

# Forschungsvorhaben „Phosphoreinträge in die Gewässer bundesweit modellieren – Neue Ansätze und aktualisierte Ergebnisse von MoRE-DE“

## Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

### 1 Hintergrund

Noch immer belasten zu hohe Phosphoreinträge die deutschen Binnen- und Küstengewässer. Derzeit werden weder in Flüssen des gesamten Bundesgebiets die gewässertypspezifischen Orientierungswerte für Phosphor (Anlage 7 der Oberflächengewässerverordnung (OGewV)) eingehalten, noch wird z.B. für die Ostsee das im aktualisierten Ostseeaktionsplan für Deutschland verankerte Ziel für den maximalen jährlichen Phosphoreintrag erreicht.

Grundsätzliche Voraussetzung für eine weitere Reduzierung der Phosphoreinträge ist eine verlässliche Beschreibung der wichtigsten Quellen und Eintragspfade sowie ihrer Bedeutung (Relevanz) bezogen auf das gesamte Eintragsgeschehen. Darauf aufbauend können Minderungsstrategien erarbeitet und effiziente Minderungsmaßnahmen umgesetzt werden.

Die Notwendigkeit, dieses Wissen zu generieren hat zur Entwicklung diverser Modellsysteme geführt. Eines dieser Modellsysteme ist das Stoffeintragsmodell MoRE<sup>1</sup> (Modeling of Regionalized Emissions). MoRE berechnet auf der Meso- und Makroskala räumlich differenziert und pfadspezifisch stoffliche Einträge in Oberflächengewässer, u.a. von Gesamtposphor. Zu den im Modell berücksichtigten Eintragspfaden gehören direkte Einleitungen von kommunalen Kläranlagen und der Industrie sowie diffuse Eintragspfade wie Kanalisationssysteme (Regenwassereinleitungen und Mischwasserüberläufe), Oberflächenabfluss von unversiegelten Flächen, Erosion (Sedimenteintrag in Gewässer), Grundwasserzufluss, Dränagen und direkte atmosphärische Deposition auf Gewässerflächen.

Für Stoffe wie Phosphor, die vorrangig an Partikel gebunden transportiert werden, ist der erosive Bodenabtrag<sup>2</sup> und der resultierende Sedimenteintrag<sup>3</sup> in die Gewässer eine wichtige Eintragsquelle für Feststoffe und daran anhaftende Nähr- und Schadstoffe. Vorangegangene Diskussionen u.a. in Hessen (Seel, 2019) haben die Frage aufgeworfen, ob in der bisherigen bundesweiten Betrachtung insbesondere die partikelgebundenen erosiven Phosphoreinträge in die Gewässer möglicherweise zumindest regional überschätzt werden. Dieser konkrete Prüf- und Anpassungsbedarf wurde in dieser Studie für den verwendeten Modellansatz und die verwendeten Modelleingangsdaten aufgegriffen.

Das übergeordnete Ziel der Studie war die Weiterentwicklung und Neuberechnung des erosiven Phosphor-Eintrags mit dem Modellansatz MoRE, um eine verbesserte Aussagefähigkeit des Modells zu erreichen. MoRE berücksichtigt dabei nur den Bodenab- und Sedimenteintrag durch Wassererosion und nicht den durch Wind.

---

<sup>1</sup> Weitergehende Informationen finden sich u.a. unter: [Stoffeinträge in Gewässer | Umweltbundesamt](#)

<sup>2</sup> Durch starke Regenfälle oder starken Wind abgetragenes Bodenmaterial. Der abgetragene (erodierte) Boden wird an anderer Stelle abgelagert. Folge ist der Verlust fruchtbaren Bodens. Durch Bodenabtrag werden Böden in ihrer Funktionalität geschädigt.

<sup>3</sup> Sedimenteintrag umfasst das abgetragene Bodenmaterial, welches ein Oberflächengewässer tatsächlich erreicht. Das ist i.d.R. nur ein Bruchteil des insgesamt abgetragenen Bodens.

Darüber hinaus erfolgte eine Aktualisierung der Datengrundlagen zur Abschätzung der Einträge über den Grundwasserpfad und den Oberflächenabfluss von nicht befestigten Flächen.

## 2 Datengrundlagen und Methoden

Für die Betrachtung wurden mit Blick auf die bundesweite Anwendbarkeit sowohl deutschlandweit harmonisiert vorliegende Daten als auch deutschlandweit einsetzbare empirische bzw. stochastische Verfahren genutzt (Fuchs et al. 2017a, b; Kiemle et al. 2019; Gebel et al. 2016, 2017; Allion et al. 2021).

### 2.1 Bodenabtrag und Sedimenteintrag in Gewässer

Zur Abschätzung des erosiven Stoffeintrags in Gewässer ist in einem ersten Schritt der Bodenabtrag zu bestimmen. Der Bodenabtrag wurde mittels Allgemeiner Bodenabtragsgleichung (ABAG; Wischmeier und Smith, 1978 und Schwertmann et al., 1990) als mittlerer langjähriger Wert berechnet. Die ABAG berechnet den flächenhaften Bodenabtrag. Rinnen- und Grabenerosion werden nicht berücksichtigt. In der Studie wurden die einzelnen Faktoren<sup>4</sup> der ABAG anhand von aktuellen, räumlich möglichst hoch aufgelösten und bundesweit harmonisierten Eingangsdaten (z.B. Bodenübersichtskarte (BÜK200), Digitales Höhenmodell 10 x 10 m) und aktuellen Berechnungsmethoden neu abgeleitet. Insbesondere zu erwähnen ist die Verwendung eines bundesweit auf Grundlage aktueller Niederschlagsdaten neu berechneten Regenerositätsfaktors (Auerswald et al. 2019), der bereits Effekte klimatischer Veränderungen der letzten Jahre abbildet.

