



## Stadt, Land, Fluss:

Modellierung und Management  
von Nährstoffbelastungen in Gewässern

# Inhaltsverzeichnis



<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>	<b>Gewässer als Lebensadern erhalten: Die Zeit drängt</b> .....	<b>10</b>	<b>Die IGB-Arbeitsgruppe „Nährstoffbilanzen in Flusssystemen“</b> .....	<b>44</b>
<b>Nährstoffe im Wasser – und warum ein Übermaß schädlich sein kann</b> .....	<b>4</b>	<b>MONERIS: Den Nährstoffen auf der Spur</b> .....	<b>14</b>	<b>Bildnachweise</b> .....	<b>46</b>
<b>Eintragspfade: Wo die Nährstoffe herkommen</b> .....	<b>8</b>	<b>Von der Elbe bis zur Mongolei: Fünf Beispiele für die Anwendung von MONERIS</b> .....	<b>30</b>	<b>Impressum</b> .....	<b>48</b>



**Klement Tockner,**  
Direktor am Leibniz-Institut  
für Gewässerökologie und  
Binnenfischerei (IGB)

# Forschen für die Zukunft unserer Gewässer

Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor sind eine wichtige Grundlage für das Leben in Flüssen und Seen. Eine Überdüngung der Gewässer wirkt sich jedoch nicht nur negativ auf die chemische Gewässerqualität aus, sondern beeinflusst auch die aquatischen Ökosysteme – bis hin zum Verlust der Artenvielfalt dieser Lebensräume. Im Zuge des Landschaftswandels ändern sich die Einträge von Nährstoffen in die Gewässer. Eine aktuelle Entwicklung ist etwa der vermehrte Anbau von Energiepflanzen zu Lasten von Nahrungspflanzen.

Über die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) fällt den Mitgliedstaaten die Aufgabe zu, ihre Gewässer bis 2015, spätestens bis 2027, über Ländergrenzen hinweg in einen guten ökologischen und chemischen Zustand zu überführen.

Binnengewässer stehen in enger Wechselwirkung mit der umgebenden Landschaft, dem Grundwasser und den marinen Systemen. Im Rahmen der Umsetzung der WRRL ist es daher unentbehrlich, diese Wechselwirkungen zu verstehen und Synergien zwischen den derzeit häufig konkurrierenden Nutzungen zu entwickeln.

Am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) erforschen wir die grundlegenden Prozesse in Flüssen und Seen und entwickeln Maßnahmen für ein nachhaltiges Gewässermanagement. Dabei verfolgen wir disziplinen- und skalenübergreifende Denkansätze. Exemplarisch dafür steht die Entwicklung des Nährstoffeintragsmodells MONERIS. Mit Hilfe von MONERIS können die Einträge von Nährstoffen quantifiziert und kann deren Verbleib im Flusssystem analysiert werden – auf regionaler Ebene, aber auch für ganze Einzugsgebiete. Am Beispiel von MONERIS zeigt sich, dass oft jahrelange Grundlagenforschung notwendig ist, um ein exzellentes, anwenderfähiges Werkzeug zu entwickeln. Zudem führt der enge Austausch mit den Behörden und mit der Praxis zu einer kontinuierlichen Weiterentwicklung von MONERIS. Das Besondere an MONERIS ist unter anderem der Szenariomanager, der unterschiedliche Managementalternativen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit analysiert und vergleicht. Heutzutage wird MONERIS bereits in 18 Ländern weltweit und an über 450 Flusssystemen angewendet, mit dem Ziel, die Gewässerqualität zu verbessern – zum Wohle von und zum Nutzen für Mensch und Natur.

# Nährstoffe im Wasser – und warum ein Übermaß schädlich sein kann

Ohne Nährstoffe wäre in Oberflächengewässern kein Leben möglich: Stickstoff, Phosphor, Silizium – um die wichtigsten Stoffe zu nennen – sind Nahrung für Primärproduzenten wie Algen (Phytoplankton) ebenso wie für auf dem Boden angesiedelten Bewuchs (Phytobenthos). Von Phytoplankton ernähren sich Kleintiere wie Krebse, die wiederum den Fischen als Futter dienen. Unter naturnahen Bedingungen sind Nährstoffe häufig limitierend, das heißt: Wenn die verfügbaren Nährstoffe verbraucht sind, wird das Wachstum der Primärproduzenten und somit aller aquatischen Lebewesen gehemmt. Die Nutzung von Landschaft und Gewässern bewirkt häufig einen erhöhten Eintrag von Nährstoffen in Flüsse und Seen und hat meist ein übermäßiges Wachstum von

Phytoplankton und Phytobenthos zur Folge. Nach ihrem Absterben können Zersetzungsprozesse zu einer Zehrung des Sauerstoffes im Wasser führen. Die Folge: lebensfeindliche Bedingungen für die aquatische Fauna – im schlimmsten Fall bis hin zum Fischsterben. Einige Cyanobakterien (früher Blaualgen genannt) können auch toxische Verbindungen abgeben und so die Nutzung als Badegewässer oder zur Trinkwassergewinnung einschränken. Mittlerweile gibt es nur noch in wenigen Oberflächengewässern Deutschlands und auch Europas naturnahe Bedingungen.





Naturnahe Seen und Flüsse – neben  
der Bedeutung als Lebensraum und für  
die Trinkwassergewinnung verbringen  
Anwohner hier gerne ihre Freizeit.

### Selbstreinigung der Natur

Die Nährstoffe stehen also in einem ständigen Kreislauf von pflanzlichem Aufwuchs, Absterben und Zersetzen. Dabei werden sie teilweise aus den Gewässern wieder entfernt – durch Selbstreinigung bzw. Retention. Den Vorgang, bei dem Stickstoff aus dem Gewässer entweicht, nennt man Denitrifikation: Dabei verbrauchen Bakterien den Sauerstoff aus Stickstoffverbindungen, und der Stickstoffanteil ( $N_2$  oder – bei unvollständiger Umsetzung –  $N_2O$ ) entweicht in die Atmosphäre. Der Umfang der Denitrifikation ist von einer Reihe von Einflussgrößen abhängig und steigt unter anderem bei zunehmender Wassertemperatur und einer geringen Fließgeschwindigkeit (einer langen Aufenthaltszeit) des Wassers.





Mit aufwendigen Methoden versuchen Wissenschaftler die Retention in Gewässern zu messen und zu verstehen. Diese Ergebnisse werden später z.B. in Modellen verwendet.

Bei Phosphor gibt es keinen vergleichbaren Prozess, er lagert sich vorübergehend oder dauerhaft in den Sedimenten der Gewässer oder in Uferbereichen (Auen) ab. Einmal in die Gewässer geleiteter Phosphor kann dort über viele Jahrzehnte gespeichert werden. Aus diesem Grund findet man in den Auen häufig sehr hohe Phosphorkonzentrationen. Unter bestimmten Bedingungen kann er wieder freigesetzt und dem Nährstoffkreislauf zugeführt werden. Nährstoffe werden auch durch Wasserpflanzen aufgenommen. Durch das Entfernen dieser Pflanzen, bevor sie im Winter absterben, werden die Nährstoffe dem Kreislauf dauerhaft entzogen.

Ein weiterer Nährstoff, der in Oberflächengewässern eine Rolle spielt, ist Silizium. Im Gegensatz zu Stickstoff und Phosphor wird es fast ausschließlich auf natürlichem Weg in Gewässer eingetragen: Silizium entsteht bei der Verwitterung von Gesteinen und wird von allen schalenbildenden Organismen (z.B. Muscheln) für den Aufbau benötigt. Auch Silizium kann deswegen ein wachstumslimitierender Faktor für bestimmte Tierarten sein. Hohe Siliziumkonzentrationen haben aber keine negativen Auswirkungen auf das Ökosystem.



Ballungsräume und eine intensive Landwirtschaft stellen häufig die wichtigsten Quellen für Nährstoffeinträge dar.

# Eintragungspfade: Wo die Nährstoffe herkommen

Unter naturnahen Bedingungen sind Oberflächen-gewässer in der Regel nährstoffarm. Die Nutzung der Landschaft hat jedoch in vielen Gewässern zu ange-stiegenen Nährstoffeinträgen geführt. Bei Nährstoff-einträgen wird grundsätzlich zwischen diffusen und punktförmigen Eintragungspfadern unterschieden. Diese Unterscheidung ist notwendig, weil die zugrunde liegenden Nährstoffquellen, Prozesse und ebenso die Nährstoffkonzentrationen deutlich voneinander abweichen. Punktförmige Nährstoffeinträge, z. B. aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Direkt-einleitern, gelangen unmittelbar in die Oberflächen-gewässer, während diffuse Nährstoffeinträge auf mittelbaren, unterschiedlichen Pfaden in die Gewäs-ser gelangen – etwa über Bodenerosion oder über das Grundwasser.

