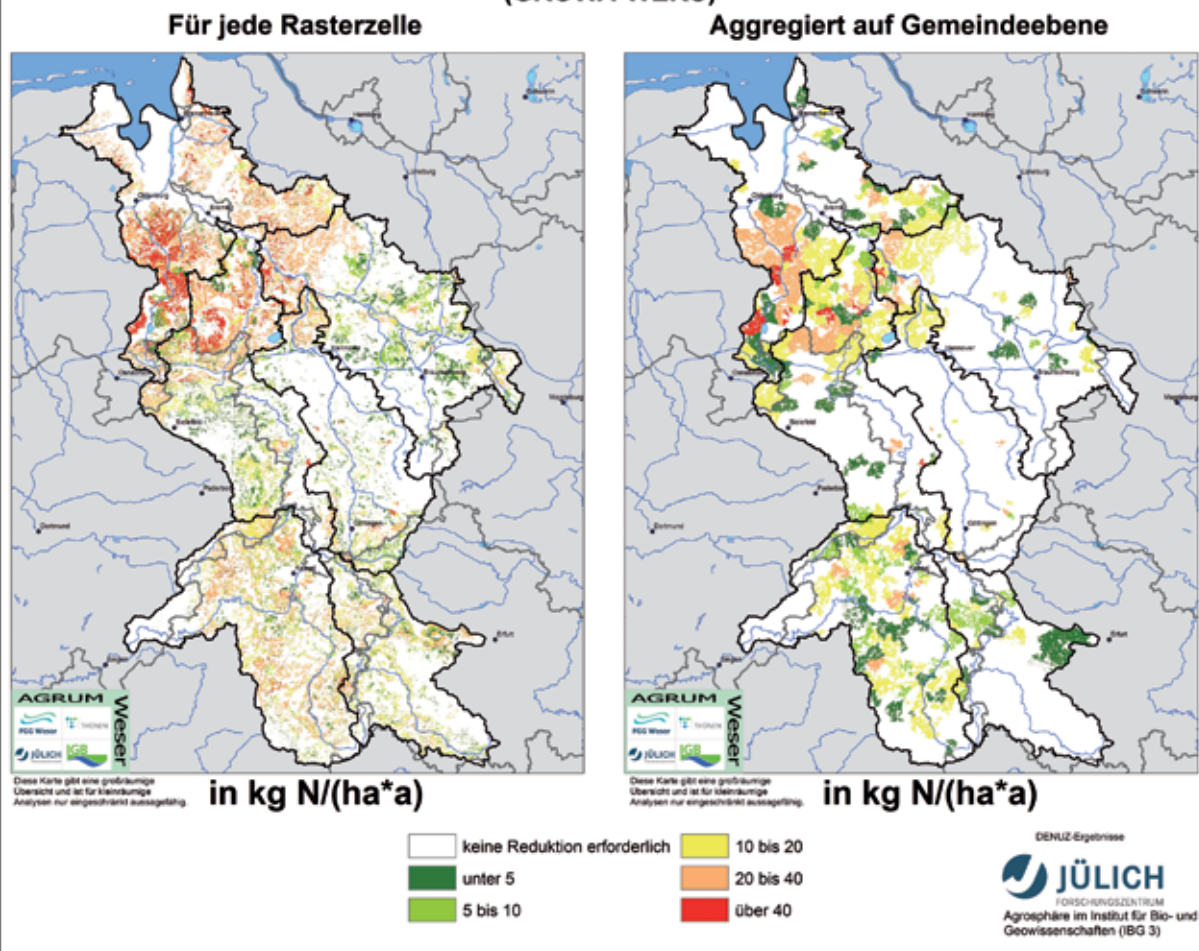
Für das Baseline-Szenario 2021 liegen die prognostizierten Stickstoffkonzentrationen für Bremen-Hemelingen und Reithörne bei 4,8 mg/l bzw. 5,3 mg/l und somit 2 % bzw. 16 % niedriger als 2007. Es ergeben sich aber starke Unterschiede in den Stickstoffkonzentrationen zwischen den Wasserkörpern (►Abb. 34), die in etwa der Verteilung des Basisjahrs 2007 folgen. Das Reduzierungsziel für die Küstengewässer der Nordsee von 2,8 mg N<sub>ges</sub>/l wird danach nicht erreicht. Die Auswirkungen des Baseline-Szenarios auf die Konzentrationen fallen vor allem für Bremen-Hemelingen sehr gering aus, da ein Großteil der Änderungen des Stickstoffbilanzüberschusses im Einzugsgebiet unterhalb von Bremen-Hemelingen angenommen wird.

## Handlungsgebiete und Handlungsbedarf

Die prognostizierten Nährstoffbilanzüberschüsse und -einträge aufgrund des Baseline-Szenarios 2021 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 der Grundwasserverordnung

(GrwV, 2010) auf 50 mg Nitrat/l im Grundwasser festgelegt. Nach der Rahmenkonzeption der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (LAWA, 2007) werden je nach Oberflächengewässertyp im Binnenland für Phosphor 0,1 mg P/l bis 0,3 mg P/l zur Zielerreichung herangezogen. Für Stickstoff wurde mit Blick auf den Schutz der Küstengewässer das von der LAWA

### Handlungsbedarf zur Erreichung der Grundwasserziele auf Basis des Baseline-Szenarios 2021 (GROWA-WEKU)



► Abb. 35: Handlungsbedarf zur Erreichung der Grundwasserziele auf Basis des Baseline-Szenarios 2021 (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)

empfohlene Reduzierungsziel von 2,8 mg N<sub>ges</sub>/l an den Messstationen Bremen-Hemelingen für die Weser und Reithörne an der Hunte herangezogen (LAWA, 2014A).

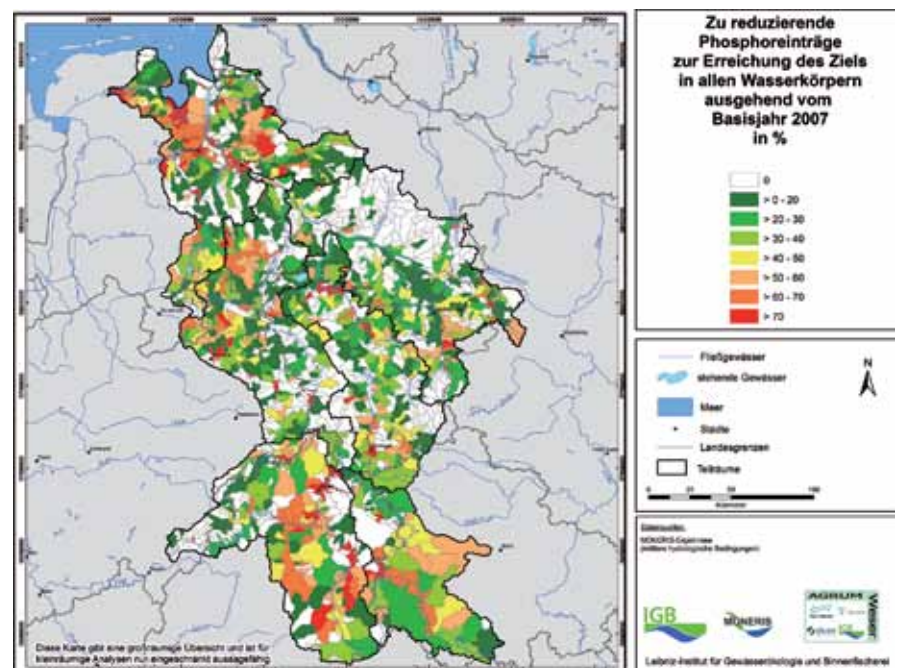
### Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung des Bewirtschaftungsziels in den Grundwasserkörpern

Die potentiellen 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-DENUZ abgeschätzt. Dazu wurde das Bewirtschaftungsziel von 50 mg Nitrat/l im Grundwasser auf eine mittlere langjährige Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l übertragen. Mit diesem Zielwert ist auf jeden Fall gewährleistet, dass im Grundwasser das Bewirtschaftungsziel weiter unterschritten oder mindestens eingehalten wird.

Unter der Annahme einer konstanten mittleren Sickerwasserrate und einem konstanten Denitrifikationspotential im Boden ist die Nitratkonzentration im Sickerwasser direkt durch die Höhe der Stickstoffbilanzüberschüsse 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

von 50 mg/l führt. Durch einen Vergleich mit den ausgewiesenen Stickstoffbilanzüberschüssen auf Basis des Baseline-Szenarios 2021 konnte daraus der Minderungsbedarf bestimmt werden (►Abb. 35). Bezieht man den Stickstoffminderungsbedarf auf die einzelnen Rasterzellen, für die ein Minderungsbedarf ausgewiesen wurde (►Abb. 35, links), so liegt dieser in vielen Regionen im Nordteil der Flussgebietseinheit Weser bei 40 kg N/(ha-a) und mehr um eine aktuelle Nitratkonzentration im Sickerwasser von unter 50 mg Nitrat/l zu erreichen. Bezieht man den Stickstoffminderungsbedarf auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen der Gemeinden, so ergibt sich insgesamt ein Minderungsbedarf von ca. 14.000 t N/a.

*Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ist ein Zusammenschluss der für die Wasserwirtschaft und das Wasserrecht zuständigen Ministerien der Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland. Ziel der LAWA ist es, länderübergreifende und gemeinschaftliche wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Fragestellungen zu erörtern, gemeinsame Lösungen zu erarbeiten und Empfehlungen zur Umsetzung zu initiieren.*



►Abb. 36: Zu reduzierende Phosphoreinträge zur Erreichung des Ziels in den Oberflächengewässern der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

## Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele in den Oberflächengewässern

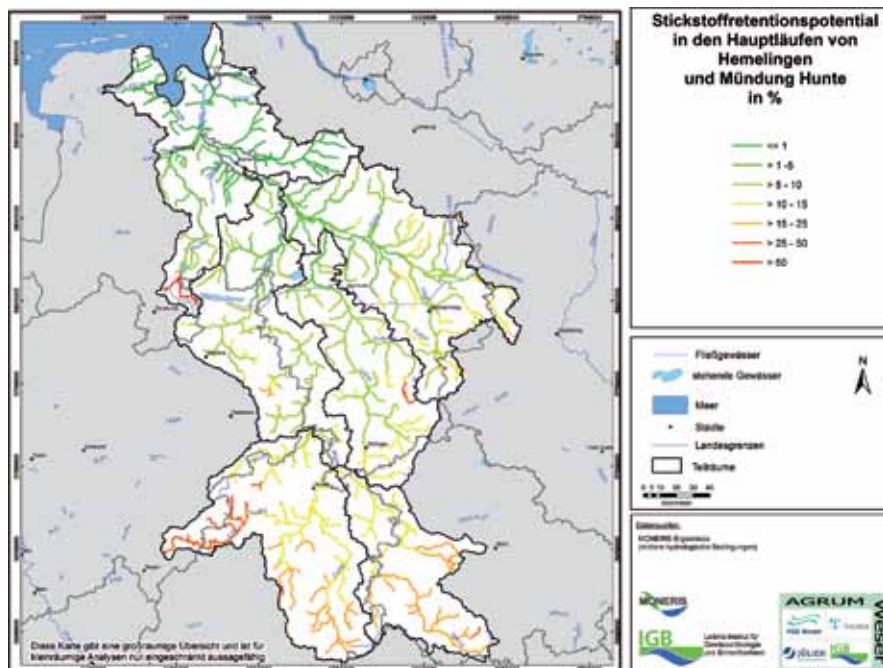
Die notwendige Reduzierung der Einträge zur Erreichung des überregionalen Bewirtschaftungsziels für Phosphor in allen Binnengewässern ist in ►Abb. 36 dargestellt. Insgesamt sind die Phosphoreinträge um etwa 900 t P<sub>ges</sub>/a zu reduzieren. Die Gesamtreduktion der Einträge für die Weser bis Bremen-Hemelingen und die Hunte bis Reithörne liegt bei 35 % bzw. 47 %. Die räumliche Verteilung des Reduktionsbedarfs ergibt sich aus der Höhe der spezifischen Einträge, den Anteilen der Eintragspfade und dem Wasserdar- gebot. Insgesamt ergibt sich für

die Tideweser, die Hunte, die Fulda und die Obere Werra der höchste Reduktionsbedarf. Dieser bildet sich jedoch nicht flächendeckend aus, sondern zeigt eine räumliche Verteilung vor allem entsprechend der höchsten spezifischen Einträge. Während in der Tideweser Einträge aus drainierten Mooren und Feucht- gebieten als Eintragspfade zu nen- nen sind, ergeben sich die Einträge z. B. in der Fulda vorwiegend aus Kläranlageneinleitungen.

## Handlungsgebiete und Handlungsbedarf zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern

Zur Ausweisung des Handlungsbe- darfs in den Oberflächenwasser- körpern für jedes Bundesland im Hinblick auf die Erreichung der Ziele in den Küstenwasserkörpern wurde das Reduzierungsziel an der Kont- rollmessstelle Bremen-Hemelingen bzw. Reithörne auf die oberhalb lie- genden, am Stickstoffeintrag in die Küstengewässer beteiligten Ober- flächenwasserkörper zurück gerech- net. Die Rückrechnung erfolgt für die Flussgebietseinheit Weser auf Basis der von der LAWA erarbei- teten „Empfehlung zur Übertragung flussbürtiger, meeresökologischer Reduzierungsziele ins Binnenland“ (LAWA, 2014A).

Darin werden zur Berücksichtigung der Retention in den Fließgewäs- sern und Seen für jeden Oberflä- chenwasserkörper Retentionsfak- toren sowie Zielkonzentrationen ausgewiesen. Die akkumulative Retention liegt in weiten Teilen der

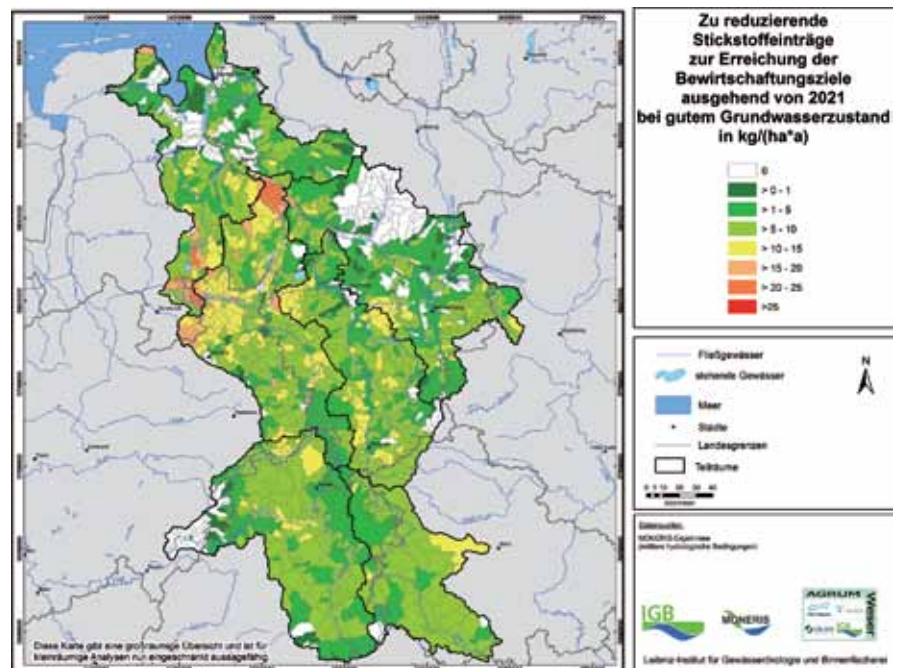


►Abb. 37: Stickstoffretentionspotential in den Hauptläufen der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)



Weser unter 20 % (►Abb. 37). Mit zunehmendem Transportweg bzw. Entfernung von der Küste nimmt die akkumulative Retention im Allgemeinen zu, überschreitet in der Regel jedoch kaum einen Wert von 30 %. In einigen Oberflächenwasserkörpern mit hohem Wasserflächenanteil z. B. oberhalb von Seen und Talsperren oder einem geringen Wasserdargebot kommt es teilweise zu Retentionswerten von 60 %.

Der sich aus der Rückrechnung ergebende Gesamtreduktionsbedarf ist in ►Abb. 38 dargestellt. Entsprechend dieser Vorgehensweise lässt sich der Handlungsbedarf als Zielkonzentration für ausgewählte Kontrollmessstellen ableiten (►Tab. 2). Diese Werte können für zukünftige Erfolgskontrollen umgesetzter Reduzierungsmaßnahmen herangezogen werden.



►Abb. 38: Zu reduzierende Stickstoffeinträge zur Erreichung des Reduzierungsziels in den Küstengewässern von 2,8 mg/l N bei gutem chemischen Grundwasserzustand bezüglich Nitrat in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

Gewässer	Kontroll- messtelle	N <sub>ges</sub> 2011 - 2014	N <sub>ges</sub> 2015	N <sub>ges</sub> 2021	N <sub>ges</sub> 2027
		IST-Konzentration*	Ziel-Konzentration	Ziel-Konzentration	Ziel-Konzentration
		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
			(8 %)	(46 %)	(46 %)
Werra (TH)	Frankenroda	3,9*	3,8	3,5	3,2
Werra (TH)	Gerstungen	3,7*	3,7	3,5	3,3
Werra (HE)	Witzenhausen	4,0	3,9	3,5	3,1
Fulda (HE)	Wahnhausen	3,6	3,6	3,3	3,1
Aller (NI)	Verden	3,5	3,4	3,1	2,8
Aller (ST)	Grafhorst	6,6	6,0	4,5	3,0
Leine (NI)	Neustadt	4,2	4,1	3,5	2,9
Weser (NW)	Petershagen	3,8	3,7	3,3	2,9
Weser (NI)	Drakenburg	4,2	4,1	3,5	2,9
Hunte (NI)	Reithörne	4,4	4,3	3,5	2,8
Weser (HB)	Hemelingen	3,8	3,7	3,3	2,8

\* Mittel der Jahre 2011 - 2013 aufgrund fehlender Daten

► Tab. 2: Zielkonzentrationen 2015/2021 für Gesamtstickstoff an ausgewählten Kontrollmessstellen (FGG Weser, 2015)

# Analyse von Maßnahmenzenarien zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele

Die Modellanalysen des Basisjahres und des Baseline-Szenarios haben gezeigt, dass bis zum Jahr 2021 weiterhin eine tendenzielle Reduzierung der Nährstoffbilanzüberschüsse erwartet werden kann.