Ausgehend vom berechneten Bodenabtrag wird der Anteil des abgetragenen Bodens bestimmt, der ein Oberflächengewässer erreichen kann (Sedimenteintrag). Grundannahme ist, dass der von den Flächen erodierte Boden nie vollständig in ein Gewässer eingetragen wird. Ein bedeutenderer Teil wird auf angrenzenden Flächen, in benachbarten Ökosystemen und auf/in Infrastrukturen abgelagert. Es ist davon auszugehen, dass der Eintrag von Sediment und partikulär gebundenen Stoffen in die Gewässer vor allem von Flächen mit geringer Distanz zum Gewässer und einem ausreichend hohen Gefälle, erfolgt.

Der bisher in MoRE verwendete Ansatz zur Bestimmung des Sedimenteintrags war sehr vereinfacht. Für die Neuberechnung des Sedimenteintrags wurde nun neben räumlich höher aufgelösten Modelleingangsdaten (z.B. ATKIS-Landnutzung) ein neuer methodischer Ansatz verwendet. Dieser berücksichtigt die Distanz zum Gewässer und die hydrologische Anbindungswahrscheinlichkeit der Flächen mit Bodenabtrag unter Einbindung von Barrieren (linien- und flächenhafte Landschaftselemente wie Straßen, befestigte Wege, Bahnkörper und Siedlungsflächen). Die Abbildung der Ergebnisse von modelliertem Bodenabtrag und Sedimenteintrag erfolgte in der räumlichen Auflösung von 10 x 10 m (Raster).

Die neuen methodischen Ansätze für die Berechnung des Bodenab- und Sedimenteintrags wurden im Rahmen des Vorhabens in einem gut untersuchten Testgebiet, dem Einzugsgebiet des Kraichbachs in Baden-Württemberg in Kombination mit einem begleitenden, mehrjährigen Gewässermonitoring (Feststoffmonitoring) getestet und nach Plausibilisierung auf das Bundesgebiet übertragen. Das Einzugsgebiet des Kraichbachs (ca. 385 km<sup>2</sup>) wird mit seinen fruchtbaren Löss-Böden intensiv landwirtschaftlich genutzt (ca. 50 % des Gebietes als

---

<sup>4</sup> R-Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor, K-Bodenerodierbarkeitsfaktor, L-Hanglängenfaktor, S-Hangneigungsfaktor, C-Bedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor, P-Faktor zur Berücksichtigung von Erosionsschutzmaßnahmen

Ackerland<sup>5</sup> und ca. 12 % als Grünland<sup>6</sup>). Das Gebiet ist durch seine naturräumlichen Gegebenheiten und die intensive landwirtschaftliche Nutzung deutlich erosionsgeprägt.

Die für den Kraichbach modellierten Sedimenteinträge wurden anhand der vorliegenden Daten aus dem Gewässermonitoring (Feststoffmonitoring) plausibilisiert. Um im Monitoring die transportierte Feststoff- und Phosphorfracht im Gewässer so realitätsnah wie möglich erfassen zu können, wurden großvolumige Langzeit-Mischproben entnommen. Auf diese Weise ist es gelungen, das Abflussgeschehen im Gewässer inklusive der für den Feststofftransport wichtigen Hochwasserereignissen zu erfassen, was in Routineprogrammen mit Einzelproben in einer mehrwöchigen Frequenz nur eingeschränkt gelingt.

Für die abschließende Bilanzierung der erosiven Phosphoreinträge sind Informationen zum Stoffgehalt der eingetragenen Feststoffe notwendig. Hierfür wurden Daten zu Phosphoroberbodengehalten verarbeitet, die u.a. auf Grundlage von in den Ländern vorliegenden Informationen aktualisiert wurden.

Für die Oberbodengehalte von landwirtschaftlich genutzten Flächen (Acker und Grünland) wurde ein auf einem LAWA-Projekt (AGRUM-DE) basierender Raster-Datensatz (Wendland et al. 2022) verwendet. Die Datenbereitstellung erfolgt durch die Bundesländer wobei einzelne Bundesländer lediglich stark aggregierte Daten bereitstellen konnten. Für die Bundesländer Baden-Württemberg und Thüringen konnten höher aufgelöste Daten genutzt werden. Der basierend auf der beschriebenen Datengrundlage berechnete mittlere Phosphor-Oberbodengehalt landwirtschaftlicher Flächen für Deutschland beträgt ca. 685 Milligramm pro Kilogramm.