Die Landwirtschaft spielt bei den diffusen Nährstoff-einträgen eine zentrale Rolle. Mit der Ernte werden den Böden ständig Nährstoffe entzogen. Um zu ver-meiden, dass die Böden unter Nährstoffverarmung leiden, werden ihnen je nach Anbaufrucht Stickstoff, Phosphor und Kalium als Dünger zugeführt. Davon wird nur ein Teil im Boden zurückgehalten bzw. durch Pflanzen aufgenommen, der Rest gelangt – über verschiedene Wege – in die Grund- und Ober-flächengewässer.

Werden die Düngemittel nicht fachgerecht aufgebracht, verstärkt sich dieser Effekt noch. Zudem werden für die landwirtschaftliche Nutzung auch Flächen aufgewertet, die weniger für den Ackerbau geeignet sind, indem sie künstlich bewässert oder durch Dränagen entwässert werden.

Dränagen bewirken eine Art Kurzschluss zwischen aufgebrachter Düngung und Gewässern: Das mit Nährstoffen angereicherte Wasser aus dem Acker wird dabei beschleunigt und direkt dem nächsten natürlichen Gewässer zugeführt, ohne dass Abbauprozesse in tieferen Bodenschichten stattfinden können.

## Viele Wege führen zum Wasser

Für Stickstoff und Phosphor sind unterschiedliche Eintragspfade in die Gewässer wichtig: Stickstoff ist sehr gut wasserlöslich und versickert leicht. Phosphor dagegen reichert sich bevorzugt im Boden an und gelangt durch Abschwemmung und Erosion in Oberflächengewässer. Für Stickstoff sind daher meist Dränagen sowie Grundwasser und für Phosphor Erosion, Abschwemmung und je nach Besiedlung Einträge über Kläranlagen die dominierenden Eintragspfade.





Flüsse durchströmen die meisten unserer größeren Städte. Sie übernehmen viele Funktionen für den Menschen, aber wir dürfen sie nicht überstrapazieren, damit wir sie auch in Zukunft nutzen können.

# Gewässer als Lebensadern erhalten: Die Zeit drängt

Gewässer sind Lebensraum für eine Vielzahl von Arten. Zugleich haben sie große Bedeutung für den Menschen: Sie dienen unter anderem zur Trinkwasserversorgung, als Wirtschaftswege (Schifffahrt), als Badegewässer, aber auch zum Abtransport von Abwässern aus Städten.

Um all diese Funktionen zu sichern, wurde im Jahr 2000 die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) aufgelegt. Sie fordert die Erreichung eines guten ökologischen Zustands für Seen, Flüsse und das Grundwasser in Europa bis zum Jahr 2027.

„Guter ökologischer Zustand“ heißt dabei nicht, dass die Gewässer in einen ursprünglichen, natürlichen Zustand versetzt werden müssen. Vielmehr soll sichergestellt werden, dass der chemische und biologische Zustand auch zukünftige anthropogene Nutzungen ermöglicht und Gewässer wieder oder weiterhin als Lebensraum für die Flora und Fauna dienen können. Dafür müssen die (negativen) Effekte der anthropogenen Nutzung auf ein geringes und ressourcenschonendes Maß reduziert werden.



Eine Elbflussaue bei Bad Schandau. Zum Fluss gehört auch die Aue – an vielen Stellen wird sie jedoch genutzt. Bei Hochwasser wird es für die naheliegenden Gebäude schnell ungemütlich.

## Stress für Gewässer

Aktuell sind etwa 56 Prozent der europäischen Flüsse, 44 Prozent der Seen und 25 Prozent des Grundwassers in moderatem oder sogar schlechtem Zustand. In einigen zentraleuropäischen Ländern liegt der Anteil noch deutlich höher. Diese Gewässer werden durch mehrere so genannte Stressoren beeinträchtigt: Flussbettveränderungen bzw. Kanalisierungen verschlechtern die Lebensbedingungen von Fischen und anderen aquatischen Lebewesen. Stauseen beeinflussen die Durchgängigkeit von Wasserwegen für Fische und haben einen starken Einfluss auf die Abflüsse und das Algenwachstum.

Intensive Landwirtschaft führt unter anderem zu Bodenerosion, die eine verstärkte Sedimentbildung zur Folge hat: Natürliche Kieselzwischenräume werden aufgefüllt, wodurch der Lebensraum für aquatische Kleinlebewesen wegfällt. Der Verlust von Uferbereichen mit ihrer typischen Vegetation bedeutet für viele Tierarten, Schutz- und Lebensraum zu verlieren. Ein weiterer Stressor kann auch die steigende Wassertemperatur sein. Zusätzlich hat der Klimawandel unter anderem ein erhöhtes Hochwasserrisiko zur Folge, während zugleich in einigen Regionen Flüsse aufgrund geringerer Niederschläge zu wenig Wasser führen.

### Guter ökologischer Zustand bis 2027?

So vielfältig die Probleme sind, so sehr drängt bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität die Zeit. Schon heute zeichnet sich ab, dass es für viele europäische Flüsse, Seen und Grundwasserkörper nicht gelingen wird, sie bis 2027 in einen guten ökologischen Zustand zu überführen.

Die politischen und planerischen Prozesse sind häufig langwierig und verursachen teilweise Konflikte mit oder Einschränkungen von bestehenden Nutzungen. Hinzu kommt, dass in Deutschland und vielen anderen zentraleuropäischen Ländern die Einsparpotenziale im Bereich der Punktquellen so gut wie ausgeschöpft sind.

Nicht alle Fließgewässer sind so naturnah wie dieser kleine Fluss in Irland.



Zudem ist es in vielen europäischen Ländern nach einer Abnahme der Stickstoffüberschüsse zwischen 1990 und 2000 aktuell zu einer Stagnation bzw. zu einem leichten Anstieg von Stickstoffüberschüssen gekommen, was eine weitere Reduktion erschwert.

Zusätzlich führt die Anreicherung von Nährstoffen sowohl in der Landschaft als auch in Grund- und Oberflächengewässern dazu, dass umgesetzte Maßnahmen meist erst nach Jahrzehnten wirksam werden.



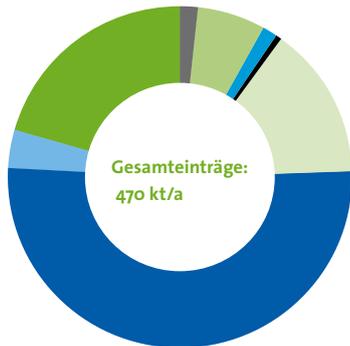
## Harmonisierung von Daten und Methoden

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass Verfahren zur Messung und Bestimmung der Wasserqualität sowie der Verbesserungsziele europaweit noch harmonisiert werden müssen. MONERIS als integrierter Ansatz für ganze Flusssysteme kann zu einer einheitlichen Datenbasis beitragen – und bietet gleichzeitig einen umfassenden Ansatz, mit dem es gelingt, regionalisierte Maßnahmen bei der Bestimmung der Wasserqualität unserer Oberflächengewässer zu berücksichtigen.



# Den Nährstoffen auf der Spur

Aktuell werden jedes Jahr etwa 470 kt Stickstoff in Deutschlands Gewässer eingetragen, das Meiste davon über das Grundwasser. In den letzten Jahren haben die Einträge immer weiter abgenommen, was durch eine geringere Düngermanagement und eine verbesserte Kläranlagentechnik erreicht wurde.



Wie gelangen Nährstoffe in die Oberflächengewässer, und welche Faktoren sind dabei zentral? Wo sind Flüsse und Seen in einem besonders kritischen Zustand? Und was lässt sich tun, um die Wasserqualität wieder zu verbessern? Um Antworten auf diese und viele weitere Fragen zu finden, arbeiten Forscherinnen und Forscher am IGB seit 1995 an dieser Thematik und haben dabei das Modell MONERIS (**MO**delling **N**utrient **E**missions in **RI**ver **S**ystems) entwickelt.

Dieses Nährstoffeintragsmodell dient dazu, Studien zur Wasserqualität in Flusssystemen auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene durchzuführen. Die Anwendung kann durch Beauftragung des IGB oder in Eigenregie durchgeführt werden. MONERIS ermöglicht es, Quellen und Eintragspfade von Nährstoffen zu identifizieren, den Transport sowie die Retention von Nährstoffen in Flusssystemen zu analysieren und Managementoptionen für die betroffenen Gebiete zu prüfen und zu bewerten.