Die Abschätzung des Reduzierungsbedarfs hat gezeigt, dass die im Baseline-Szenario abnehmenden Nährstoffüberschüsse nicht ausreichen werden, um bis 2021 in allen Grundwasserkörpern den guten chemischen Zustand bezüglich Nitrat zu erreichen. Zusätzliche ergänzende Maßnahmen, über die Maßnahmenprogramme 2007 bis 2013 hinaus sind daher zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele gem. EG-WRRRL zu ergreifen. Der Einsatzbedarf dieser Maßnahmen kann entsprechend des ermittelten Handlungsbedarfs regional stark variieren. Zur Ableitung geeigneter Handlungsoptionen wurde im Modellvorhaben AGRUM eine systematische Erfassung und Betrachtung von Agrarumweltmaßnahmen zur Reduzierung von landwirtschaftlichen Nährstoffeinträgen vorgenommen und geeignete kosteneffiziente Agrarumweltmaßnahmen im Rahmen des AGRUM-Maßnahmenkataloges zusammengestellt (KREINS, ET AL., 2010).

Das Ziel ist es, regional angepasste Maßnahmenkombinationen zu ermitteln. Eine Maßnahmenkombination stellt eine Auswahl von Agrarumweltmaßnahmen dar, die auf Grund der regionalen landwirtschaftlichen Produktionsstrukturen in Frage kommen, soweit Handlungsbedarf besteht. Sie dient der Unterstützung der agrar- und umweltpolitischen Entscheidungs-

findung sowie der Einschätzung ob und mit welchem zusätzlichen Einsatz von Agrarumweltmaßnahmen alleine die Umweltziele in der Flussgebietseinheit Weser erreicht werden könnten. Die im Folgenden beschriebenen Maßnahmenzenarien stellen dabei exemplarisch **eine** mögliche Maßnahmenkombination dar, mit der die Bewirtschaftungsziele erreicht werden könnten, soweit ausreichende Flächenpotentiale für die Umsetzung der Maßnahmen vorhanden sind.

## Maßnahmenkatalog und Auswahl geeigneter Agrarumweltmaßnahmen

Bereits im Modellvorhaben AGRUM Weser wurde ein Maßnahmenkatalog erstellt, der in der Landwirtschaft grundsätzlich akzeptierte Reduzierungsmaßnahmen enthielt. Dieser wurde nach neuen Erkenntnissen überarbeitet und ergänzt (►Tab. 3).

Die Modifikationen gegenüber dem Maßnahmenkatalog des Modellvorhabens AGRUM Weser sind folgende:

- Aufgrund geringer Akzeptanz wurde die Maßnahme „Anbau Winterrüben als Zwischenfrucht“ nicht mehr berücksichtigt.
- Das Akzeptanzniveau der „grundwasserschonenden Ausbringungstechnik“ wurde aufgrund zunehmender Marktdurchdringung angehoben.
- Der „Anbau von Untersaaten“ wurde als neue Maßnahmenoption in den Katalog integriert.



►Abb. 39: Zwischenfruchtanbau mit Senf (Gerles Ingenieure GmbH)

- Die „begrünte Brache“ wird als weitere konventionelle Agrarumweltmaßnahme in den Katalog aufgenommen.
- Die Maßnahme „Ökolandbau“ wurde aus dem Maßnahmenkatalog genommen.

### Maßnahmenszenario für den Grundwasserschutz

Auf Grundlage des Maßnahmenkatalogs wurde **ein** mögliches Maßnahmenzenario zur Abdeckung des Handlungsbedarfs zur Zielerreichung in den Grundwasserkörpern errechnet. Danach müssten insgesamt Maßnahmen auf ca. 600.000 ha (►Abb. 40) umgesetzt

werden, um den Handlungsbedarf, der sich nach den zukünftigen agrarpolitischen Entwicklungen und nach einer Umsetzung der Düngeverordnung ergibt, zu decken. Bezogen auf die Bundesländer entfallen rund 70 % dieses Reduktionsbedarfs auf den niedersächsischen Teil der Flussgebietseinheit Weser, etwa 9 % auf den nordrhein-westfälischen und rund 18 % auf den hessischen Teil der Flussgebietseinheit Weser. Dies entspricht auch in etwa den Flächenanteilen des jeweiligen Bundeslandes.

Der regionale Umfang sowie die Zusammensetzung der Maßnahmenkombinationen sind sehr

Maßnahme	Nr.	Beschreibung	Wirkung kg N/ha	Kosten €/ha
Keine Wirtschaftsdüngerausbringung nach Ernte	M34	Keine Ausbringung von Wirtschaftsdüngerausbringung nach Ernte der Hauptfrucht	15	15
Grundwasserschonende Ausbringungstechnik Gülle und Festmist	M32/ M33	Schleppschlauch-, Schleppschuh- oder Schlitztechnik bzw. Exaktstreutechnik; Wirtschaftsdüngerversuch	15	30
Reduzierte Mineraldüngung in Getreide	M24	Sollwert-Düngung minus 10 bzw. 20 %; keine Spätgabe in Getreide	30	80
Förderung von Extensivkulturen	M14	Anbau von Früchten mit geringer Stickstoffdüngung: Winterbraugerste, Keksweizen, Öllein, etc.	40	70
Zwischenfruchtanbau	M1/M2	Einsaat einer leguminosefreien Zwischenfrucht bis 01.09.; Umbruch ab dem 15.01./15.02.	20	20
Anbau von Untersaaten	M5	Einsaat einer leguminosefreien Untersaat in Deckfrucht; keine Düngung nach Ernte; Umbruch ab dem 15.02.	7,5	70
Brache	M6-M8	Einsaat oder Erhalt leguminosefreier, winterharter Gräser; keine Beweidung und Stickstoffdüngung	60	127
Grünlandextensivierung	M21	Durchschnittlicher jährlicher Viehbestand unter 1,4 RGV/ha HFF; keine mineralische Stickstoffdüngung	30	100

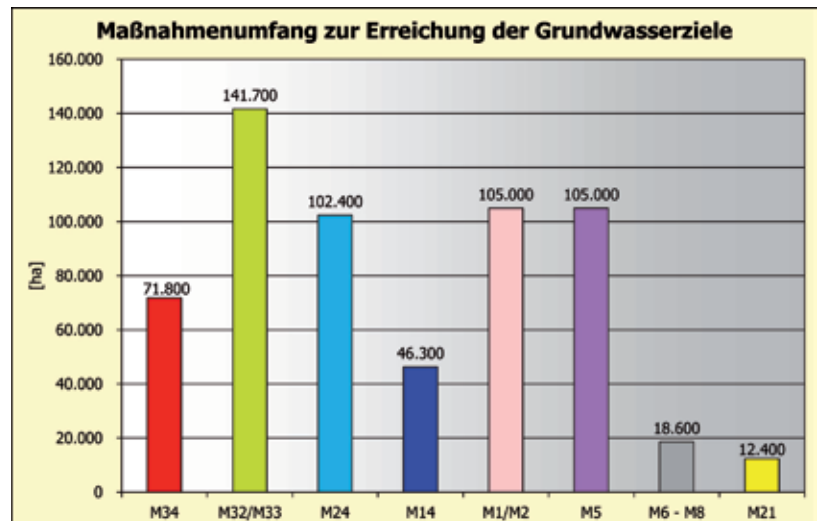
►Tab. 3: Überblick über die im Projekt AGRUM+ Weser untersuchten Maßnahmen zum landwirtschaftlichen Gewässerschutz durch Reduktion der Stickstoffüberschüsse (Quelle: Heidecke et al., 2015) auf Basis von Osterburg und Runge 2007