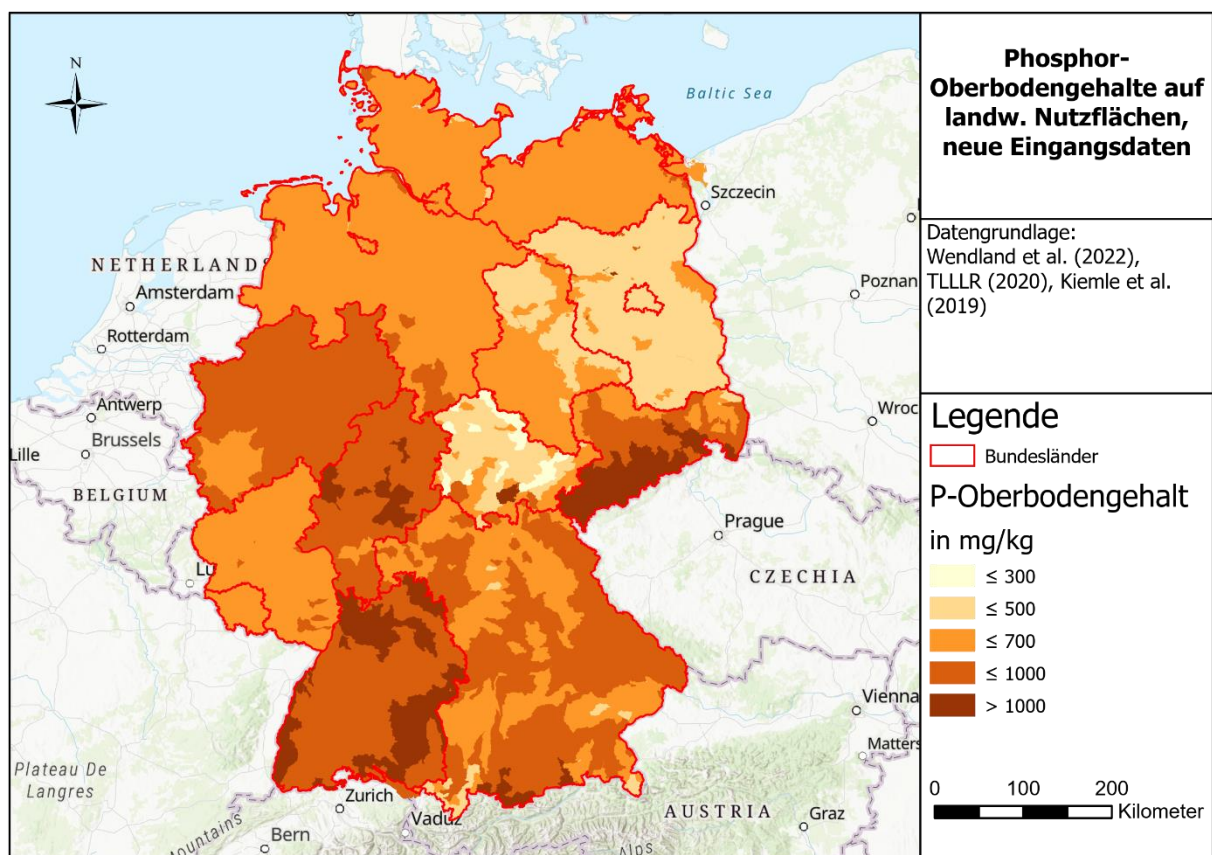
Den zusammengeführten Datensatz zeigt Abbildung 1. Eine einheitliche und harmonisierte Datengrundlage zu Phosphoroberbodengehalten lag deutschlandweit dementsprechend nicht vor.

---

<sup>5</sup> Organische Düngung spielt im Kraichbachgebiet keine Rolle.

<sup>6</sup> In Deutschland werden ca. 35 % der Landesfläche als Ackerland und rund 17 % als Grünland genutzt.

**Abbildung 1: Räumliche Verteilung der Phosphor-Oberbodengehalte der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland**



Quelle: Eigene Darstellung, KIT-IWG (Fuchs et al. 2022)

Für die Landnutzung Wald wurde ein Datensatz der Bodenzustandserhebung (BZE) Wald II ausgewertet.

Auf Basis dieser Informationen wurden die erosiven Phosphoreinträge deutschlandweit neu berechnet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch den bevorzugten Transport feiner Partikel auf dem Weg zum Gewässer für Stoffe, die wie Phosphor eine hohe Affinität zu Partikeln aufweisen, im Vergleich zum erodierten Oberboden eine Erhöhung der Stoffgehalte stattfindet. Diese Anreicherung wird durch das sogenannte Anreicherungsverhältnis (englisch: Enrichment Ratio) ausgedrückt. Hier wurde ebenfalls ein neuer methodischer Ansatz berücksichtigt. Die bisherige Berechnung des Anreicherungsverhältnisses (Behrendt et al., 1999) nutzt den spezifischen Sedimenteintrag als Schlüsselgröße für die Anreicherung der Stoffgehalte im eingetragenen Sediment. Ein Nachteil dieses Modellansatzes ist, dass bei sehr geringen spezifischen Sedimenteinträgen extrem hohe Anreicherungsverhältnisse berechnet werden. In dem neuen Ansatz zur Berechnung des Anreicherungsverhältnisses wird der Feingehalt im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Flächen als entscheidender Parameter aufgenommen (Kiemle et al. 2019). Die neuen Werte des Anreicherungsverhältnisses liegen deutlich niedriger als die bisher im Modell verwendeten.

## 2.2. Stoffeintrag über das Grundwasser und den Oberflächenabfluss

Neben dem partikulären, erosiv bedingten Eintrag wurde in der Studie auch die Modellierung der Eintragspfade Grundwasser und Oberflächenabfluss von nicht befestigten Flächen aktualisiert und weiterentwickelt. Gelöst transportierte Phosphorspezies werden entweder mit dem Oberflächenabfluss transportiert oder gelangen mit dem Sickerwasser ins Grundwasser.

Für die Ermittlung der Phosphor-Konzentrationen im Oberflächenabfluss wurde, da keine harmonisierten Daten zu Oberbodengehalten (z.B. pflanzenverfügbarer Phosphor (P-CAL)) in Deutschland vorliegen, auf den europäischen LUCAS-Datensatz (Land Use and Cover Area frame statistical Survey) des European Soil Data Centre (ESDAC) zurückgegriffen.

Für die Berechnung der Einträge über das Grundwasser, für das insbesondere Orthophosphat eine Rolle spielt, wurden auf Grundlage aktuell gemessener Orthophosphat-Konzentrationen (Wasserrahmenrichtlinien-Messnetz) regionalisierte Grundwasserkonzentrationen für die deutschlandweite Modellierung abgeleitet. Die aktuellen Konzentrationen sind deutlich niedriger als die bisher verwendeten Werte.

Abschließend erfolgte eine Ausweisung der bundesweiten Phosphoreinträge in die Gewässer über alle im Modell berücksichtigten diffusen und punktuellen Eintragspfade.