Zentral für MONERIS sind die verschiedenen Eintragspfade, denn Nährstoffe gelangen auf ganz unterschiedlichen Wegen in die Gewässer. MONERIS berücksichtigt folgende sieben Eintragspfade sowie die Retention, also die Selbstreinigungskraft von Gewässern:

- 01 Direkteinträge durch atmosphärische Deposition auf die Gewässeroberfläche

---

- 02 Nährstoffeinträge durch Abschwemmung

---

- 03 Nährstoffeinträge durch Erosion

---

- 04 Nährstoffeinträge durch Dränagen

---

- 05 Nährstoffeinträge über Grundwasser

---

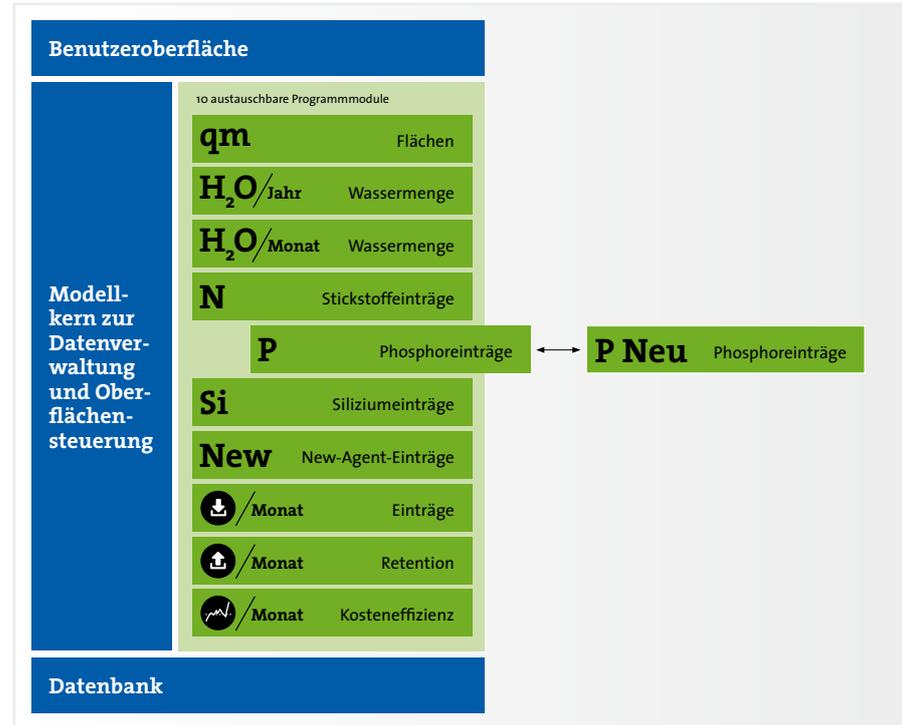
- 06 Nährstoffeinträge von versiegelten urbanen Flächen (z. B. Straßen oder bebaute Grundstücke, Hausdächer)

---

- 07 Punktquellen (Nährstoffeinträge kommunaler Kläranlagen und industrieller Direkteinleiter)

---

- 08 Nährstoffretention



## 01 Direkteinträge durch atmosphärische Deposition auf die Gewässeroberfläche

Mit dem Regen kommt auch viel Stickstoff in die Gewässer und die Böden – in Deutschland im Mittel 30 Prozent aller Einträge!

Unter Deposition versteht man die Ablagerung von gelösten, partikelgebundenen oder gasförmigen Inhaltsstoffen der Luft auf Oberflächen – in diesem Fall den Gewässern. Die Depositionsraten schwanken je

nach untersuchtem Gebiet stark und sind in der Regel von der Art des Bewuchses (der Rauheit) abhängig: So liegt in Deutschland die Phosphordepurationsrate zwischen etwa 0,22 und 0,37 kg pro Hektar, für Stickstoff schwanken die Depositionsraten im Bereich zwischen 20 und 30 kg pro Hektar. Beide Raten liegen damit etwa im europäischen Durchschnitt. Für Stickstoff wird zwischen oxidierten ( $\text{NO}_x$ ) und reduzierten ( $\text{NH}_y$ ) Formen unterschieden.  $\text{NO}_x$  entweicht bei der Verbrennung in Haushalten, Autos oder Industrie.  $\text{NH}_y$ -Verbindungen stammen maßgeblich aus der Landwirtschaft und hier häufig direkt von Wiederkäuern wie Kühen – sie werden freigesetzt, wenn aus deren Darmtrakt Verdauungsgase entweichen.

In der Zukunft dürften vor allem die Depositionsraten von  $\text{NO}_x$  durch eine weitere Verbesserung der Filtertechniken abnehmen. Für  $\text{NH}_y$  sind Reduktionen durch die Abdeckung von Güllelagerstätten oder ein schnelles Einarbeiten der Gülle in den Boden möglich, wobei dem Hauptproblem – die Verdauungsgase der Kühe – kaum beizukommen ist.



## 02 Nährstoffeinträge durch Abschwemmung

Abschwemmung meint die Abspülung von Material von der Erdoberfläche durch abfließendes Regenwasser. Sie ist unter anderem von Art und Menge des Niederschlags, von der Art des Bewuchses sowie von der Hangneigung abhängig. Die Abschwemmung ist damit der Erosion sehr ähnlich, bezieht sich jedoch im Unterschied zu dieser auf feines, im Wasser gelöstes Material.

Wie viel Phosphor sich durch Abschwemmung löst, hängt vom Phosphorgehalt im Boden ab. Phosphor bindet sich sehr gut an Tonmineralien. Der Prozess der Anlagerung dieses Nährstoffs vollzieht sich so lange, bis alle so genannten „Anlagerungsplätze“ belegt sind und der Boden keinen weiteren Phosphor aufnimmt. Dann wird er, ähnlich wie Stickstoff, gut mit dem Oberflächenabfluss transportiert. Aus diesem Grund muss die Historie der Landnutzung berücksichtigt werden, um abschätzen zu können, wie viel Phosphor sich im Boden angereichert hat. An landwirtschaftlich seit langer Zeit genutzten Standorten kann die Abschwemmung einen Anteil von 10 bis 20 Prozent an den gesamten Einträgen ausmachen.

Maßnahmen zur Reduktion der Abschwemmung sind wegen der Anreicherung im Boden häufig erst nach langer Zeit wirksam. Gewässerrandstreifen und Bodenbedeckung sowie die Erhöhung der Wasserhaltekapazität im Boden können helfen, die Abschwemmung zu reduzieren.



### Klein, aber oho:

Die gelösten Phosphor-einträge über Abschwemmung sind meist gut pflanzenverfügbar. Obwohl die Einträge häufig nur eine untergeordnete Rolle spielen, können sie einen großen Effekt auf die Wasserqualität haben.



Fehlende Bodenbedeckung wie auf diesem tropischen Acker kann zu erheblichen Boden- und Ernteverlusten durch Erosion führen. Hat die Erosion ein wie hier gezeigtes Ausmaß erreicht, lässt sie sich nur noch sehr schwer kontrollieren.



### 03 Nährstoffeinträge durch Erosion

Durch Erosion gelangt vor allem Phosphor in die Oberflächengewässer. MONERIS berechnet den Nährstoffeintrag durch Erosion aus dem Bodenabtrag von Acker- und Grünland sowie von natürlich bedeckten, nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Da mit zunehmendem Gefälle die Kraft des oberflächlich abfließenden Wassers zunimmt, werden den Ackerflächen als besonders erosionsgefährdeten Standorten zusätzlich Hangneigungsklassen zugeordnet. Damit ergeben sich folgende fünf Parameter, aus denen dieser Eintragungspfad berechnet wird: Bodenabtrag, Hangneigung, Ton- und Nährstoffgehalt im Oberboden sowie Landnutzung. Auch der

Faktor Klima, dessen Bedingungen sich von Jahr zu Jahr ändern, wird von MONERIS für diesen Eintragungspfad berücksichtigt.

Die besondere Bedeutung von Ackerflächen für erosive Einträge ist hinlänglich bekannt. Es werden daher immer mehr Standorte so bewirtschaftet, dass die Erosion reduziert wird – etwa durch hangparalleles Pflügen, mit bodenkonservierenden Maßnahmen, durch Verwendung von Mulchsaat, mit pflugloser Bodenbearbeitung oder durch die Winterbegrünung von Ackerflächen. Auch Gewässerrandstreifen, die Einträge in die Gewässer zurückhalten, werden verstärkt eingerichtet.



Dränrohre leiten das Wasser und die darin enthaltenen Nährstoffe direkt in die Vorfluter ein. So beeinflussen sie den Wasserhaushalt in der Landschaft und können zu hohen Nährstoffkonzentrationen in Oberflächengewässern führen.

## 04 Nährstoffeinträge durch Dränagen

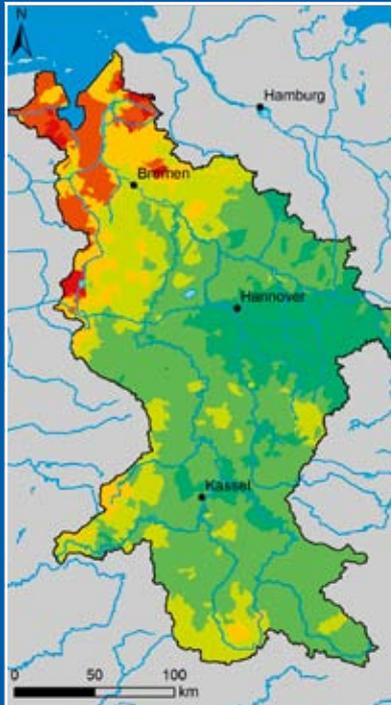
Dränagen leiten überschüssiges Wasser von Feldern in Gräben ab, die wiederum an Flusssysteme gekoppelt sind. Dränagen sind wasserdurchlässige Rohre, die in etwa 1 m Tiefe im Boden liegen. Versickern des Wasser durchströmt somit nur den oberen Teil des Bodens bis zum Dränrohr. In der Regel werden nasse Standorte entwässert, damit sie mit schweren Maschinen befahrbar sind und die Ernteerträge verbessert werden.

