

# Sachverständigen Gutachten „Evaluierung und Weiterentwicklung der Regionalisierungsverfahren zur Ausweisung nitratbelasteter Gebiete“

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Einordnung der Ergebnisse durch das Umweltbundesamt



Jahre  
Umweltbundesamt  
1974–2024

## 1 Ziel des Vorhabens

Mit Novellierung der Düngeverordnung im Jahr 2020 stellt die Ausweisung sogenannter nitratbelasteter Gebiete einen Teil des deutschen Aktionsprogramms zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie (91/676/EWG) dar. Dabei handelt es sich um Flächen, auf denen hohe Stickstoffausträge aus landwirtschaftlicher Bewirtschaftung zu erhöhten Konzentrationen von Nitrat im Grundwasser führen. Die Ausweisung von nitratbelasteten Gebieten hat zum Ziel, dort die Nitrateinträge in das Grundwasser zu vermindern. Deshalb gelten für Landwirte in diesen Gebieten strengere Regelungen zur Ausbringung von Düngemitteln als in den übrigen Gebieten.

Die technischen Vorgaben, auf welche Art und Weise nitratbelastete Gebiete auszuweisen sind, sind in einer eigenen, bundesweit gültigen Verwaltungsvorschrift ausgeführt (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten: AVV Gebietsausweisung - AVV GeA). Diese schreibt vor, dass bis Ende 2028 ein bundeseinheitliches geostatistisches Regionalisierungsverfahren anzuwenden ist. Damit wird der Forderung der EU-Kommission Rechnung getragen, eine zwischen den Bundesländern vergleichbare Ausweisungsmethodik einzuführen. Übergangsweise gestattet die AVV GeA den Bundesländern bis Ende 2028 unterschiedliche Methodiken zur Ausweisung nitratbelasteter Gebiete anzuwenden.

Das vorliegende Gutachten hatte zum Ziel, die Einführung eines bundesweit einheitlichen geostatistischen Regionalisierungsverfahrens vorzubereiten. Dafür war zunächst eine Bestandsaufnahme der bisher verwendeten und nach AVV GeA gültigen Regionalisierungsverfahren notwendig, die die Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung zur prozessadäquaten Abgrenzung nitratbelasteter Gebiete bewertet. Außerdem waren Weiterentwicklungsmöglichkeiten und alternative Methoden der räumlichen Statistik zu identifizieren, die bis Ende 2028 bundesweit einheitlich umgesetzt werden könnten.

## 2 Zentrale Ergebnisse

Die Ausweisung nitratbelasteter Gebiete stellt spezielle Anforderungen an Regionalisierungsverfahren. Um systematische Unter- oder Überausweisungen zu vermeiden, muss sich die Verfahrensauswahl und -anwendung an Kriterien orientieren, die sich aus der Problemstellung in Verbindung mit dem rechtlichen Rahmen der AVV GeA verbindlich ableiten.

Grundsätzlich stellen Verfahren der Gebietsausweisung ein Diagnoseproblem dar, bei dem die Höhe der Überschreitung bzw. Unterschreitung des Grenzwertes nicht relevant ist. Regionalisierungsverfahren müssen in der Lage sein, Überschreitungswahrscheinlichkeiten räumlich vorherzusagen. Sie stehen damit im Gegensatz zu räumlichen Interpolationsverfahren. Voraussetzung für die Optimalität geostatistischer Prädiktoren ist, dass die räumliche Abhängigkeit korrekt modelliert wird. Dies bedeutet, dass relevante Umweltprozesse auf

adäquate, d.h. auf möglichst plausible Weise durch das Modell zu repräsentieren sind, und zwar nicht nur in Form der verwendeten Daten, sondern auch hinsichtlich der Modellstruktur.