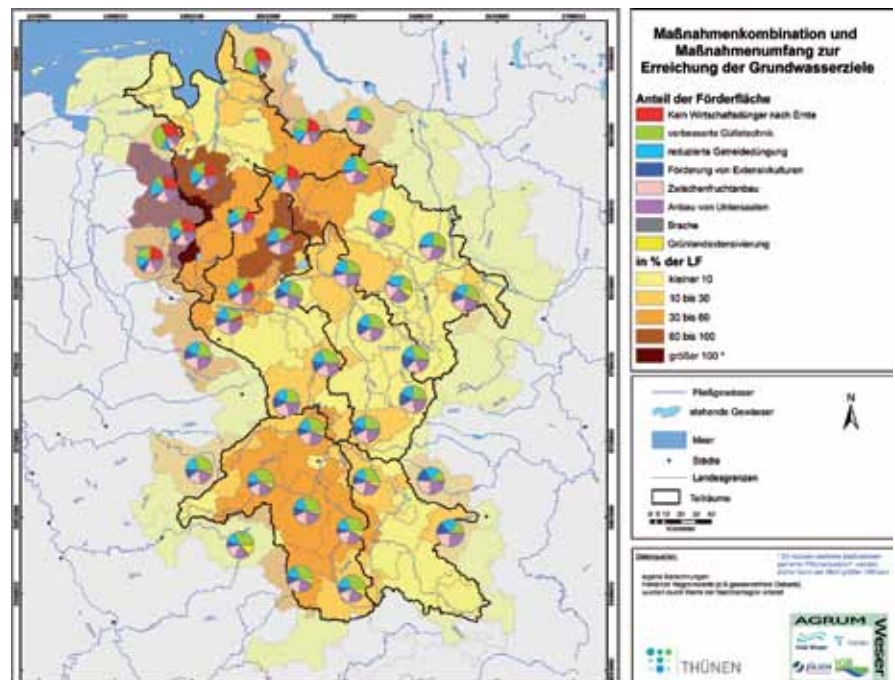
unterschiedlich (►Abb. 41). Erwartungsgemäß muss in den Hotspot-Regionen ein relativ hoher Anteil der LF mit Maßnahmen versehen werden. Dieser Anteil kann in einigen Regionen auch über 100 % der jeweiligen LF ansteigen, was in der Praxis bedeutet, dass auf einer Fläche mehrere Maßnahmen in geeigneter Kombination angewendet werden müssen, und dies insbesondere in derzeit landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen.

Die Maßnahmen „Grundwasser-schonende Ausbringungstechnik“, „Zwischenfruchtanbau und reduzierte Mineraldüngung bei Getreide“ haben den größten Flächenumfang, die „Reduzierte Mineraldüngung bei Getreide“ das höchste Wirkungspotential. Im Südteil der Flussgebietseinheit Weser, mit niedrigeren Viehbestandsdichten, überwiegen die Einsatzpotentiale für die Grünlandextensivierung. In den Regionen im Norden der Flussgebietseinheit Weser mit hoher Viehbestandsdichte zeigen die Maßnahmen „Keine Wirtschaftsdüngerausbringung nach der Ernte“ und „Grundwasser-schonende Ausbringungstechnik“ ein hohes Einsatzpotential, um die Nitratreinträge in das Grundwasser zu reduzieren. Hier wird es jedoch schwierig sein, Agrarumweltmaßnahmen auszudehnen.

Mit den berechneten Maßnahmenflächen könnten theoretisch etwa 13.000 t N/a Stickstoffüberschüsse reduziert werden. Es besteht somit ein Defizit von etwa 1.000 t N/a. Das bedeutet, dass es selbst unter den positiven Annahmen des Baseline-Szenarios (Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie mit



►Abb. 40: Maßnahmenumfang zur Erreichung der Grundwasserziele durch Reduktion der Stickstoffbilanzüberschüsse in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)



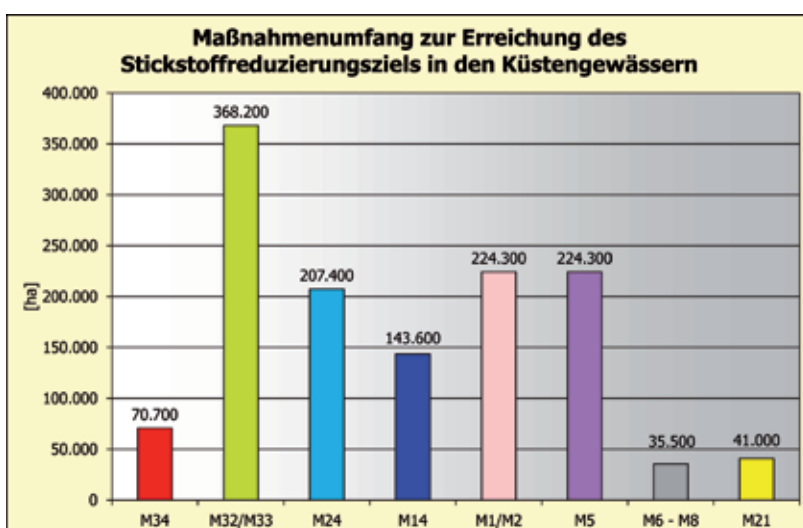
►Abb. 41: Maßnahmenkombination und Maßnahmenumfang zur Erreichung der Ziele des Grundwassers in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

Agrarumweltmaßnahmen) schwierig ist, die Bewirtschaftungsziele zu erreichen. Die Grundwasserziele können also unter den dargelegten Grundvoraussetzungen und Annahmen in rund 9 % der Gemeinden nicht erreicht werden. Um die oben genannten 13.000 t N/a an Überschüssen zu reduzieren, wäre es notwendig, die Förderflächen im Vergleich zum Jahr 2007 mehr als zu vervierfachen, und dies insbesondere in Regionen mit intensiver Viehhaltung, die höhere Grenzkosten für die Umsetzung von Agrarumweltmaßnahmen haben. Aber auch aufgrund der Freiwilligkeit der Umsetzung von Maßnahmen sowie deren Ausgestaltung und Wirkungseffizienz ist davon auszugehen, dass diese theoretisch mögliche Reduktion durch den Ausbau der Agrarumweltprogramme allein nicht geleistet werden kann.

## Maßnahmenszenario zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern

Wenn alle Grundwasserkörper der Flussgebietseinheit Weser durch entsprechende regional angepasste Maßnahmenkombinationen in den betroffenen Regionen in einen guten chemischen Zustand bezüglich Nitrat versetzt wären, so würde das Reduzierungsziel für die Küstengewässer von 2,8 mg N/l in Bremen-Hemelingen und Reithörne noch nicht erreicht sein. Die Stickstoffüberschüsse müssten hierzu ca. um weitere 39.000 t N/a oder nochmals fast 34 % reduziert werden. Mit dem zur Verfügung stehenden Flächenpotential könnten weitere Agrarumweltmaßnahmen in einem Umfang von rund 1,3 Mio. ha LF umgesetzt und somit eine Reduktionswirkung von weiteren 28.000 t N/a Stickstoffüberschuss erreicht werden (►Abb. 42). Bezogen auf die Bundesländer würden davon rund 60 % der Maßnahmen auf Niedersachsen, jeweils 15 % auf Hessen und Nordrhein-Westfalen, 8 % auf Thüringen und rund 3 % auf Sachsen-Anhalt entfallen. Zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern sind der regionale Flächenbedarf sowie die Zusammensetzung der Maßnahmenkombinationen sehr unterschiedlich (►Abb. 43).

Mit den in ►Abbildung 40 und 42 aufgeführten Agrarumweltmaßnahmenflächen könnten theoretisch die Stickstoffüberschüsse um insgesamt 41.000 t reduziert werden. Dazu müssten im Vergleich zum



►Abb. 42: Maßnahmenumfang zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern bei gutem Grundwasserzustand durch Reduktion der Stickstoffbilanzüberschüsse in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)

Basisjahr 2007 die Förderflächen jedoch um etwa das 12-fache ausgedehnt werden. Dies ist in Anbetracht der bisherigen tatsächlichen Entwicklung der Förderflächen unter den gegebenen Rahmenbedingungen keinesfalls absehbar oder umsetzbar. Darüber hinaus wären selbst bei einer solchen Ausweitung der Flächen für Agrarumweltmaßnahmen nur 2/3 der zur Zielerreichung notwendigen Reduktion der landwirtschaftlichen Stickstoffeinträge zu erreichen.