Auch bewässerte Flächen werden entwässert. Es gilt die Faustregel: Keine Bewässerung ohne Entwässerung, denn sonst versalzt der Boden. Nicht alle im Wasser enthaltenen Stoffe (z. B. Salz oder auch Schwermetalle) werden von den Pflanzen aufgenommen. Verdunstet das Wasser, verbleiben diese Stoffe im Boden. Damit überschüssige Salze abgeführt werden, wird deswegen stärker als für den Pflanzenwuchs nötig bewässert, und überschüssiges Wasser sowie Salze werden anschließend per Dränage abgeführt.

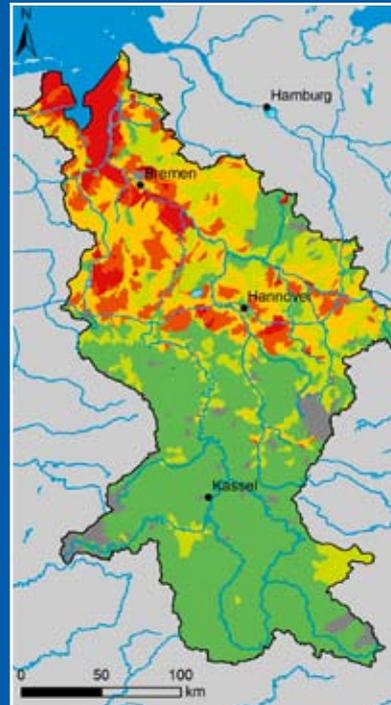
Leider werden über Dränagen auch Nährstoffe – vor allem Stickstoff – mit abgeführt und in die Gewässer geleitet.

Weil in Westeuropa sehr viele Felder dräniert werden, hat dieser Eintragungspfad eine besonders große Bedeutung für Stickstoffeinträge. Er wird – ebenso wie Grundwasser – wesentlich durch die jährlichen Nährstoffüberschüsse der landwirtschaftlich genutzten Fläche bestimmt.

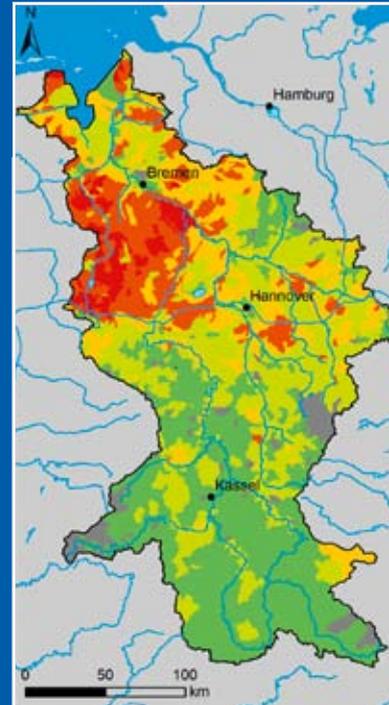
Es gibt Gebiete, wo nahezu 100 Prozent der Ackerfläche entwässert werden, aber auch Regionen, in denen gar nicht dräniert wird. In Zukunft wird es aufgrund des Klimawandels in Deutschland und Europa trockener werden, das heißt, es muss mehr bewässert werden. Deswegen könnte die Bedeutung dieses Eintragungspfades zunehmen. Eine Reduktion der Einträge durch Dränagen ist durch den Bau von Retentionsteichen oder durch eine Dränagesteuerung möglich.



N-Bilanzüberschuss in kg/(ha-a)



Anteil der dränierten Ackerfläche in %



N-Einträge über Dränagen in kg/(ha-a)



Dieses Beispiel von der Weser zeigt stellvertretend für viele Regionen in Deutschland, dass sich Einträge aus Dränagen räumlich stark unterscheiden können. Insgesamt sind in Deutschland etwa 6 Prozent dräniert. Diese Flächen liefern aber etwa 15 Prozent der gesamten Stickstoffeinträge.



## 05 Nährstoffeinträge über Grundwasser

Der für Stickstoff häufig wichtigste Eintragspfad sind Einträge über das Grundwasser. Landwirtschaftliche Flächen werden gedüngt, aber nicht alle Nährstoffe werden von den Ackerfrüchten (Weizen, Gerste und Co.) für das Wachstum genutzt. Auf diese Weise entstehen Nährstoffüberschüsse. Sie sind die wichtigste Größe für die Einträge von Stickstoff aus der Landwirtschaft, denn sie gelangen über das Grundwasser und über Dränagen (siehe Punkt 04) in die Oberflächengewässer. Auf dem Weg durch den Boden und das Grundwasser wird ein Großteil der Nährstoffe – jedoch nicht alles – abgebaut. Das Grundwasser fließt unterirdisch zur tiefsten Stelle des Grundwasserkörpers und gelangt hier in die Oberflächengewässer.

Eine Wissenschaftlerin des IGB entnimmt eine Grundwasserprobe.

Wichtig ist hierbei auch die Dauer des Aufenthalts der Nährstoffe im Grundwasser: Teilweise erreicht vor 50 Jahren mit dem Dünger aufgebracht Stickstoff erst heute die Oberflächengewässer. Dies führt aber auch dazu, dass es sehr lange dauern kann, bis sich Reduktionsmaßnahmen in den Gewässern bemerkbar machen.

### Was können wir tun?

Eine intensive Landwirtschaft und hohe Ernteerträge gehen häufig mit hohen Überschüssen einher. In Gebieten mit intensiver Landwirtschaft kann es zu einem Anteil des Grundwassers an den Gesamteinträgen von über 50 Prozent kommen. In weiten Bereichen Deutschlands – mit Ausnahme von Orten mit intensiver Viehhaltung – wurden die Stickstoffüberschüsse bereits auf ein relativ niedriges Niveau zurückgeführt. Auf europäischer Ebene ist jedoch ein erneuter Anstieg nicht unwahrscheinlich, da die osteuropäische Landwirtschaft intensiviert werden dürfte und agrarpolitische Entwicklungen wie die verstärkte Produktion von Bio-Energie bereits jetzt eine Intensivierung der Landwirtschaft auch in Westeuropa zur Folge haben.



Eine extensive Viehhaltung wie hier in Irland ist häufig kein Problem. Durch eine industrielle Fleischproduktion fallen jedoch sehr hohe Güllemengen an, die in den umliegenden Flächen ausgebracht werden müssen und häufig zu hohen Stickstoffeinträgen führen.

## o6 Nährstoffeinträge von versiegelten urbanen Flächen



Phosphate in Wasch- und Spülmitteln wurden in Europa weitestgehend durch andere Substanzen ersetzt. Dadurch konnte eine Hauptquelle für Einträge aus urbanen Gebieten beseitigt werden, was zu einem deutlichen Rückgang der Phosphoreinträge beigetragen hat.

Dieser Pfad umfasst Einträge über versiegelte urbane Flächen – etwa Straßen, Parkplätze oder Hausdächer – sowie Einträge aus Haushalten, Toiletten und der Industrie, die in die Kanalisation gelangen und anschließend entweder in einer Kläranlage gereinigt oder direkt in die Vorfluter eingeleitet werden.

Man kann prinzipiell zwischen angeschlossenen und nicht angeschlossenen Flächen und Haushalten unterscheiden: Nicht angeschlossene oder unversiegelte urbane Flächen/Haushalte leiten das abfließende Regenwasser über die Bodenpassage in das Grundwasser ein. Angeschlossene Flächen/Haushalte können entweder an die Trenn- oder Mischkanalisation angeschlossen sein. Bei der Trennkanalisation werden Regenwasser und Abwasser, etwa aus Toiletten, getrennt abgeleitet. Das Regenwasser wird dann direkt oder nach einer Vorreinigung in die Gewässer eingeleitet. Übrige Abwässer werden in eine Kläranlage geleitet und dort gereinigt. In der Mischkanalisation werden Regen- und Abwasser gemeinsam gesammelt und dann in einer Kläranlage gereinigt.





### Und wenn es mal regnet?

Tritt Starkregen auf, kann es bei der Mischkanalisation allerdings zu einer Überschreitung der Kläranlagenkapazität kommen, so dass überschüssiges Wasser durch einen Überlauf direkt und ungeklärt in die Oberflächengewässer geleitet wird.