Regionalisierungsverfahren für die Gebietsausweisung müssen folgende wesentliche Anforderungen erfüllen:

- ▶ Regionalisierungsverfahren müssen in der Lage sein, Überschreitungs-Wahrscheinlichkeiten – und nicht lediglich erwartete Nitratgehalte – unter Verwendung geeigneter Wahrscheinlichkeitsmodelle räumlich vorherzusagen. Die Schiefe der Verteilung ist adäquat zu berücksichtigen.
- ▶ Sie müssen hierbei in der Lage sein, erklärende Variablen unterschiedlicher Merkmalstypen einzubeziehen, um räumliche Muster und Trends prozessadäquat und verursachergerecht zu berücksichtigen. Die Möglichkeit von nichtlinearen Beziehungen und Interaktionen zwischen Variablen ist dabei zu beachten.
- ▶ Weitere Heterogenität wurde in Bezug auf die Struktur der räumlichen Abhängigkeiten nachgewiesen (nichtstationäres Semivariogramm); dies ist adäquat zu modellieren.
- ▶ Des Weiteren ist der Skalenwechsel von Punktmessungen zu Kleinflächen (Rasterzellen) zu modellieren, wobei Zielmaßstab oder -auflösung kritisch hinterfragt werden sollten.

Geostatistische Regressionskriging-Verfahren bieten einen etablierten methodischen Werkzeugkasten, der es erlaubt, prozessadäquat den o.g. Anforderungen zu genügen und transparente Entscheidungen zu ermöglichen. Diese Modelle bestehen aus einer linearen, potenziell nichtlinear erweiterbaren räumlichen Trendkomponente sowie einer Kriging-Interpolationskomponente. Heterogenität in hydrogeologischen Verhältnissen kann dabei in beiden Modellkomponenten repräsentiert werden. Dank der mathematisch fundierten Modellstruktur mit überprüfbareren Modellannahmen ist es möglich, den Überschreitungs-Flächenanteil der Nitratbelastung  $>50$  mg/l unverzerrt zu schätzen und dieses Wissen in der Entscheidungsfindung zu nutzen.

Zur prozessadäquaten Abbildung räumlicher Muster und Trends werden drei übergeordnete Typen von Datengrundlagen identifiziert, die in unmittelbarem Zusammenhang mit Grundwasserprozessen, der Beschaffenheit des Grundwasserleiters sowie der Landbedeckung stehen und als erklärende Variablen in das Regionalisierungsverfahren einbezogen werden sollten. Dies sind 1) Informationen zur allgemeinen geökologischen Raumgliederung, 2) Daten zu prozessbezogenen Umweltvariablen, welche die lokalen hydrogeologischen, hydraulischen und hydrologischen Gegebenheiten abbilden, sowie 3) Merkmalsdaten, die aus prozessbezogenen Umweltvariablen extrahiert werden, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Grundwasserbeschaffenheit aufgrund des lateralen Flusses an einem Standort nicht unmittelbar und kausal mit den lokalen Standortbedingungen an einer Messstelle in Zusammenhang steht. Diese möglichen Datengrundlagen werden hinsichtlich ihrer Eignung als Zusatzinformationen für die Regionalisierung anhand der Höhe der zusätzlich erklärten Varianz der Nitratverteilung bewertet.

Bisher von den Bundesländern eingesetzte deterministische Verfahren zur Ausweisung nitratbelasteter Gebiete wie die Nächster-Nachbar-Interpolation („Voronoi-Verfahren“) und die inverse Distanzgewichtung genügen den o.g. Anforderungen nicht; sie sollten aus methodischer Sicht auch bei geringer Messstellendichten gemieden werden. Diese Verfahren unterschätzen zudem tendenziell die als belastet klassifizierten Flächen. Das bereits von einigen Bundesländern (ver-

suchsweise) eingesetzte SIMIK+-Verfahren ist ein geostatistischer Regressionskriging-Ansatz; aufgrund von Einschränkungen im Verfahren kann ebenfalls keine Empfehlung für diese Methode ausgesprochen werden.

Kombinierte und hybride Modelle des maschinellen Lernens mit geostatistischen Komponenten rücken derzeit immer stärker in den Fokus. Dennoch liegt neben der mangelnden Modelltransparenz eine große Herausforderung darin, die formulierten Anforderungen zu erfüllen. Nach bisherigem Kenntnisstand stehen zusätzlicher Aufwand, Unsicherheiten und mangelnde Interpretierbarkeit derzeit in keinem guten Verhältnis zum möglichen, aber noch nicht gesicherten Gewinn an Vorhersagegüte, weshalb zunächst weitere Forschung an diesen Verfahren empfohlen wird.