## 3 Ergebnisse

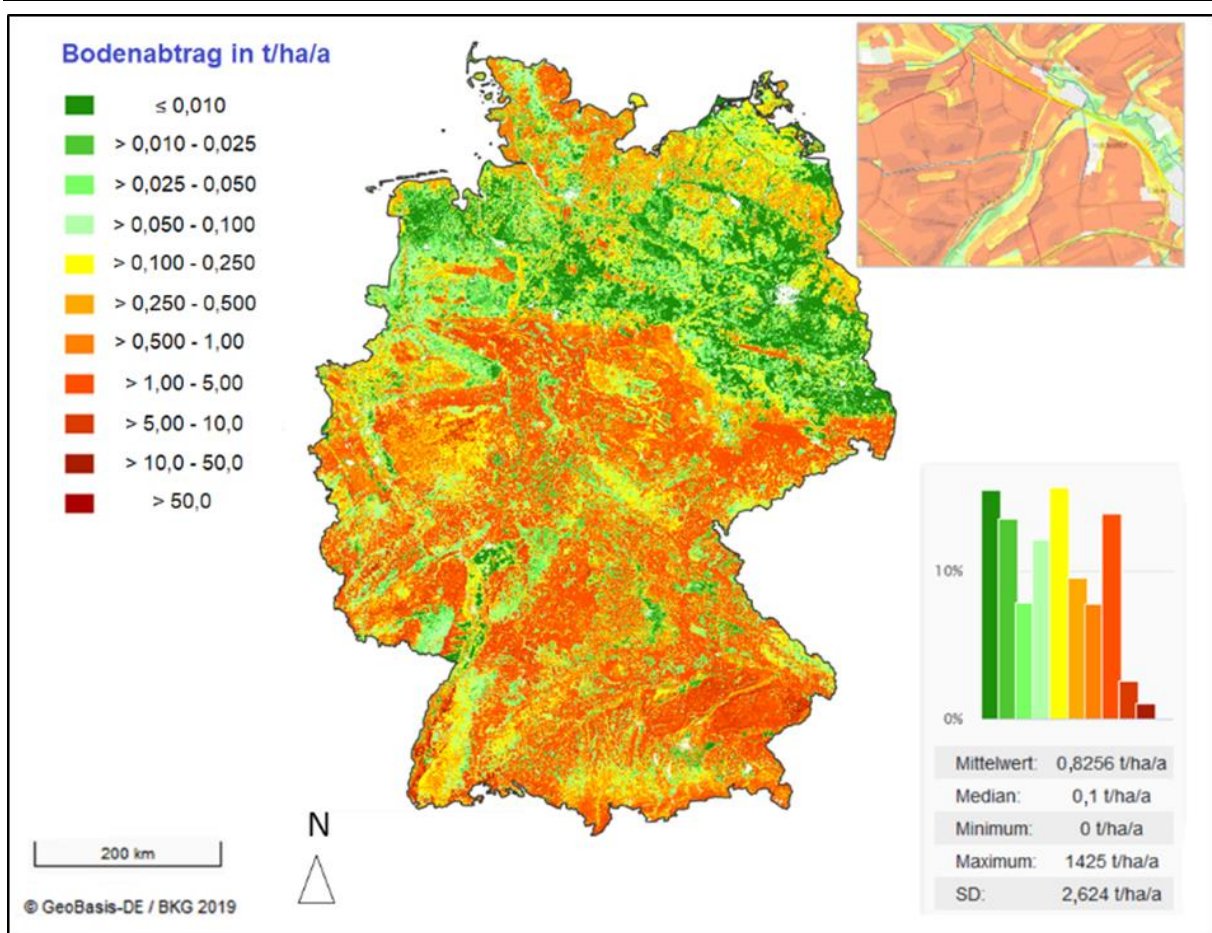
### 3.1 Bodenabtrag und Sedimenteintrag in Gewässer

Der mittels Allgemeiner Bodenabtragsgleichung modellierte langjährige mittlere Bodenabtrag von landwirtschaftlich genutzten und natürlich bewachsenen Flächen im Einzugsgebiet des Kraichbachs liegt bei rund 40.000 Tonnen pro Jahr. Der modellierte langjährige mittlere Sedimenteintrag in das Gewässersystem des Kraichbachs beträgt rund 1.640 Tonnen pro Jahr. Damit gelangen ca. vier Prozent des von hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Flächen abgetragenen Bodens in den Kraichbach. Unter Berücksichtigung zusätzlicher Bodenabträge durch Rinnen- und Grabenerosion, die durch die Allgemeine Bodenabtragsgleichung nicht erfasst werden sowie Einträgen aus Siedlungsgebieten (Mischwasserentlastungen und Kläranlagenabläufe) ergibt sich für das Einzugsgebiet des Kraichbachs ein Gesamt-Sedimenteintrag von insgesamt rund 1.800 bis 2.100 Tonnen pro Jahr. Diese Werte entsprechen nahezu den im Kraichbach vorliegenden gemessenen Werten und den daraus ermittelten Gewässerfachten (1.700 bis 2.200 Tonnen pro Jahr). Die Modellierungsergebnisse für das Testgebiet Kraichbach werden somit durch das Feststoffmonitoring mit den Feststoffsammlern bestätigt. Auf dieser Grundlage wurde die Entscheidung getroffen, die neuen methodischen Ansätze in die bundesweite Modellierung zu übernehmen.

Mit den beschriebenen Datengrundlagen und Methoden wurden für Deutschland mittlere Bodenabträge von rund 25 Mio. Tonnen pro Jahr modelliert. Der Hauptanteil wird von landwirtschaftlich genutzten Flächen abgetragen, jährlich rund 22 Mio. Tonnen (ca. 86 Prozent) von Ackerflächen, gefolgt von den Weinbauflächen mit knapp 1,4 Mio. Tonnen. Von Grünland, Wald- und Gebirgsflächen stammen nur geringe bis marginale Anteile des Gesamtbodenabtrags. Die räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Bodenabträge zeigt Abbildung 2.