Die Einträge über diesen Pfad können sich von Stadt zu Stadt, aber auch zwischen Ländern stark unterscheiden und hängen von dem Ausbaugrad der Kanalnetze und auch dem Speichervolumen in der Mischkanalisation ab. Außerdem gibt es Unterschiede bei der Verwendung von Phosphaten in Wasch- und Spülmitteln, die ebenfalls von MONERIS berücksichtigt werden.

Einleitungen aus urbanen Flächen können punktuell und kurzzeitig zu hohen Belastungen führen. Es wird daher sowohl über den Ausbau des Kanalnetzes und von Filteranlagen als auch über Entsiegelung (damit mehr Regenwasser im Boden versickern kann) versucht, die hohen Einträge aus urbanen Flächen zu reduzieren.

## 07 Punktquellen

Punktuelle Nährstoffeinträge entstammen kommunalen Kläranlagen und direkten industriellen Einleitungen. Der Ort des Eintrags ist in der Regel eindeutig identifizierbar. Meteorologische Faktoren haben nur einen geringen Einfluss auf punktuelle Nährstoffeinträge. Größere Kläranlagen müssen ihre Ablaufdaten an Landesbehörden melden.

So gibt es in Europa recht vollständige Bestandsverzeichnisse zu den Konzentrationen und Wassermengen aus Kläranlagen. Der Anteil von Einträgen aus Kläranlagen hängt von dem Anschlussgrad der Bevölkerung und ihrer Ausbaugröße ab: Große Kläranlagen in größeren

Städten können Reinigungsleistungen von 70 bis über 80 Prozent erreichen, kleinere Kläranlagen haben häufig deutlich geringere Reinigungsleistungen.

In ländlichen Räumen ist der Anschluss an Kläranlagen wegen der großen Entfernungen häufig zu aufwendig. Hier werden dann Kleinkläranlagen oder abflusslose Gruben eingesetzt, die regelmäßig geleert und an Kläranlagen transportiert werden. In Mitteleuropa liegt der Anteil der Einträge aus Kläranlagen selten über 20 Prozent für Stickstoff und 40 Prozent für Phosphat. In einigen osteuropäischen Ländern oder China kann der Anteil jedoch deutlich höher sein.



Punktförmige Einträge aus Kläranlagen, der Industrie oder über die Kanalisation wurden in den letzten Jahren deutlich reduziert, können aber immer noch lokal für hohe Nährstoffbelastungen verantwortlich sein.

## o8 Nährstoffretention



Die ufernahe Vegetation kann Nährstoffeinträge zurückhalten, beschattet die Gewässer, dient als wichtiger Lebensraum und trägt mit hohen Umsatzraten wesentlich zur Nährstoffretention bei.

Sind Nährstoffe in die Oberflächengewässer gelangt, werden sie durch die Flüsse nicht nur Richtung Meer transportiert, sondern unterliegen vielfältigen Aufnahme-, Abbau- und Transformationsprozessen. Die Summe dieser Prozesse wird als Retention bezeichnet. Sie ist ein wichtiger Bestandteil des Nährstoffkreislaufs.

Für Stickstoff ist der dominante Retentionsprozess die Denitrifikation, während für Phosphor die Sedimentation die bedeutendste Rolle spielt. Der Umfang der Retention ist von verschiedenen Faktoren abhängig; so werden in langsam fließenden Gewässern mehr Nährstoffe z. B. durch Sedimentation, aber auch durch biologische Prozesse wie die Denitrifikation zurückgehalten. Wichtig ist auch die Wassertemperatur – im Sommer findet mehr Denitrifikation statt als im Winter.

Während die Denitrifikation Stickstoff aus dem Gewässer endgültig entfernt, kann es bei der Sedimentation bei höheren Abflüssen (durch eine größere Fließgeschwindigkeit) immer wieder zu einer Remobilisierung (Aufwirbelung) und auch über andere Prozesse zu einer Rücklösung von Nährstoffen aus dem Sediment kommen. Die Retention in Flusssystemen wie der Elbe beträgt für Stickstoff und Phosphor mehr als 60 Prozent der Einträge – das heißt, allein durch die Selbstreinigungskraft von Gewässern gelangt weniger als die Hälfte der Einträge als Fracht in die Meere.



Große Seen haben häufig eine enorme Nährstoffretention.



An der Elbquelle im tschechischen Riesengebirge gibt es noch ausgeprägte Winter mit viel Schnee, aber schon in anderen Teilen haben sich die Niederschläge und Temperaturen verändert und werden die zukünftigen Abflüsse der Elbe beeinflussen.

# Von der Elbe bis zur Mongolei:

## Fünf Beispiele für die Anwendung von MONERIS

### 01 Ein Fluss im Wandel – die Elbe

Die Elbe ist eines der größten Flusssysteme in Deutschland. Als Tieflandfluss verfügt sie über eine Vielzahl von Seen – alleine in Brandenburg über 3.000. Das Elbe-Gebiet ist relativ niederschlagsarm; so fallen im Mittellauf nur 550 bis 600 mm/qm pro Jahr. Die wichtigsten Pfade für Nährstoffeinträge in die Elbe sind aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung Grundwasser und Dränagen; im tschechischen Teil der Elbe kommen zusätzliche Einträge aus Einleitungen von Kläranlagen.

Die Gesamtstickstoffkonzentrationen, die im Unterlauf der Elbe gemessen werden, liegen zurzeit im Mittel bei ca. 3,8 mg/l. Das ist zu viel: Der angestrebte Mittelwert, den die Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe in Abwägung mit den Meeresschutzziele festgelegt hat, liegt bei 2,8 mg/l. Dies entspricht einem Reduktionsbedarf von etwa 28 Prozent. Das Elbwasser fließt recht langsam, hat also lange Aufenthaltszeiten, so dass es in Seen, aber auch in den Fließgewässern des Elbe-Einzugsgebiets zu einer starken Phytoplankton-Entwicklung kommen kann.



Niedrigwasser in der Elbe bei Dresden: Schon früher hatte die Elbe häufig Niedrigwasser, mit dem Klimawandel kann es in Zukunft jedoch zu extremeren Niedrig- und Hochwassern kommen. Funktionsfähige Auen können während der Überflutung nicht nur Wasser, sondern auch Nährstoffe zurückhalten.

Das Gebiet ist bereits heute relativ trocken; Klimaszenarien haben gezeigt, dass die Sommer noch trockener, die Winter jedoch feuchter werden können. Besonders stark betroffen sind davon die Havel und der Mittellauf der Elbe. Mögliche Folgen sind Wasserqualitätsprobleme und Einschränkungen der Schiffbarkeit der Elbe, aber gleichzeitig auch ein erhöhtes Hochwasserrisiko.

### Wie kann sich der Klimawandel auswirken?

Im Projekt „GLOWA Elbe“ wurde unter anderem mit Hilfe von MONERIS untersucht, welchen Einfluss der Klimawandel auf Stickstoffkonzentrationen in der Elbe hat. Nach der Modellierung kann es zu einer klimabedingten Abnahme der Einträge um 5 Prozent kommen, gleichzeitig ergäbe sich aufgrund einer geringeren Verdünnung ein Anstieg der Stickstoffkonzentration um 7 Prozent, was das Erreichen der Ziele der FGG Elbe bedeutend erschweren würde.

In einem weiteren Schritt wurden mögliche Maßnahmen zur Reduktion von Stickstoff für die FGG Elbe untersucht. Eine Reduktion von ca. 25 Prozent der Einträge lässt sich durch weitreichende Maßnahmen wie Gewässerrandstreifen, eine effektivere Düngernutzung, Beratung von Landwirten sowie bodenkonservierende Maßnahmen erreichen. Diese müssen insbesondere im tschechischen Teil der Elbe durch einen Ausbau der Kläranlagen und der Kanalisationsnetze ergänzt werden.

### ... und wenn wir jetzt handeln?

Das Verbundprojekt NITROLIMIT hat nachgewiesen, dass geringer Stickstoffgehalt in den meisten unserer Seen die Primärproduktion begrenzt. Ein klimabedingter Anstieg der Konzentrationen könnte sich hier negativ auswirken. Weiterführende Modellierungen im Auftrag des UBA zeigen, dass heute getroffene Maßnahmen ihre Wirksamkeit im vollen Umfang erst in 30 bis 40 Jahren (Stickstoff) bzw. 50 Jahren (Phosphor) erreichen werden: Beide Nährstoffe haben sich in Böden, Grundwasser und Sedimenten angereichert und werden nur allmählich aus diesen Systemen entfernt.





## 02 Wasserressourcen-Management im Kharaa-Flussgebiet (Mongolei)

Die Mongolei, am Nordost-Rand Zentralasiens gelegen, ist geprägt durch den raschen Übergang von der sowjetisch geprägten Zentralverwaltungswirtschaft zu einer parlamentarischen Demokratie. Im Zeichen von Marktwirtschaft und Globalisierung wächst der Druck auf natürliche Ressourcen – dies gilt insbesondere für die Wasserqualität und -menge in Gewässern der Mongolei.