### 3 Einordnung der Ergebnisse durch das Umweltbundesamt

Das Gutachten formalisiert auf Basis einer grundlegenden und ausführlichen mathematischen Problemanalyse die Aufgabe der Ausweisung nitratbelasteter Gebiete als Überschreitungsregionsproblem. Geeignete Regionalisierungsverfahren müssen demnach in der Lage sein, Überschreitungswahrscheinlichkeiten räumlich vorherzusagen. Die Höhe der Über- oder Unterschreitung des Grenzwertes ist dabei nicht relevant. Damit unterscheidet sich Aufgabenstellung von einem klassischen räumlichen Interpolationsproblem. Aufbauend auf der Problemanalyse werden quantitative Bewertungskriterien und qualitative Anforderungen an datengetriebene Modelle der Nitratbelastung des Grundwassers abgeleitet und für die Eignungsbewertung von Regionalisierungsverfahren herangezogen.

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass geostatistische Regressionskriging-Verfahren am besten geeignet sind, nitratbelastete Gebiete prozessadäquat abzugrenzen. Der Vorteil von Kriging-Verfahren besteht dabei darin, dass erklärende Variablen unterschiedlicher Merkmalstypen einbezogen werden können, um die räumliche Abhängigkeit der Nitratkonzentration korrekt modellieren zu können. Dies bedeutet, dass relevante Umweltprozesse auf möglichst plausible Weise durch das Modell repräsentiert werden können. Diese Eigenschaft bildet eine wesentliche Grundlage, um transparente und gerichts feste Entscheidungen zu ermöglichen und wird als wichtiges Kriterium für die Eignung eines zukünftigen Regionalisierungsverfahrens bewertet. Für die Abgrenzung nitratbelasteter Gebiete sind maschinelle Lernverfahren aufgrund mangelnder Modelltransparenz und Interpretierbarkeit der Ergebnisse sowie nicht zwangsläufig besserer Prognosegüte aktuell nicht geeignet.

Ein großer Vorteil der mathematisch fundierten Modellstruktur mit überprüfbaren Modellannahmen ist überdies, dass der Überschreitungsflächenanteil der Nitratbelastung  $>50$  mg/l in einem Gebiet unverzerrt geschätzt werden kann. Diese Eigenschaft ermöglicht die Wahl eines Schwellenwertes der Überschreitungswahrscheinlichkeit (Entscheidungskriterium, mit Hilfe dessen Überschreitungsregionen bestimmt werden) anhand eines objektiven Kriteriums vorzunehmen. Im Rahmen dieser Begutachtung konnte nicht geklärt werden, ab welchem Überschreitungswahrscheinlichkeitsschwellenwert die Ausweisung belasteter Flächen erfolgen sollte. Die naheliegend erscheinende Verwendung eines 50%-Schwellenwertes führt dazu, dass die ausgewiesene Gesamtfläche deutlich kleiner ist als die statistisch abgesicherte Größe der Überschreitungsfläche. Unter Gesichtspunkten eines effektiven Grundwasserschutzes ist es erstrebenswert, eine Gebietsausweisung vorzunehmen, deren Fläche sich am tatsächlich belasteten Flächenanteil orientiert.

## Fazit

Das Gutachten bewertet auf Basis einer ausführlichen mathematischen Problemanalyse bisher eingesetzte deterministische und geostatistische Regionalisierungsverfahren und kommt zu dem Schluss, dass keines dieser Verfahren geeignet ist, nitratbelastete Gebiete plausibel und prozessadäquat auszuweisen. Stattdessen werden konkrete Empfehlungen für die Anwendung eines geostatistischen Regressionskringing-Verfahrens ausgesprochen. Die Ergebnisse des Gutachtens erlauben es, mit der konkreten Ausarbeitung einer Handlungsempfehlung für ein bundesweit einheitliches Verfahren zur prozessadäquaten Ausweisung nitratbelasteter Gebiete in Deutschland zu beginnen.

---

## 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://twitter.com/umweltbundesamt)

### Autorenschaft, Institution

Matthias Rothe  
Umweltbundesamt

**Stand:** März 2024