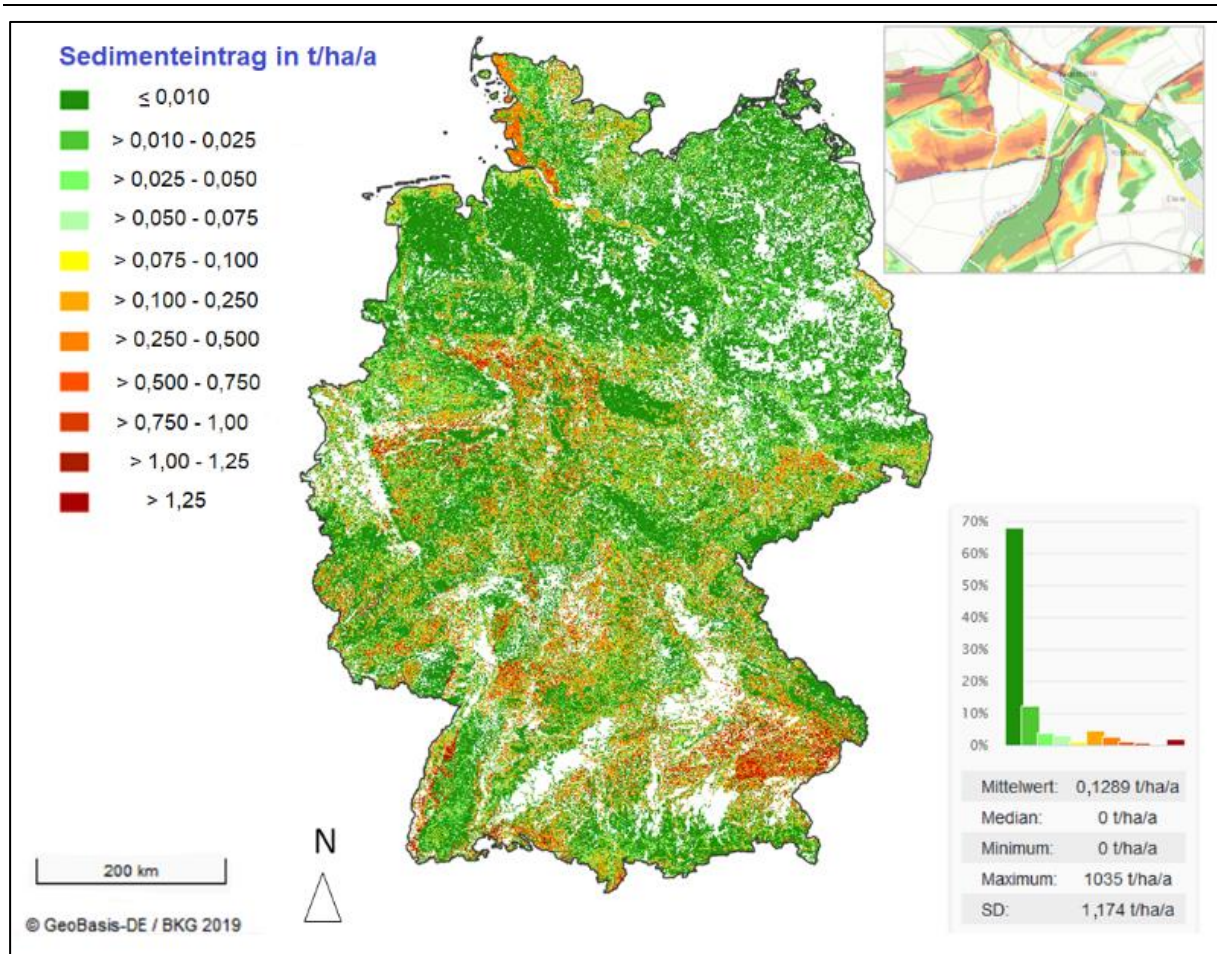
**Abbildung 2: Bodenabtrag durch Wasser in Deutschland (rasterbasiert); Detailansicht (rechts oben); Diagramm mit Werteverteilung innerhalb der Werteklassen (rechts unten)**



Quelle: Eigene Darstellung, VisDat (Fuchs et al. 2022)

Deutschlandweit werden etwa 6 Prozent des abgetragenen Bodens, das sind circa 1,6 Millionen Tonnen, in die Oberflächengewässer eingetragen, während der größte Anteil auf angrenzenden Landflächen verbleibt. Davon stammen 1,4 Millionen Tonnen von Ackerflächen und rund 62.000 Tonnen von Weinbauflächen. Die räumliche Verteilung der Sedimenteinträge zeigt Abbildung 3 (Für weiße Flächen wird kein Sedimenteintrag erwartet.).

**Abbildung 3: Sedimenteintrag in die Oberflächengewässer in Deutschland (rasterbasiert); Detailansicht (rechts oben); Diagramm mit Werteverteilung innerhalb der Werteklassen (rechts unten)**



Quelle: Eigene Darstellung, VisDat (Fuchs et al. 2022)

## 3.2 Phosphoreinträge in die Gewässer

### 3.2.1 Sedimenteintrag

Insgesamt gelangen bundesweit jährlich über die 1,6 Mio. Tonnen erosiven Sedimenteintrag ca. 1.640 Tonnen Phosphor in die Oberflächengewässer. Der Haupteintrag erfolgt mit ca. 1.350 Tonnen von Ackerflächen.

Die für Deutschland neu modellierten Phosphoreinträge über Erosion sind ca. 44 % niedriger als die bisher mit MoRE modellierten Werte (Tabelle 1). Ursächlich hierfür sind vor allem die neue hochaufgelöste und landnutzungsdifferenzierte Modellierung des Bodenab- und Sedimenteintrags sowie die methodischen Anpassungen für die Berechnung des Anreicherungsverhältnis. Überdies tragen die aktuelleren Phosphorgehalte des Oberbodens zu den veränderten Ergebnissen bei, auch wenn die vorliegenden Datengrundlagen nach wie vor nicht optimal sind (siehe Abbildung 1).