Wasser ist allgemein knapp verfügbar; gleichzeitig steigen die Wasserentnahmen, und die Qualität des Oberflächen- und Grundwassers wird durch Bergbau, Industrie und Weidewirtschaft beeinträchtigt. Veraltete Infrastrukturen der Wasserversorgung und -entsorgung sowie ein stetiger Zuzug der Landbevölkerung in die Städte verschärfen die bestehenden Schwierigkeiten.

Das Flussgebiet des Kharaa wurde in dem vom BMBF geförderten Projekt „IWRM in Zentralasien: Modellregion Mongolei“ („MoMo“, [www.moneris.igb-berlin.de/index.php/momo](http://www.moneris.igb-berlin.de/index.php/momo)) ausgewählt, um dort die beispielhafte Implementierung eines Integrierten Wasserressourcen-Managements (IWRM) vorzunehmen. Das 14.500 km<sup>2</sup> große, durch semiarides Klima geprägte Kharaa-Gebiet gehört zur Weizenkammer der Mongolei; gut ein Fünftel der nationalen Weizenernte wird dort erzeugt. Darüber hinaus befinden sich die profitabelsten Goldminen des Landes im mittleren Kharaa-Gebiet. Im Bergbausektor wird ein Großteil des Bruttoinlandsprodukts erwirtschaftet, seine Bedeutung steigt. Die im Bergbau freigesetzten Schadstoffe beeinträchtigen das Ökosystem. Zusätzlich steigt der Nutzungsdruck

durch die Landwirtschaft, der mit einer zunehmenden Bewässerung von Ackerflächen einhergehen wird. Verschärft wird die Situation durch die in der Mongolei verbreitete Überweidung und mobile Tierhaltung, wodurch erhebliche Mengen an Dung beim Tränken der Tiere direkt in den Fluss gelangen. In der Peripherie der Städte entstehen informelle Siedlungsgürtel aus Jurten (so genannte Ger-Viertel), deren nicht registrierte Bewohner ohne Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung leben. Etwa die Hälfte der städtischen Bevölkerung lebt mittlerweile in Ger-Vierteln.

In der Mongolei führen steigende Viehzahlen zunehmend zu Problemen. Die Tiere trinken häufig direkt aus den Oberflächengewässern und hinterlassen dort auch ihre Exkremente. An der zertretenen Uferböschung kann es zusätzlich zu erosiven Einträgen kommen.





Durch die Anwendung von MONERIS ließen sich die urbanen Systeme als wichtigster Eintragspfad identifizieren, wegen der fehlenden Abwasserentsorgung in den Ger-Vierteln sammeln sich dort die Nährstoffe an. Die Nährstoffbilanzen auf den ackerbaulich genutzten Flächen sind dagegen negativ, da dort wegen fehlender Düngung dem Boden durch die Ernte mehr Nährstoffe entzogen als zugeführt werden. Mit MONERIS konnten Maßnahmen zur Verbesserung der Siedlungswasserwirtschaft und ihre Kostenwirksamkeit berechnet werden. In der Projektphase 2010 bis 2013 wurden von deutschen Partner-Instituten mehrere Pilotanlagen (dezentrale Kläranlagen mit der Option des Anschlusses an Biogasreaktoren, Installierung spezieller Toiletten zur Trennung von Urin und Fäkalien) getestet, um die kommunalen Abwässer sicher zu entsorgen und die Reststoffe einer

Verwertung zuzuführen. Im nächsten Schritt soll die Landwirtschaft in die Verwertungskette eingebunden werden. Für die Zukunft ist geplant, diese Maßnahmen zu einem Nährstoffmanagement im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zwischen Siedlungswasserwirtschaft und der urbanen Landwirtschaft zu führen.

Der Handlungsdruck ist groß: Unter den spürbaren Auswirkungen des Klimawandels (allmählicher Anstieg der Jahresmitteltemperatur, Änderung der Niederschlagsverteilung), der Intensität der Landnutzung sowie bei einem Bevölkerungswachstum von jährlich über 1 Prozent ist schon jetzt eine Verschlechterung der Wasserqualität im Unterlauf des Kharaa zu verzeichnen, während das Wasser in den Zuflüssen aus den nahezu unbesiedelten Regionen des Khentii-Gebirges noch unbelastet ist.

## 03 Donau: Gewässermanagement am „Vielstaatenfluss“

Fünf Störarten kommen in der Donau vor. Die vom Aussterben bedrohten Tiere wieder in unseren Gewässern anzusiedeln, ist Teil der nationalen Biodiversitätsstrategie. Das IGB leistet die wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens.



Die Donau ist das internationalste Gewässer und Flusssystem der Welt: 19 Staaten haben Anteil an ihrem Einzugsgebiet, das etwa 800.000 km<sup>2</sup> umfasst. Zwölf Großstädte liegen an den Ufern des Stroms, darunter Wien, Belgrad und Budapest; im gesamten Donaueinzugsgebiet leben 28 Millionen Menschen. Wegen der vielfältigen Nährstoffeinträge in das Flusssystem ist der ökologische Zustand der Donau noch lange nicht „gut“. Besonders betrifft dies auch das Schwarze Meer, in das der Fluss mündet.

Weil sich die anthropogenen Nutzungen der Donau im letzten Jahrhundert stetig intensivierten, verschlechterte sich der Zustand des Schwarzen Meeres bis 1992 zunehmend. Die bis zur politischen Wende 1992 ständig steigenden Nährstoffeinträge und -frachten führten zu Eutrophierungserscheinungen wie Algenblüten und Massenentwicklungen von Quallen. Damit verbunden veränderte und reduzierte sich auch die Fischpopulation in der Donau dramatisch. Mit der politischen Wende in den osteuropäischen Staaten und dem damit einhergehenden wirtschaftlichen Einbruch in Landwirtschaft und Industrie kam es in den Jahren danach zu einer ge-

wissen Entspannung der Situation. Das Ziel internationaler Vereinbarungen ist es nun, die Einträge von Nährstoffen sowie anderen schädlichen Substanzen auf die Verhältnisse der 60er Jahre zurückzuführen.

Die Nährstoffbelastung im Donauraum wird von den verschiedenen hydrologischen und naturräum-



lichen Bedingungen, der Landnutzungsintensität sowie von Art und Qualität der Behandlung von Siedlungsabwässern bestimmt. Welche Nährstofffrachten ergeben sich daraus? Wie wirken unterschiedliche Maßnahmen, und mit welcher Verzögerung reduzieren sie die



Nährstofffrachten? Zur Klärung dieser Fragen wurden mit Hilfe von MONERIS eine vertiefte Analyse der einzelnen Nährstoffeintragspfade sowie eine Modellierung unterschiedlicher Szenarien im Donaeinzugsgebiet durchgeführt.

### Viele Länder – vielschichtige Probleme

Im Ergebnis ist Grundwasser mit einem Anteil von 50 Prozent der dominierende Eintragspfad für Stickstoffeinträge. Die wichtigsten Eintragspfade für Phosphor sind mit 35 und 32 Prozent urbane Systeme und Kläranlagen. Eine Reduktion der Stickstoffeinträge ist maßgeblich von einer Reduzierung der Stickstoffüberschüsse auf landwirtschaftlichen Flächen abhängig. Diese liegen jedoch in den meisten Ländern des Donaeinzugsgebiets bereits deutlich unter dem europäischen Durchschnitt und unter z. B. den in Deutschland angestrebten Werten von 60 kg/ha pro Jahr.

Gegenwärtig steigen Fleischkonsum und Bio-Energie-Produktion. Deswegen ist allgemein eher mit einer Intensivierung der Landwirtschaft und nicht – weder in den oberen noch den unteren Ländern der Donau – mit einer wesentlichen Reduktion der Stickstoffüberschüsse zu rechnen. Falls keine Anpassung der landwirtschaftlichen Produktion erfolgt, dürfte diese Entwicklung es erschweren oder sogar verhindern, die Reduktionsziele zu erreichen.

Für Phosphor ließen sich die Einträge insbesondere im Bereich Abwasser reduzieren, und zwar durch die Erhöhung des Anschlussgrads von Haushalten an eine kommunale Kläranlage bzw. den Ausbau von Kleinkläranlagen und eine weitere Verbesserung bestehender Kläranlagen. Positive Effekte auf die Reduktion der Phosphoreinträge sind auch durch den bereits umgesetzten europaweiten Verzicht auf Phosphate in Wasch- und Geschirrspülmitteln zu erwarten.



1880 waren viele Haushalte an keine Kanalisation oder Kläranlage angeschlossen. Die Exkremente wurden stattdessen häufig auf den Feldern und im Gemüsebeet als Dünger verwendet und dem Kreislauf wieder zugeführt.

## 04 Aufschlussreich: ein Blick in die Geschichte des Oder-Flusssystem

Nährstoffeinträge werden üblicherweise nur für wenige zurückliegende Jahre oder Dekaden modelliert. Der Blick auf eine längere historische Zeitspanne kann sich jedoch auch lohnen: Um den Weg von Einträgen bei naturnäheren Bedingungen zu verstehen und um daraus Ziele für einen guten ökologischen Zustand abzuleiten, rekonstruierten IGB-Forscher am Beispiel der Oder Nährstoffeinträge für die Jahre 1880 bis 1940.