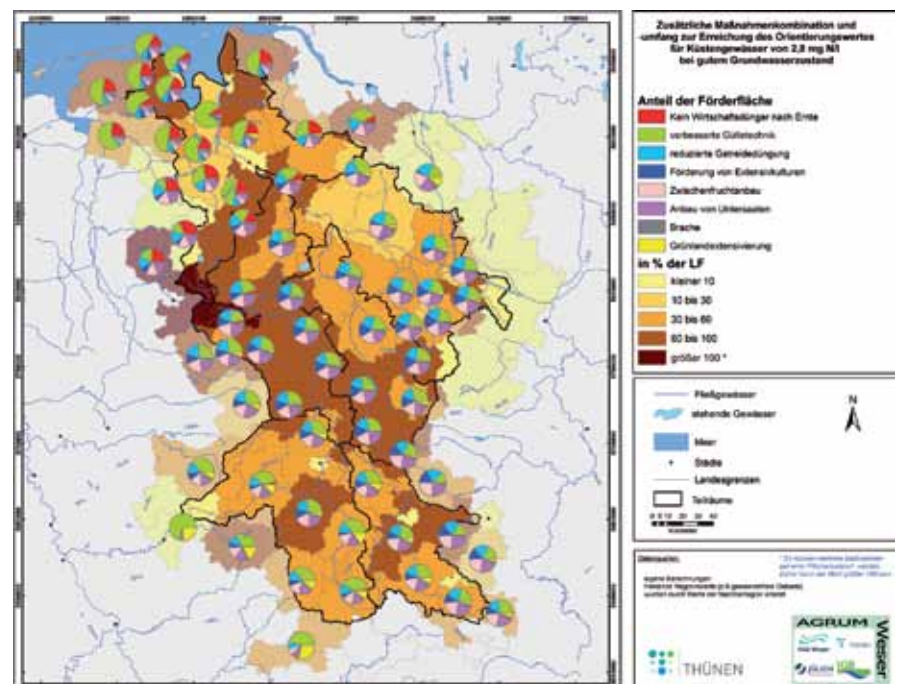
Die dargelegten Ausweitungsoptionen der ergänzenden Agrarumweltmaßnahmen, die zur Zielerreichung analysiert wurden, reichen somit nicht aus, um in der Flussgebiets-einheit Weser flächendeckend die Zielwerte zu erreichen. Dies resultiert aus dem hohen Handlungsbedarf sowie der beschriebenen Vorgehensweise, die die Umsetzungsmöglichkeiten und die Akzeptanz der Maßnahmen auf den verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen berücksichtigt und Maßnahmen mit breitem Wirkungsspektrum in das Portfolio einbezieht.

## Weitere Maßnahmen

Da Phosphoreinträge über Erosion den größten diffusen Beitrag zur Phosphorbelastung der Oberflächengewässer im Wesergebiet leisten, wurde abgeschätzt, welches Potential von **Uferandstreifen** zur Verringerung der Phosphoreinträge ausgeht. Eine pauschale Einschätzung der Wirkung von Uferandstreifen ist schwierig, da sie von zahlreichen Faktoren abhängt. Es wurde eine eher konservative Einschätzung der Rückhaltewirkung

des über Erosion an das Gewässer transportierten Phosphors von 50 % angenommen. Insgesamt wäre eine theoretische Verringerung von ca. 280 t P/a möglich.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion von Nährstoffeinträgen bieten **Maßnahmen an Dränagen**. Durch die Installation von Teichen zwischen Auslass der Dränrohre und den Vorflutern wird hier eine Reduktion der Nährstoffe ermöglicht. Die Ergebnisse legen nahe, dass größere Dränteiche einen stärkeren Nährstoffrückhalt bewirken und ein günstigeres Verhältnis von verbrauchter Fläche (für den Bau des Dränteichs) zum Nährstoffrückhalt aufweisen. Nach diesen Annahmen wird ein Flächenumfang von 23 km<sup>2</sup>



► Abb. 43: Maßnahmenkombination und Maßnahmenumfang zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern bei gutem Grundwasserzustand in der Flussgebiets-einheit Weser (Heidecke et al., 2015)

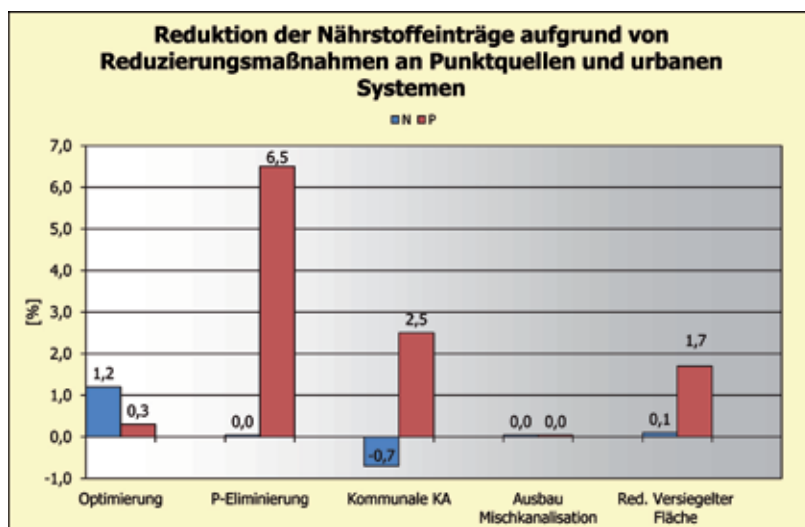
bzw. 0,08 % der landwirtschaftlichen Fläche benötigt. Das bewirkt einen Rückgang der Einträge um 2,6 % (Stickstoff) und 2,2 % (Phosphor). Nach den Annahmen für kleinere Dränteiche beläuft sich der

benötigte Flächenumfang auf 41 km<sup>2</sup> bzw. 0,15 % der landwirtschaftlichen Fläche. Auf diese Weise ergibt sich ein Rückgang der Einträge um 4,4 % (Stickstoff) und 3,3 % (Phosphor). Bei etwa doppeltem Flächenverbrauch wird demnach die Retention um einen Faktor 1,7 erhöht.

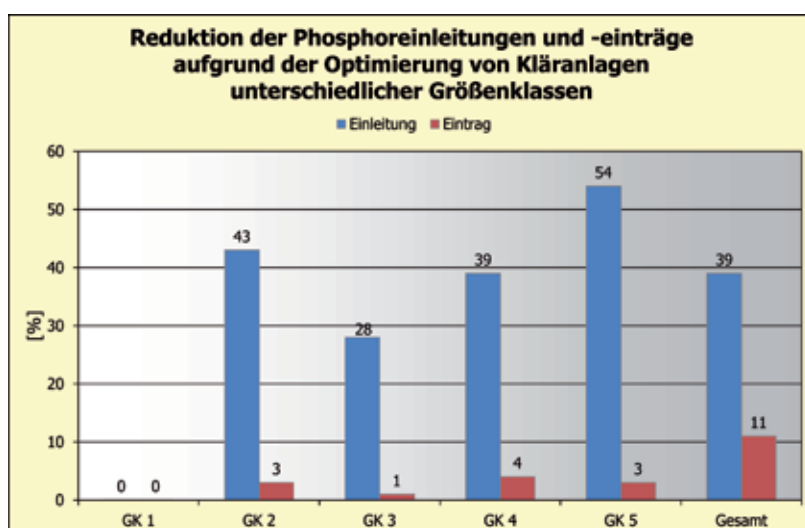
Um das weitere **Reduktionspotential von Einträgen über Punktquellen und urbane Systeme** abbilden zu können, wurden weitere technische Maßnahmen und ihre Auswirkungen auf die Nährstoffeinträge und Frachten für Punktquellen und urbane Systeme untersucht (►Abb. 44).

Durch eine **Optimierung** von Kläranlagen anhand einer Reduktion der maximalen mittleren jährlichen Ablaufkonzentration auf 0,2 mg/l für Größenklasse (GK) 5 erhöht sich die Reduktion der P<sub>ges</sub>-Einleitungen auf 54 %, was einem Rückgang der Einträge um 3 % bedeuten würde (►Abb. 45). Die P<sub>ges</sub>-Einleitungen aus allen Kläranlagen würden durch die angenommenen maximalen mittleren Ablaufkonzentrationen um 282 t/a (39 %) reduziert. Dies entspricht einer Reduktion der gesamten P<sub>ges</sub>-Einträge in der Flussgebietseinheit Weser um 11 %. Eine Auswertung der Reduktionseffekte nach Bundesländern zeigt insbesondere für Bremen ein erhebliches Reduktionspotential. In Hessen ergibt sich mit knapp 100 t/a die höchste absolute Reduktion der P<sub>ges</sub>-Einleitungen.

Eine Ausstattung aller Kleinkläranlagen mit einer **P-Eliminierung** hat als Einzelmaßnahme den höchsten



►Abb. 44: Zusammenfassende Übersicht zur Reduktion der Nährstoffeinträge aufgrund von Reduzierungsmaßnahmen an Punktquellen und urbanen Systemen in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)



►Abb. 45: Reduktion der Phosphoreinleitungen und -einträge aufgrund der Optimierung von Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)



Effekt zur Reduzierung der Phosphoreinträge. Aufgrund der hohen Anteile der Einträge aus Kleinkläranlagen in Thüringen ergibt sich für dieses Bundesland sogar eine Reduktion der Phosphoreinträge um 32 %, die sich vor allem für die Werra sehr deutlich auf die Einträge und Frachten auswirken würden.