### 3.2.2 Oberflächenabfluss und Grundwasser

Die auf der Grundlage von aktuell verwendeten Eingangsdaten modellierten Grundwassereinträge in die Oberflächengewässer betragen rund 1.250 Tonnen pro Jahr (hier

Bezugsjahr 2016). Diese neu berechneten Einträge liegen deutlich niedriger als bisher modelliert (> 70 Prozent).

Für den Eintragspfad Oberflächenabfluss von nicht befestigten Flächen wurden auf Grundlage der aktuellen Eingangsdaten und der neuen Methoden um 40 Prozent niedrigere Einträge (deutschlandweit) berechnet.

Es ist davon auszugehen, dass die verwendeten aktuelleren Datengrundlagen zu einer realistischeren Einschätzung der Eintragungssituation und damit zu einer Verbesserung der bundesweiten Modellaussagen führen.

### **3.2.3 Phosphoreintrag über alle Eintragspfade**

Eine räumliche Verteilung der Einträge von Phosphor in Gewässer über alle Eintragspfade sowie einen Vergleich mit den bisherigen Modellergebnissen zeigt Abbildung 4. Durch die neuen Eingangsdaten und methodischen Ansätze wurden im Vergleich zur vorangegangenen Modellierung 26 % niedrigere Gesamteinträge für Phosphor für Deutschland modelliert. Der gesamte Phosphoreintrag über alle Eintragspfade liegt im betrachteten Jahr 2016 bei insgesamt rund 15.400 Tonnen pro Jahr (Tabelle 1). Wegen der deutlich niedrigeren ausgewiesenen Einträge über die Pfade Erosion (Sedimenteintrag) und Grundwasser steigt in der deutschlandweiten Betrachtung die Relevanz insbesondere der urbanen Eintragspfade für die von einem gleichbleibenden Eintragungsgeschehen auszugehen ist.<sup>7</sup>

In der gesamtdeutschen Betrachtung ergeben sich mit der Neuberechnung die größten Anteile am Gesamteintrag für die urbanen Eintragspfade kommunale Kläranlagen und Kanalisationssysteme mit über 60 %, gefolgt von der Erosion (ca. 10 %). Regional gibt es hier allerdings je nach Charakteristik der betrachteten Gebiete große Unterschiede.

---

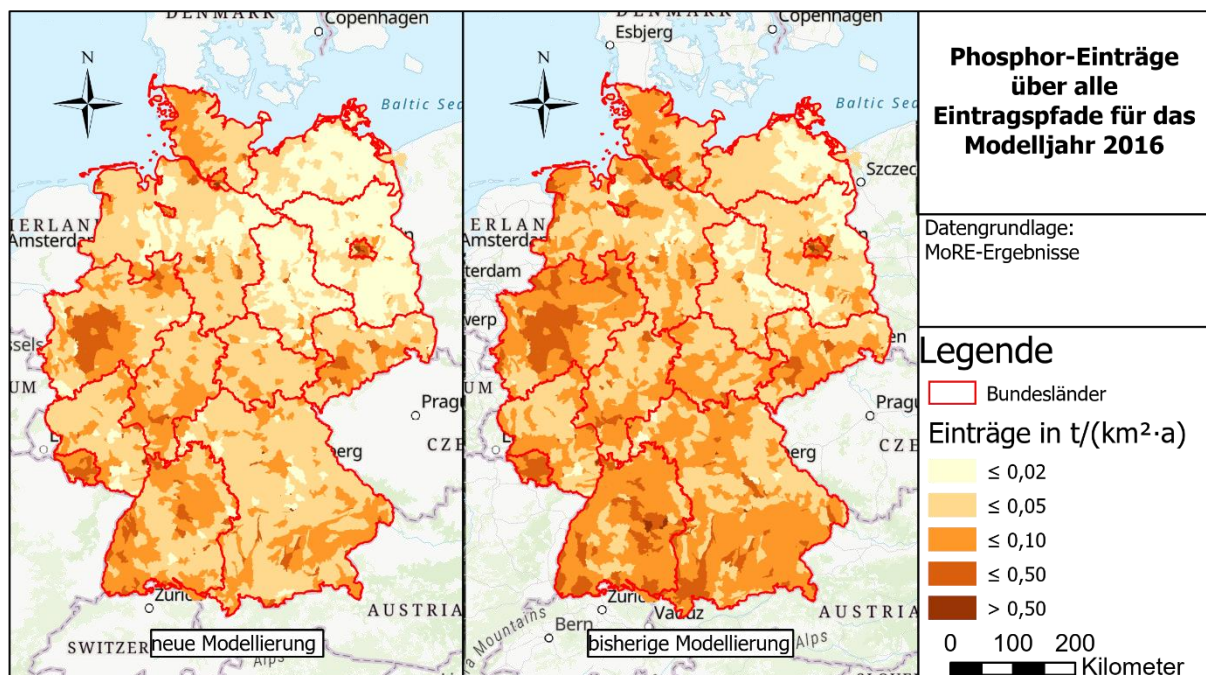
<sup>7</sup> Die Veränderungen für die Eintragspfade, die nicht im Vorhaben betrachtet wurden (z.B. Kanalisationssysteme), ergeben sich ausschließlich aus den veränderten Anteilen der einzelnen Landnutzungsklassen durch den räumlich höher aufgelösten Landnutzungsdatensatz.