Das Gebiet des Oder-Flusssystem ist mit einer Größe von ca. 120.000 km<sup>2</sup> das drittgrößte Einzugsgebiet der Ostsee und einer ihrer wichtigsten Nährstofflieferanten. Im Untersuchungszeitraum wurde dieses Einzugsgebiet durch Landwirtschaft dominiert:

Zwei Drittel der Fläche waren Ackerland, ein Viertel der Fläche bestand aus Wald. Während diese Größen im betrachteten Zeitraum fast konstant blieben, führten Industrialisierung und Bevölkerungswachstum dazu, dass die Städte sich ausdehnten und die Landschaft zunehmend zersiedelt wurde. So stieg der Anteil der urbanen Fläche von 1,3 auf 5,7 Prozent der Gesamtfläche des Odergebiets an, die Städte wuchsen also um mehr als das Vierfache. Mehr Menschen, mehr Industrie, intensivere Landwirtschaft: Vor allem diese Faktoren führten ab 1880 dazu, dass die Nährstoffeinträge in das Oder-Flusssystem zunahmen – aus welchen Gründen und in welchem Ausmaß, zeigt die Untersuchung des IGB mit Hilfe von MONERIS.

### Die Folgen einer allmählichen Intensivierung der Landwirtschaft

Die zentralen Ergebnisse: Zwischen 1880 und 1940 nahmen die Stickstoffeinträge insgesamt zu – Gründe hierfür waren vor allem die Industrialisierung, eine zunehmende Verbrennung fossiler Brennstoffe sowie eine intensivierte Tierhaltung. Insgesamt verdoppelten sich die Gesamtstickstoffeinträge in die Oberflächengewässer des Oder-Flusssystemes in diesem Zeitrahmen.

Land wurde zunehmend intensiv genutzt. Damit erhöhte sich der Anteil künstlich dräniertes Ackerflächen im Odergebiet von 9 (1880) auf 28 Prozent (1940). Im Zusammenspiel mit den Stickstoffüberschüssen stieg dadurch der Eintragsanteil von Dränagen von 2 auf 10 Prozent an.

Zur Ermittlung der Landnutzungsintensität im untersuchten Gebiet wurden statistische Daten zu Tierhaltung, Feldfrüchten und Düngemitteln ausgewertet. Der Stickstoffüberschuss lag zu Beginn der landwirtschaftlichen Intensivierung (zwischen

1880 und 1890) im Durchschnitt bei 5 kg/ha pro Jahr. Zwischen 1893 und 1920 waren die Stickstoffüberschüsse jedoch negativ, denn wegen des Bevölkerungswachstums war es nötig, immer höhere Ernteerträge zu erzielen. Gleichzeitig ging vor allem während des Ersten Weltkriegs (1914 bis 1918) die Verwendung mineralischen Düngemittels zurück, da der Import von Produkten wie Chilesalpeter und Guano nicht möglich war.

Zusätzlich wurden zur Düngung auf den Feldern keine menschlichen Exkremente mehr genutzt. Ab 1920 stiegen die Stickstoffüberschüsse stetig bis auf ca. 26 kg/ha pro Jahr (1939) an. Entscheidend hierfür war die Erfindung der Haber-Bosch-Methode, die die Produktion anorganischer Düngemittel ermöglichte. Im Vergleich zu aktuellen Stickstoffüberschüssen im Odergebiet von teilweise mehr als 50 kg/ha erscheinen diese rekonstruierten Werte jedoch immer noch gering.



## 05 Staat, Land, Fluss: harmonisierte Modellierung in Europa

Während, wie im Falle der Donau, oft viele Länder zu einem Flussgebiet gehören, kommt es auch vor, dass verschiedene Flussgebiete in einem Staat liegen. Häufig ist die Ermittlung der Nährstoffeinträge auf Flussgebietesebene und für einzelne Staaten dabei nicht abgestimmt und erfolgt mit unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen. Erst eine gemeinsame Betrachtung von Nährstoffeinträgen und Wasserqualität in Flusssystemen, Staatsgebieten und Küstengewässern liefert eine vergleichbare Bewertungsgrundlage, um den Handlungsbedarf und die Reduktionsziele abzuleiten.

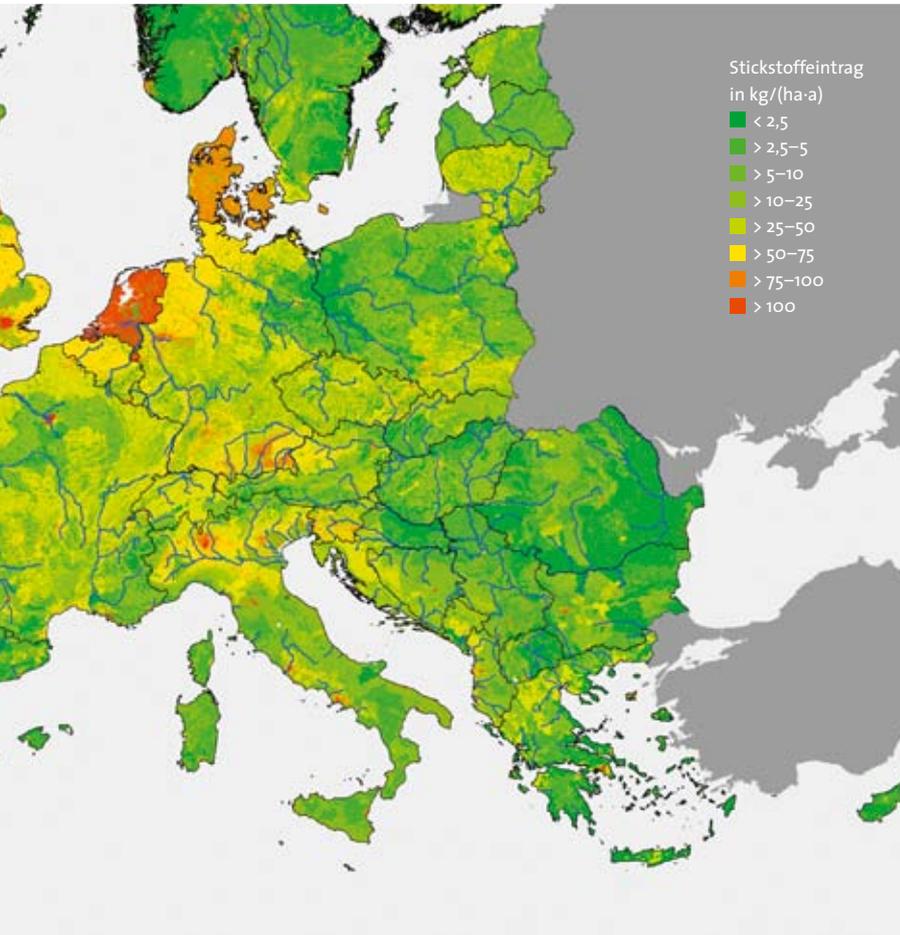
Um eine bessere Wasserqualität zu erreichen und die Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie sowie anderer internationaler Übereinkommen wie des „Baltic Sea Action Plan“ umzusetzen, ist es notwendig, Nährstoffeinträge insgesamt deutlich zu reduzieren. Für die EU-Berichtspflichten verwendeten die Mitgliedstaaten bisher verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Methoden; auch die Qualität der Eingangsdaten war nicht einheitlich. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse, die Identifikation von Gebieten mit besonders hohen Einträgen und

die Ableitung von Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge sind auf dieser Basis nur bedingt realisierbar.

Mit Hilfe einer harmonisierten Datenbasis und eines Modells wie MONERIS wird eine vergleichende Betrachtung der Nährstoffeintragsituation in verschiedenen europäischen Regionen möglich – und damit auch eine gesamteuropäische Maßnahmenplanung zur Verbesserung der Nährstoffsituation in den Oberflächengewässern. Als Datengrundlage für die europäische Modellierung dienen frei zugängliche Daten von europäischen oder internationalen Institutionen.

Die Nährstoffeinträge wurden mit MONERIS für EU-27, die Schweiz, Norwegen und die Balkanregion berechnet. Damit werden eine Fläche von 5.000.000 km<sup>2</sup> und etwa 2.400 Einzugsgebiete mit einer mittleren Größe von 2.100 km<sup>2</sup> berücksichtigt. Im Ergebnis werden in europäische Flusssysteme jährlich 5,4 Millionen Tonnen Stickstoff und 330.000 Tonnen Phosphor eingetragen.





Dabei sind die Haupteintragspfade für Phosphor zu über 70 Prozent urbane und Punktquellen (Kläranlagen), während Stickstoff vor allem über das Grundwasser (zu 57 Prozent) in die Fließgewässer gelangt. Entsprechend finden sich besonders hohe Stickstoffeinträge in Regionen mit intensiver Landwirtschaft wie den Niederlanden, Belgien, Dänemark, Norddeutschland und Großbritannien.