Die Zusammenlegung und der Ausbau von Kleinkläranlagen zu einer **kommunalen Kläranlage** wurde nur für 50 % der Kleinkläranlagen angenommen. Daher fällt der Effekt auf die Gesamteinträge geringer aus, als die Ausstattung aller Kleinkläranlagen mit einer P-Eliminierung. Zusätzlich versickern einige Kleinkläranlagen die Abwässer im Untergrund, wo während der Boden- und Grundwasserpassage ebenfalls eine hohe Retention modelliert wurde. Dies schwächt den Effekt dieser Maßnahme zusätzlich ab.

Der **Ausbau des Speichervolumens in der Mischkanalisation** hat ebenso wie die **Reduzierung von versiegelten Flächen** in der Regel nur lokale Auswirkungen, so dass sich insgesamt eine eher geringe Gesamtwirkung zeigt.



➤ Abb. 46: Offenlegung der Geis in Bad Hersfeld auf dem ehemaligen Babcock-Gelände, Reduzierung von versiegelten Flächen (Marc Eidam)

## Zusammenfassung der Ergebnisse

Übergeordnetes Ziel des Projektes AGRUM<sup>+</sup> war es, die Möglichkeiten der Zielerreichung der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzgl. der Nährstoffbelastung durch Stickstoff und Phosphor für die Flussgebietseinheit Weser bis 2021 abzuschätzen. Dazu wurde auf das Modellvorhaben AGRUM Weser aufgebaut, welches in einem vorangegangenen Projekt Analysen bis zum Jahr 2015 durchgeführt hat. Es wurden im Rahmen des Projektes weitergehende Analysen von Nährstoffeinträgen, -emissionen und -frachten sowie die Maßnahmenanalysen fortgeführt und ergänzt. Hierzu wurde der Modellverbund AGRUM Weser um neue Modellerkenntnisse erweitert und auf eine aktualisierte und erweiterte Datenbasis gestellt. Darüber hinaus wurden die Schnittstellen zwischen den Modellen erheblich ausgebaut sowie die Datengrundlagen der Modelle weiter vereinheitlicht.

Die Ergebnisse des Projektes AGRUM<sup>+</sup> wurden in einem projektbegleitenden, aus Vertretern der Wasserwirtschaft und Landwirtschaft bestehenden Arbeitskreis auf mehreren Arbeitssitzungen bewertet, diskutiert und abgestimmt. Die Ergebnisse für das Ausgangsjahr 2007 geben flächendifferenzierte Informationen über die Nährstoffeintragssituation und die Relevanz der einzelnen Eintragspfade in der gesamten Flussgebietseinheit. Auswirkungen von Agrarumweltmaßnahmen auf die Nährstoffeinträge konnten quantifiziert und für unterschiedliche zukünftige Randbedingungen des Agrarsektors prognostiziert werden. Darüber konnten

die Kosten für die Umsetzung der Maßnahmen abgeschätzt werden. Für die Ableitung von Maßnahmen zur Erfüllung der vorläufigen überregionalen Bewirtschaftungsziele für Nährstoffe lieferte das Projekt somit wertvolle Ansätze. Die Analyse von Fließzeiten im Grundwasser gab erste Hinweise auf die zeitlichen Wirkungsaussichten von Agrarumweltmaßnahmen und zeigte, dass die Bewirtschaftungsziele allein aus hydrologischen Gründen bis 2021 in vielen Regionen nicht zu erreichen sind.

### Basisjahr 2007

Die Stickstoff- und Phosphorbilanzen sind seit 1990 erheblich zurückgegangen, wobei beträchtliche regionale Unterschiede bestehen können. Es gibt immer noch Gebiete mit hohen Stickstoffüberschüssen und großem Eintragsrisiko. Dies sind vor allem die viehstarken Regionen im Nordwesten der Flussgebietseinheit Weser. Es zeigt sich außerdem, dass aktuell in den meisten Regionen der Flussgebietseinheit Weser immer noch mit Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von 50 mg NO<sub>3</sub>/l und mehr zu rechnen ist. Besonders hohe Werte ergeben sich flächendeckend für die landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen im Nordwestteil der Flussgebietseinheit Weser.

Die Verteilung der **Bilanzüberschüsse** in der Flussgebietseinheit Weser ergibt für Stickstoff und Phosphor ein ähnliches Bild. Besonders hohe Überschüsse von bis zu 150 kg N/ha LF ohne atmosphärische Deposition finden sich in den Regionen mit hohem Viehbestand

und relativ geringe Überschüsse in den vieharmen Regionen. Für Phosphor ergab sich in letzteren Regionen eine Besonderheit, da hier teilweise sogar negative Bilanzüberschüsse identifiziert wurden.

Die **Haupteintragspfade** in die Vorfluter für **Stickstoff** mit einem Anteil von etwa 80 % sind die Eintragspfade Grundwasser, natürlicher Zwischenabfluss und Dränagen. Die diffusen Eintragspfade Erosion, Abschwemmung und atmosphärische Deposition auf Gewässerflächen sind dagegen weniger bedeutsam. Es ergeben sich für die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer ca. 74.000 t N/a. Davon entfallen ca. 85 % (65.000 t N/a) auf die diffusen Einträge und entsprechend ca. 15 % (9.000 t N/a) auf die punktförmigen und urbanen Einträge.

Im Unterschied zu den Stickstoffeinträgen besteht bei den **Phosphoreinträgen** keine überragende Dominanz einzelner Eintragspfade. Das Verhältnis diffuser (1.480 t P/a) zu punktuellen und urbanen (1.350 t P/a) Quellen ist mit 52 % zu 48 % relativ ausgeglichen. Unter den diffusen Phosphoreinträgen ist der Pfad Erosion von Bedeutung. Darüber hinaus sind jedoch auch die Eintragspfade Dränagen und Grundwasser relevant. Kläranlagen und industrielle Direkteinleiter tragen für Phosphor knapp 30 % zu den Gesamteinträgen bei. Dieser Anteil variiert jedoch stark in den Teilräumen der Flussgebietseinheit Weser und liegt in den urbanen Gebieten bei teilweise über 60 %. Ein Schwerpunkt liegt hier in Thüringen, wo der höchste Anteil an den punktuellen Gesamteinträgen ermittelt wurde.

Insbesondere ist dies verursacht durch Kleinkläranlagen.

### Baseline-Szenario 2021

Die Entwicklung der Nährstoffbilanzüberschüsse bis zum Jahr 2021 wird durch eine Vielzahl von Einzeleffekten beeinflusst, die regional sowohl bezüglich ihrer Wirkungsrichtung als auch bezüglich ihrer Wirkungshöhe unterschiedlich ausfallen können. Gegenüber dem Basisjahr 2007 ist nach den Berechnungen mit RAUMIS unter den getroffenen Annahmen eine Verminderung der **Stickstoffbilanzüberschüsse** insgesamt um ca. 20 % bzw. 13 kg N/ha LF zu erwarten. Dennoch bleibt insbesondere in Regionen mit intensiver Viehhaltung und dadurch bedingten hohen Nährstoffbilanzüberschüssen weiterer Handlungsdruck bestehen. Die gesamten Einträge in die Oberflächengewässer sinken auf 67.000 t N/a, ein Rückgang um ca. 9 %.

### Handlungsbedarf und Maßnahmen Grundwasser

Der notwendige **Reduktionsbedarf der Stickstoffbilanzüberschüsse** zur Erreichung des guten Grundwasserzustandes bezüglich Nitrat beläuft sich auf etwa 14.000 t N/a, wenn er auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen in den Gemeinden bezogen wird. Mit Agrarumweltmaßnahmen auf einer Gesamtfläche von über 0,6 Mio. ha und damit verbundenen jährlichen Kosten von ca. 36 Mio. € könnten die Ziele jedoch nicht in allen Regionen erreicht werden. In den Hot-spot-Regionen, die durch eine hohe Viehbestandsdichte gekennzeichnet

sind, wären darüber hinaus mehrere Maßnahmen auf derselben Fläche notwendig, um die Grundwasserziele zu erreichen. Nach den Modellanalysen müsste der Umfang der Agrarumweltmaßnahmen rechnerisch vervierfacht werden, um in 91 % der Regionen mit den hier analysierten Agrarumweltmaßnahmenkombinationen die Grundwasserziele erreichen zu können. Dies dürfte sich in der Realität nicht umsetzen lassen.

### **Handlungsbedarf und Maßnahmen Oberflächengewässer**

In den Oberflächengewässern dürfen nach den Orientierungswerten der LAWA je nach Gewässertyp Werte von 0,1 - 0,3 mg  $P_{ges}$ /l nicht überschritten werden. Insgesamt sind **Phosphoreinträge** um etwa 900 t  $P_{ges}$ /a zu reduzieren.

Zur Verringerung der Phosphoreinträge wurde eine Abschätzung von Maßnahmenzenarien vorgenommen. Diese beinhalten die Anlage von Uferrandstreifen, Maßnahmen an Dränagen sowie das Reduktionspotential von Einträgen über Punktquellen und urbane Systeme.