**Tabelle 1:      Modellierte Gesamtphosphoreinträge für Deutschland mit dem Modell MoRE  
(Bezugsjahr 2016)**

Eintragungspfad	Eintrag nach aktueller Berechnung (MoRE) in t/a	Anteil am Gesamteintrag in %	Eintrag (MoRE) nach bisheriger Berechnung in t/a	absolute Differenz in t/a	relative Differenz in %
Erosion (Sedimenteintrag)	1.635	11	2.895	-1.260	-44
Oberflächenabfluss von unbefestigten Flächen	1.417	9	1.457	-40	-3
Grundwasserzufluss zu Oberflächengewässern	1.246	8	5.098	-3.852	-76
Dränagen	1.009	7	1.078	-69	-6
Kommunale Kläranlagen	5.812	38	5.812	0	0
Industrielle Direkteinleiter	245	2	245	0	0
Kanalisationssysteme (Regenwassereinleitungen, Mischwasserüberläufe und Kleinkläranlagen)	3.826	25	4.121	-295	-7
atmosphärische Deposition auf Gewässerflächen	199	1	199	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>15.389</b>	<b>100</b>	<b>20.905</b>	<b>-5.516</b>	<b>-26</b>

**Abbildung 4: Flächenspezifische Phosphor-Gesamt-Einträge in Deutschland-im Vergleich (aktuelle Modellergebnisse (links) und bisherige Modellergebnisse (rechts))**



Quelle: Eigene Darstellung, KIT-IWG (Fuchs et al. 2022)

Zur Plausibilisierung der Modellergebnisse wurden aus den modellierten Stoffeinträgen Gewässerfrachten berechnet und diese mit berechneten Frachten auf Basis von Konzentrationen an ausgewählten Gewässergütemessstellen für das Bezugsjahr gegenübergestellt. Die Plausibilisierung anhand der Gewässerfrachten zeigt eine weitgehend gute und bessere Übereinstimmung als bisher von beobachteten und modellierten Gewässerfrachten.

Eine detaillierte Beschreibung der Projektinhalte, methodischen Ansätze und der Ergebnisse findet sich im Abschlussbericht ([Phosphoreinträge in die Gewässer bundesweit modellieren | Umweltbundesamt](#), Fuchs et al. 2022).

Für die Veröffentlichung der Modelleingangsdaten und der Ergebnisse wurden diese in einen webbasierten Viewer eingebunden (<https://stoffeintraege-more.de/>). Dies erscheint im Sinne der größtmöglichen Transparenz der Modellergebnisse dringend erforderlich, auch im Hinblick auf den Ergebnisvergleich mit anderen Modellen/Ansätzen auf Bundes- oder Landesebene. Die Ergebnisse können auf dieser Plattform analytisch ausgewertet werden. Der Viewer ist öffentlich zugänglich und die Ergebnisse sollen zukünftig auch zum Download zur Verfügung stehen.

## 4 Fazit

Die vorgestellten Arbeiten zeigen, dass die weiterentwickelten Methoden und aktualisierten Eingangsdaten zur Modellierung des langjährigen mittleren Bodenabtrags und des Sedimenteintrages in die Oberflächengewässer plausible Ergebnisse liefern. Diese Ergebnisse wurden durch den Vergleich von modellierten Sediment- und Phosphoreinträgen mit gemessenen Frachten im Testgebiet Kraichbach plausibilisiert.

Es kann davon ausgegangen werden, dass der hier genutzte und bereits in vielen anderen Studien erfolgreich eingesetzte Modellansatz zur Sedimenteintragsberechnung gerade für Gebiete mit einer hohen Bedeutung des partikulären Stoffeintrags gute Ergebnisse liefert. Eine Verwendung des Ansatzes für eine bundesweite Modellierung von Bodenabtrag und Sedimenteintrag erscheint gerechtfertigt und stellt eine Verbesserung zu den bisher verwendeten Ansätzen dar. Eine Übertragung auf andere, hauptsächlich partikular transportierte Stoffe z.B. Metalle und PFOS, ist möglich und vorgesehen.

Auch für die Eintragspfade, die durch gelösten Stofftransport (Grundwasser und Oberflächenabfluss von nichtbefestigten Flächen) geprägt sind, konnte im Vorhaben die bundesweite Modellierung durch die Nutzung von aktuelleren Monitoringdaten verbessert werden. Mit den neuen Daten liegen räumlich höher aufgelöste Informationen vor, die anhand weiterer Faktoren (z.B. Landnutzung, Hydrogeologie) auf die Fläche extrapoliert werden konnten.

Durch die neuen Eingangsdaten und methodischen Ansätze wurden im Vergleich zur vorangegangenen Modellierung 26 % niedrigere Gesamteinträge für Phosphor für Deutschland modelliert. Der gesamte Phosphoreintrag über alle Eintragspfade in die Oberflächengewässer liegt im betrachteten Jahr 2016 bei insgesamt rund 15.400 Tonnen pro Jahr (Tabelle 1). Wegen der deutlich niedrigeren ausgewiesenen Einträge über die Pfade Erosion (Sedimenteintrag) und Grundwasser steigt in der deutschlandweiten Betrachtung die Relevanz insbesondere der urbanen Eintragspfade für die von einem gleichbleibenden Eintragsgeschehen auszugehen ist.

### **Forschungsbedarf und Datenverfügbarkeit**

Nach wie vor bestehen in der deutschlandweiten Betrachtung weiterhin grundsätzlich Unsicherheiten bei der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsberechnung durch die verwendeten vereinfachten Algorithmen. Dadurch sind die Ergebnisse der ABAG-basierten Modellierungen sowie der sich daraus abgeleiteten Sedimenteinträge und Partikel gebundenen Phosphoreinträge zu validieren. Die kontinuierliche Erfassung von Sedimentfrachten in weiteren Testgebieten mit abweichenden Einzugsgebietscharakteristika ist zu empfehlen, um die Datenbasis zur Überprüfung der Modellergebnisse zu erweitern. Zudem sollte eine Weiterentwicklung der bestehenden und verwendeten Ansätze und eine Fortschreibung von Datengrundlagen (z.B. Regenerosivität) erfolgen, insbesondere mit Blick auf die Aussagefähigkeit der Modellansätze zu klimabedingten Auswirkungen auf das Erosionsgeschehen.