MONERIS zeigt, dass in Zentraleuropa eine effektive Reduktion der Einträge durch die Verbesserung der Kläranlagen, durch Erosionsschutzmaßnahmen und über eine Reduktion von Düngemitteln erreicht werden könnte. In Skandinavien hingegen spielt der Eintrag von Nährstoffen über die atmosphärische Deposition eine wichtige Rolle. Nach Berechnungen von MONERIS bieten sich insgesamt deutliche Potenziale, die Einträge zu reduzieren. Dies erfordert jedoch an die verschiedenen europäischen Regionen angepasste Maßnahmen. Im nächsten Schritt wird die Modellierung von MONERIS durch Ausdehnung der Berechnungsperiode sowie durch Berücksichtigung von Auswirkungen des Klimawandels erweitert, um Aussagen über mögliche Auswirkungen zukünftiger Nährstoffeinträge ableiten zu können.

## o6 MONERIS benutzerfreundlich aufbereitet

MONERIS wurde als wissenschaftliches Werkzeug entwickelt. In der Vergangenheit fragten jedoch immer wieder Behörden, Universitäten oder andere Nutzer an, ob das Modell von ihnen für eigene Studien angewendet werden dürfte oder damit bestehende Projekte nachvollzogen, überprüft und weiterentwickelt werden könnten. Vor allem Mitglieder von Flussgebietsgemeinschaften wollten sich die Ergebnisse im Detail ansehen, die implementierten Maßnahmen zur Reduktion von Einträgen testen und mögliche Reduktionspotenziale überprüfen. Um dies zu ermöglichen, begann 2010 die vom IGB beauftragte Firma DHI-WASY damit, MONERIS neu zu programmieren und mit einer Benutzeroberfläche auszustatten. Diese wurde seitdem ständig erweitert und gepflegt. Inzwischen verfügt MONERIS über verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse in tabellarischer und Diagrammform, aber auch als Karte in verschiedenen Auflösungsebenen darzustellen.

MONERIS wurde in einer C<sup>#</sup>-Umgebung programmiert. Für die Weitergabe wird das Konzept einer Open-Software unter Anwendung einer GNU-Lizenz verfolgt. Das bedeutet, dass die Software frei verfügbar ist und kostenfrei an alle interessierten Nutzerinnen und Nutzer weitergegeben wird. Durch die GNU-Lizenz soll sichergestellt werden, dass alle Weiterentwicklungen der Nutzergemeinschaft unentgeltlich und in vollem Umfang wieder zur Verfügung gestellt werden. Allerdings sind nur die eigentlichen Berechnungsmodulare durch Nutzer modifizierbar. Die Datenverwaltung und die Oberflächensteuerung werden in kompilierter Form weitergegeben und sind nicht ohne weiteres veränderbar.

Die MONERIS-Software kann von der IGB- bzw. der MONERIS-Website heruntergeladen werden; die projektbezogenen Datenbanken können jedoch in der Regel aus Datenschutz- und urheberrechtlichen Gründen nicht zum freien Download auf die Website gestellt werden. Bei Interesse an solchen Daten wenden Sie sich bitte direkt an die entsprechenden Mitarbeiter des IGB.





Für einen tieferen Einblick in das Modell, die Methoden und den Source-Code können Sie eine Anfrage an das IGB-Team stellen. Es wird dann ein Zugang zum Entwicklungsbereich eingerichtet, auf dem die Entwicklungen und Änderungen sowie der Source-Code zugänglich sind und auch eigene Entwicklungen eingebracht werden können. MONERIS ist modular aufgebaut. So können in sich abgeschlossene Berechnungsabschnitte geändert und an andere Nutzer weitergegeben werden, die diese einfach in einen speziellen Ordner auf ihrem Computer kopieren und sofort verwenden können.

Da MONERIS weiterhin ein wissenschaftliches und frei verfügbares Werkzeug ist, kann eine Anwenderbetreuung nur in einem sehr begrenzten Umfang stattfinden. Sollten Sie an Schulungen oder an einer technischen Beratung interessiert sein, kann dies individuell mit dem IGB und DHI-WASY vereinbart werden.

# Die IGB-Arbeitsgruppe „Nährstoffbilanzen in Flusssystemen“



**Dr. Markus Venohr,**  
Leiter der Arbeitsgruppe am Leibniz-  
Institut für Gewässerökologie und  
Binnenfischerei Berlin (IGB)

Dr. Markus Venohr, geboren 1972 in Duisburg, studierte Geographie, Meteorologie, Ozeanographie und Technischen Umweltschutz an den Universitäten Bochum, Zürich und Kiel. Er promovierte über Modellierung der Retention und Transformation von Stickstoff in Flusssystemen an der Humboldt-Universität in Berlin. Seit 2001 ist er am IGB als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt und leitet dort seit 2009 die Arbeitsgruppe „Stoffeinträge und Umsetzungen“. Die Arbeitsgruppe setzt sich aus 10-20 Wissenschaftlern, Doktoranden, Technikern und Studenten zusammen und ist seit mehr als 15 Jahren an vielen nationalen und internationalen Projekten beteiligt.

Neben der kontinuierlichen Weiterentwicklung von MONERIS ist er an einer Vielzahl von wissenschaftlichen Projekten in Deutschland, Europa und weltweit, beispielsweise in Kanada, Brasilien, China und der Mongolei, beteiligt und arbeitet an der Schnittstelle zwischen Forschung, Anwendung und Politikberatung.



**Bildnachweise:****shutterstock.com:**

S. 1: UbjsP | S. 2, 31: Christian Draghici | S. 2, 4/5: RicoK | S. 2, 18/19: Neil Bradfield | S. 8: Jörg Hackemann | S. 9: goodcat | S. 13: Alena Stalmashonak | S. 16: peresanz | S. 17: Matthijs Wetterauw | S. 20: Stu49 | S. 24: kazoka | S. 24/25: Abramov Timur | S. 26/27: Mariusz Szczygiel | S. 27: Vereshchagin Dmitry | S. 28: Svietlieisha Olena | S. 36: Kletr | S. 39: Singkham | S. 42/43: Kenishirotie | S. 45: Jim David

**fotolia.com:**

S. 34: Ariane Citron

S. 10, 11, 12, 23, 29, 30: Markus Venohr

S. 22, 36: IGB

S. 33: Jürgen Hofmann

S. 37 (großes Bild): Nike Sommerwerk

### **Gefördert oder angewendet durch:**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), EU-Kommission, Umweltbundesamt (UBA), UBA-Österreich, Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe), Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser), Flussgebietseinheit Ems (FGE Ems), Internationale Kommission zum Schutz der Oder gegen Verunreinigung (IKSO), Internationale Kommission zum Schutz der Donau (IKSD), Bundesländer: Rheinland-Pfalz, Brandenburg, Berlin, Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen

### **Beteiligung an ausgewählten laufenden und abgeschlossenen Projekten:**

BMBF: GLOWA-Elbe I–III, Integriertes Wasserressourcen-Management in Zentralasien: Modellregion Mongolei (MoMo I & II), NITROLIMIT, Innovate, RADOST, Amber, Guanting, IKZM Oder  
UBA: verschiedene Projekte und Aufträge zur Modellierung der Nährstoffeinträge in Deutschland und den angrenzenden ausländischen Gebieten  
EU-Kommission: Eurocat, Euroharp, Buffer, Streames, Danubs, Mars  
Andere: AGRUM Weser, Econs, Donau, Internationale Kommission zum Schutz der Donau (IKSD), Internationale Kommission zum Schutz der Oder gegen Verunreinigung (IKSO), Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe), Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser), Flussgebietseinheit Ems (FGE Ems)

### **Kontakt:**

Arbeitsgruppe Dr. Markus Venohr  
Leibniz-Institut für Gewässerökologie  
und Binnenfischerei (IGB)  
Müggelseedamm 310  
12587 Berlin  
[www.igb-berlin.de](http://www.igb-berlin.de)

E-Mail: [m.venohr@igb-berlin.de](mailto:m.venohr@igb-berlin.de)  
Website MONERIS: [www.moneris.igb-berlin.de](http://www.moneris.igb-berlin.de)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



## Impressum

### Herausgeber und Redaktion:

Leibniz-Institut für Gewässerökologie  
und Binnenfischerei (IGB)  
Müggelseedamm 310  
12587 Berlin  
[www.igb-berlin.de](http://www.igb-berlin.de)

### Förderung:

Bundesministerium für Bildung  
und Forschung (BMBF)

### Projektträger:

Projektträgerschaft Ressourcen und Nachhaltigkeit (PTRN)  
Projektträger Jülich (PtJ)

### Gestaltung:

[www.familie-redlich.de](http://www.familie-redlich.de)

### Stand:

Januar 2014

Weitere Informationen unter:  
[www.moneris.igb-berlin.de](http://www.moneris.igb-berlin.de)