### **Handlungsbedarf und Maßnahmen Küstengewässer**

Die notwendigen Reduktionen zur Erreichung der Grundwasserziele bezüglich Nitrat würden nicht ausreichen, um gleichzeitig das **Stickstoffreduzierungsziel in den Küstengewässern** zu erreichen. Hierzu sind weitere Reduktionen der Stickstoffüberschüsse um weitere 39.000 t N/a notwendig. Das

Reduzierungsziel kann mit den hier untersuchten Agrarumweltmaßnahmenkombinationen unter den vorliegenden Rahmenbedingungen nicht erreicht werden. Selbst mit Maßnahmen auf etwa 1,3 Mio. ha, was Kosten in Höhe von ca. 81 Mio. € verursachen würde, könnten theoretisch nur 72 % der erforderlichen N-Reduzierung erreicht werden und das auch nur dann, wenn von den Umsetzungsschwierigkeiten abgesehen wird.

Der ermittelte theoretisch notwendige Umfang der Agrarumweltmaßnahmen verdeutlicht anschaulich, dass die Gewässerschutzziele trotz optimistischer Annahmen bzgl. der berücksichtigten Entwicklung der landwirtschaftlichen Nährstoffbilanzüberschüsse bis 2021 nicht alleine durch eine Ausdehnung der Agrarumweltmaßnahmen zu erreichen sind.





BEHRENDT, H. ET AL. (1999)	Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. UBA-Texte 75/99. Berlin, 289 S.
BEHRENDT, H. ET AL. (2002)	Estimation of the nutrient inputs into river systems - experiences from German rivers. Regional Environmental Changes 3, 107-117.
BEHRENDT, H. ET AL. (2003)	Quantifizierung der Nährstoffeinträge der Flussgebiete Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Vorgehens. UBA-Texte 82/03, 201 S.
DÜNGEVERORDNUNG. (2007)	Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007. (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.
FGG WESER. (2007)	Die wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen in der Flussgebietseinheit Weser. <a href="http://www.fgg-weser.de/Download-Dateien/bewirtschaftungsfragen_weser_2007.pdf">http://www.fgg-weser.de/Download-Dateien/bewirtschaftungsfragen_weser_2007.pdf</a> .
FGG WESER. (2014B)	Die wichtigen Fragen der Gewässerbewirtschaftung in der Flussgebietseinheit Weser. <a href="http://www.fgg-weser.de/Download-Dateien/wichtigen_fragen_gewaesserbewirtschaftung_weser_2014.pdf">http://www.fgg-weser.de/Download-Dateien/wichtigen_fragen_gewaesserbewirtschaftung_weser_2014.pdf</a> .
FGG WESER. (2015)	Hintergrundpapier: Ableitung von Bewirtschaftungszielen und Maßnahmen gem. § 44WHG (Art. 4 EG-WRRL) bzgl. der Stickstoffeinträge in die Küstengewässer für den Bewirtschaftungsplan 2015 bis 2021.
FGG WESER. (2015)	Methodik des Nährstoffmanagements in der Flussgebietseinheit Weser - Der Modellverbund AGRUM Weser -, Schriftenreihe Heft 24.
GAUGER, T. ET AL. (2008)	Erfüllung der Zielvorgaben der UNECELuftreinhaltekonvention (Wirkungen). Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben FKZ 204 63 252 : Im Auftrag des Umweltbundesamtes, gefördert vom Bundesministerium f. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
GRWV. (2010)	Verordnung zum Schutz des Grundwassers – BGBl. I S. 1513.

HEIDECKE, C. ET AL. (2015)	Endbericht zum Forschungsprojekt „Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser“ AGRUM+ Weser. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 380 S. Thünen Rep 21.
HEINRICHSMEYER, W. ET AL. (1996)	Entwicklung eines gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021), vervielfältigtes Manuskript Bonn/Braunschweig.
KREINS, P. ET AL. (2004)	Management regionaler Flusseinzugsgebiete in Deutschland (REGFLUD) - Rahmenbedingungen und Politikoptionen bei diffusen Nährstoffeinträgen der Landwirtschaft in den Rhein und in die Ems. IfGI prints, Band 21, Seite 41-50, deutsch.
KREINS, P. ET AL. (2007)	Integrated agricultural and hydrological modeling within an intensive livestock region. <i>Advances in the economics of environmental resources</i> 7:113-142.
KREINS, P. ET AL. (2010)	Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit Weser.
KREINS, P., GÖMANN, H., & HEINRICHSMEYER, W. (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 <i>Agra-Europe</i> 29.7.2002 Nr. 31, Sonderbeilage.
KUHR, P. ET AL. (2013)	Model Based Assessment of Nitrate Pollution of Water Resources on a Federal State Level for the Dimensioning of Agro-environmental Reduction Strategies: The North Rhine-Westphalia (Germany) Case Study. <i>Water Resources Management</i> , 27(3), 885-909.
KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (2002)	The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins - the river Elbe case study. <i>Journal of Hydrology</i> 259, 152-162.
LAWA. (2007)	Rahmenkonzeption Monitoring Teil B Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen; Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten.

LAWA. (2012)	Produktdatenblatt 2.4.6: Ableitung überregionaler Bewirtschaftungsziele in den Flussgebietseinheiten mit deutscher Federführung.
LAWA. (2014A)	Produktdatenblatt 2.4.7: Empfehlung zur Übertragung flussbürtiger, meeresökologischer Reduzierungsziele ins Binnenland.
LAWA. (2014B)	Prognose der Auswirkungen einer nach Gewässerschutzaspekten novellierten Düngeverordnung auf die Qualität der Oberflächengewässer in Deutschland.
TETZLAFF, B. (2006)	Die Phosphatbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen. PhD thesis, Universität Hannover/Forschungszentrum Jülich GmbH, Hannover/Jülich, Germany.
OFFERMANN, F. ET AL. (2012)	vTI-Baseline 2011-2021: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Braunschweig. vTI, 82 p, Landbauforsch SH 355.
TETZLAFF, B., KUHR, P., & WENDLAND, F. (2008)	Ein neues Verfahren zur differenzierten Ableitung von Dränflächenkarten für den mittleren Maßstabsbereich auf Basis von Luftbildern und Geodaten. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Bd. 52, H. 1, S. 9-18.
TETZLAFF, B. ET AL. (2009)	Modelling phosphorus inputs from agricultural sources and urban areas in river basins. Environmental Geology (1): 183-193, doi: 10.1007/s00254-008-1293-1.
TETZLAFF, B. ET AL. (2013)	Grid-based modelling of nutrient inputs from diffuse and point sources for the state of North Rhine-Westphalia (Germany) as a tool for river basin management according to EU-WFD. River Systems 20 (3-4), 213-229.
UBA. (2010)	Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 1 Grundlagen.
VENOHR, M. ET AL. (2011)	Modelling of Nutrient Emissions in River Systems - MONERIS - Methods and Background. Internat. Rev. Hydrobiol., 96, 5, 435-483.



Abs.	Absatz
AGRUM Weser	Analyse von <b>A</b> grar- und <b>U</b> mweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit <b>W</b> eser
ATKIS	Amtliches Topografisches Karteninformationssystem
BFD50	Bodenflächendaten 1:50.000
BGK50/100	Bodengrundkarte 1:50.000/1:1.000.000
BK50	Bodenkarte 1:50.000
BÜK50	Bodenübersichtskarte 1:50.000
CIS	Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (RL 2000/60/EC)
DENUZ	Modell zur Quantifizierung des Nitratabbaus im Boden
DGM	Digitales Geländemodell
DLM25	Digitales Landschaftsmodell
EG	Europäische Gemeinschaft
EG-WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG)
FGG Weser	Flussgebietsgemeinschaft Weser
FZJ	Forschungszentrum Jülich
GROWA	<b>g</b> roßräumiges <b>W</b> asserhaushaltsmodell
ha	Hektar
HÜK200	Hydrogeologische Übersichtskarte 1:200.000
IGB	Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche
LN	Landwirtschaftsflächen
MEPhos	<b>M</b> odell zur <b>E</b> rmittlung des <b>P</b> hosphoreintrags
MONERIS	<b>M</b> odelling <b>N</b> utrient <b>E</b> missions in <b>R</b> iver <b>S</b> ystems
N	Stickstoff
NH <sub>4</sub> -N	Ammoniumstickstoff
NHN	Normalhöhennull
NO <sub>3</sub>	Nitrat
NO <sub>x</sub> -N	Stickstoff-Oxid-Stickstoff (Stickstoffmonoxid- und Stickstoffdioxid-Stickstoff)

P	Phosphor
RAUMIS	<b>R</b> egionalisiertes <b>A</b> grar- und <b>U</b> mwelt- <b>I</b> nformations- <b>S</b> ystem
TI	Thünen-Institut
VBK50	Vorläufige Bodenkarte 1:50.000
WEKU	Modell zur Simulation der grundwasserbürtigen Stickstoff-einträge in die Oberflächengewässer