Lücken bestehen insbesondere bei der Datenverfügbarkeit. Die für die Berechnungen notwendigen Datengrundlagen im Kontext der bundesweiten Nutzung sind oftmals nicht zugänglich. Das erschwert die bestmögliche Beschreibung der stofflichen Einträge. Nicht zugängliche Informationen führen zu unnötigen Unsicherheiten, z.B. bei der Priorisierung einzelner Eintragspfade und damit unter Umständen zu Fehleinschätzungen beim Adressieren der Hauptverursacher stofflicher Einträge in Gewässer. Das betrifft beispielsweise Daten zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, wie Landbedeckung durch Auswahl der Fruchtarten und

die Art der Bodenbearbeitung. Auch liegen deutschlandweit keine einheitlich erhobenen und harmonisierten Daten zu Phosphor-Oberbodgehalten vor beziehungsweise sind diese Daten nicht öffentlich zugänglich.

### Handlungserfordernisse

Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass nach wie vor ein Bedarf an der Umsetzung erosionsmindernder Maßnahmen besteht, da in bestimmten Gebieten die Bodenabträge und damit sowohl der Verlust fruchtbaren Bodens als auch deren Eintrag in die Oberflächengewässer hoch sind. Hierbei steht die Landwirtschaft für die Umsetzung von Maßnahmen im Fokus. Eine weitere wichtige Maßnahme im landwirtschaftlichen Kontext ist eine Reduzierung der Phosphordüngung. Die Phosphorversorgung der Böden in Deutschland ist insbesondere in Regionen mit einem hohen Viehbesatz auf einem gleichbleibend hohen Niveau. In der kombinierten Umsetzung dieser Maßnahmen verringern sich sowohl die stofflichen Einträge in die Gewässer als auch der Schutz der natürlichen Bodenfunktionen (z.B. Wasser- und Nährstoffspeichervermögen) und damit der Erhalt des Ertragsvermögens der Böden. Das schützt die Böden vor dem Verlust humus- und nährstoffreichen fruchtbaren Bodenmaterials und ihrer Funktionalität z.B. im Hinblick auf das Wasser- und Nährstoffspeichervermögen. Darüber hinaus werden gleichzeitig benachbarte Flächen und Gewässer vor Stoffeinträgen geschützt.

Auch bei den nun deutlich stärker in den Vordergrund gerückten urbanen Eintragspfaden (kommunale Kläranlagen, Regenwassereinleitungen und Mischwasserüberläufe) sind Maßnahmen zur Eintragsminderung notwendig. Notwendig ist der weitere Ausbau der Abwasserbehandlung zum gezielten Phosphorrückhalt. Eine wichtige Rolle spielen aber auch die Regenwasserbehandlung und die Vermeidung von Mischwasserüberläufen in die Gewässer.

## Quellen

Allion, K.; Gebel, M.; Uhlig, M.; Halbfass, S.; Bürger, S.; Kiemle, L.; Fuchs, S. (2021): Use of Monitoring Approaches to Verify the Predictive Accuracy of the Modeling of Particle-Bound Solid Inputs to Surface Waters. In: *Water* 13 (24), S. 3649. Online verfügbar unter <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/24/3649>, zuletzt geprüft am 10.01.2022.

Auerswald, K.; Fischer, F. K.; Winterrath, T.; Brandhuber, R. (2019): Rain erosivity map for Germany derived from contiguous radar rain data. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23 (4), S. 1819–1832.

Fuchs, S.; Kaiser, M.; Kiemle, L.; Kittlaus, S.; Rothvoß, S.; Toshovski, S. et al. (2017a): Modeling of Regionalized Emissions (MoRE) into Water Bodies. An Open-Source River Basin Management System. In: *Water* 9 (4), S. 239.

Fuchs, S.; Weber, T.; Wander, R.; Toshovski, S.; Kittlaus, S.; Reid, L. et al. (2017b): Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen. Endbericht. 1. Aufl. 1 Band. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (TEXTE, 05/2017). Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2017-01-17\\_texte\\_05-2017\\_masnahme\\_neffizienz-stoffeintrage\\_komp.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2017-01-17_texte_05-2017_masnahme_neffizienz-stoffeintrage_komp.pdf).

Gebel, M.; Bürger, S.; Halbfass, S.; Uhlig, M. (2016): Modellgestützte Ermittlung der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer. Status quo und Ausblick bis 2027. Online verfügbar unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11373>, zuletzt geprüft am 15.10.2021.

Gebel, M.; Bürger, S.; Wallace, M.; Malherbe, H.; Vogt, H.; Lorz, C. (2017): Simulation of land use impacts on sediment and nutrient transfer in coastal areas of Western Cape, South Africa. In: *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems* 3 (1), S. 1–17.

Kiemle, L.; Wagner, A.; Hüsener, J.; Fuchs, S.; Henning, K.; Haile, C. (2019): Modellierung der Nährstoffeinträge in die Fließgewässer Baden-Württembergs für die Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne nach WRRL. Modellbeschreibung und Ergebnisse der MONERIS-BW Version „August 2019“. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe, unveröffentlicht.

Schwertmann, U.; Vogl, W.; Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl. Stuttgart: Ulmer.

Seel, Peter (2019): Programm zur Reduzierung der Phosphoreinträge in hessische Fließgewässer – Hintergründe und Ergebnisse. [Manuskript DWA Nord Seel.pdf \(topagrar.com\)](#).

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Science. Washington DC, 1978 (No. 537).

Eine vollständige Liste der genutzten Quellen findet sich im Abschlussbericht.



---

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet:  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)  
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

**Stand:** Februar/2024

### Autorenschaft, Institution

Stephan Fuchs, Katharina Brecht  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) /  
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung  
(IWG) / Fachbereich  
Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe  
Michael Gebel, Stephan Bürger, Mario Uhlig,  
Stefan Halbfaß  
VisDat geodatentechnologie GmbH, Dresden