Seite	Titel
Titelbild	Landwirtschaftliche Flächen (FGG Weser)
Seite 5	Logo des Projektes AGRUM+ (FGG Weser)
Seite 6	►Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit Landnutzung in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 7	►Abb. 2: Anteil der Ackerfläche in der Flussgebietseinheit Weser (2007) (Heidecke et al., 2015)
Seite 8	►Abb. 3: Viehbestandsdichte in der Flussgebietseinheit Weser (2007) (Heidecke et al., 2015)
Seite 8	►Abb. 4: Topographie in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 9	►Abb. 5: Hauptbodentypen in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 10	►Abb. 6: Modellstrategie AGRUM+ (FGG Weser, 2015)
Seite 11	►Abb. 7: Prinzipskizze der Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer (FGG Weser, 2015)
Seite 12	►Abb. 8: Zusammenspiel der Modelle im Modellverbund AGRUM Weser (FGG Weser, 2015)
Seite 13	►Abb. 9: Analyseinstrument RAUMIS (Kreins et al., 2010)
Seite 14	►Abb. 10: Schematische Darstellung diffuser Stickstoffeinträge ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer (GROWA-DENUZ-WEKU-Modell) (Heidecke et al., 2015)
Seite 16	►Abb. 11: Eintragspfade in MONERIS (Venohr et al., 2011)
Seite 17	►Abb. 12: verschiedene landwirtschaftliche Landnutzungen (Gerles Ingenieure GmbH)
Seite 18	►Abb. 13: Kläranlageneinleitung (FGG Weser)
Seite 19	►Abb. 14: Komponenten des Wasserhaushaltes in GROWA (Heidecke et al., 2015)
Seite 21	►Abb. 15: Komponenten des Wasserhaushalts und der Nährstoffbilanz (FGG Weser)
Seite 22	►Abb. 16: Hoftorbilanz für Stickstoff und Phosphor in Deutschland 1950 bis 2008 nach Bach und Frede (UBA, 2010)
Seite 23	►Abb. 17: Wirtschaftsdüngeraufbringung mittels Schleppschuh (Landwirtschaftskammer Niedersachsen)
Seite 24	►Abb. 18: Nährstoffbilanzüberschüsse (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 25	►Abb. 19: Potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 26	►Abb. 20: Stickstoffeinträge in das Grundwasser (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 27	►Abb. 21: Fließzeiten des Grundwassers im oberen Aquifer in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)

Seite	Titel
Seite 28	➤Abb. 22: Gesamte Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 29	➤Abb. 23: Stickstoffeinträge 2007 in die Oberflächengewässer der Flussgebietseinheit Weser, aufgeschlüsselt nach Eintragspfaden (Datenquelle: Heidecke et.al., 2015)
Seite 29	➤Abb. 24: Gesamte Phosphoreinträge 2007 in die Oberflächengewässer in der Flussgebietseinheit Weser, differenziert nach Eintragspfaden (Datenquelle: Heidecke et.al., 2015)
Seite 31	➤Abb. 25: Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer über urbane Systeme und Punktquellen (2007) in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 32	➤Abb. 26: Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer der Planungseinheiten (2007) der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 33	➤Abb. 27: Vergleich der mit GROWA modellierten Gesamtabflusshöhen (links) und Grundwasserneubildungshöhen (rechts) mit gemessenen Abflüssen (Heidecke et al., 2015)
Seite 34	➤Abb. 28: Vergleich der mit GROWA-DENUZ-WEKU modellierten Stickstoffeinträge (links) bzw. mit GROWA-MEPHos modellierten Phosphoreinträge (rechts) in die Vorfluter aus diffusen und punktförmigen Eintragsquellen mit beobachteten Stickstoff- bzw. Phosphorfrachten unter Berücksichtigung der gewässerinternen Retention (Heidecke et al., 2015)
Seite 35	➤Abb. 29: Vergleich der mit MONERIS berechneten und aus beobachteten Werten berechneten („beobachteten“) Stickstoff- und Phosphorfrachten der Jahre 2006 bis 2008 (Heidecke et al., 2015)
Seite 36	➤Abb. 30: Messpegel Porta (FGG Weser)
Seite 38	➤Abb. 31: Beweidete Flussaue (FGG Weser)
Seite 40	➤Abb. 32: Stickstoffbilanzüberschüsse 2007 und 2021 in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 43	➤Abb. 33: Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Basis des Baseline-Szenarios 2021 in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 44	➤Abb. 34: Stickstoffkonzentration der Hauptläufe 2021 in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 46	➤Abb. 35: Handlungsbedarf zur Erreichung der Grundwasserziele auf Basis des Baseline-Szenarios 2021 (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 47	➤Abb. 36: Zu reduzierende Phosphoreinträge zur Erreichung des Ziels in den Oberflächengewässern der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 48	➤Abb. 37: Stickstoffretentionspotential in den Hauptläufen der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 49	➤Abb. 38: Zu reduzierende Stickstoffeinträge zur Erreichung des Reduzierungsziels in den Küstengewässern von 2,8 mg/l N bei gutem chemischen Grundwasserzustand bezüglich Nitrat in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)



Seite	Titel
Seite 51	➤Abb. 39: Zwischenfruchtanbau mit Senf (Geries Ingenieure GmbH)
Seite 53	➤Abb. 40: Maßnahmenumfang zur Erreichung der Grundwasserziele durch Reduktion der Stickstoffbilanzüberschüsse in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 53	➤Abb. 41: Maßnahmenkombination und Maßnahmenumfang zur Erreichung der Ziele des Grundwassers in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 54	➤Abb. 42: Maßnahmenumfang zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern bei gutem Grundwasserzustand durch Reduktion der Stickstoffbilanzüberschüsse in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 55	➤Abb. 43: Maßnahmenkombination und Maßnahmenumfang zur Erreichung des Stickstoffreduzierungsziels in den Küstengewässern bei gutem Grundwasserzustand in der Flussgebietseinheit Weser (Heidecke et al., 2015)
Seite 56	➤Abb. 44: Zusammenfassende Übersicht zur Reduktion der Nährstoffeinträge aufgrund von Reduzierungsmaßnahmen an Punktquellen und urbanen Systemen in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 56	➤Abb. 45: Reduktion der Phosphoreinleitungen und -einträge aufgrund der Optimierung von Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen in der Flussgebietseinheit Weser (Datenquelle: Heidecke et al., 2015)
Seite 57	➤Abb. 46: Offenlegung der Geis in Bad Hersfeld auf dem ehemaligen Babcock-Gelände, Reduzierung von versiegelten Flächen (Marc Eidam)

Seite	Titel
Seite 20	➤ Tab. 1: Kenngrößen des mittleren langfristigen Wasserhaushalts (1983 bis 2005) in der Flussgebietseinheit Weser (FGG Weser)
Seite 50	➤ Tab. 2: Zielkonzentrationen 2015/2021 für Gesamtstickstoff an ausgewählten Kontrollmessstellen (FGG Weser, 2015)
Seite 52	➤ Tab. 3: Überblick über die im Projekt AGRUM+ Weser untersuchten Maßnahmen zum landwirtschaftlichen Gewässerschutz durch Reduktion der Stickstoffüberschüsse (Quelle: Heidecke et al., 2015) auf Basis von Osterburg und Runge 2007

# Impressum

**Herausgeber:** Flussgebietsgemeinschaft Weser  
Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr  
der Freien Hansestadt Bremen  
(Vorsitz der Flussgebietsgemeinschaft)  
Contrescarpe 72, 28195 Bremen

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Mainzer Straße 80, 65189 Wiesbaden

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz  
Archivstraße 2, 30169 Hannover

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Schwannstraße 3, 40476 Düsseldorf

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie  
des Landes Sachsen-Anhalt  
Leipziger Straße 58, 39112 Magdeburg

Thüringer Ministerium für Umwelt,  
Energie und Naturschutz  
Beethovenstraße 3, 99096 Erfurt

**Bearbeitung:** Geschäftsstelle der FGG Weser  
Ute Kuhn  
Benjamin Schmidt

Thünen-Institut für Ländliche Räume (TI), Braunschweig  
Dr. Claudia Heidecke  
Andrea Ackermann  
Peter Kreins

Forschungszentrum Jülich (FZJ), Institut für Bio- und  
Geowissenschaften - Agrosphäre, Jülich  
Petra Kuhr  
Dr. Ralf Kunkel  
Dr. Björn Tetzlaff  
Prof. Dr. Frank Wendland

Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)  
im Forschungsverbund Berlin e. V., Berlin  
Dr. Ulrike Hirt  
Judith Mahnkopf  
Michael Schott  
Dr. Markus Venohr

**Bezugsadresse:** Geschäftsstelle der FGG Weser  
An der Scharlake 39, 31135 Hildesheim  
Telefon: 05121 509712  
Telefax: 05121 509711  
E-Mail: [info@fgg-weser.de](mailto:info@fgg-weser.de)  
[www.fgg-weser.de](http://www.fgg-weser.de) (Veröffentlichungen/Downloads der FGG Weser)

