

# Das Belastungspotenzial landwirtschaftlich genutzter Flächen hinsichtlich diffuser Einträge in das Grundwasser

W4/  
Z4

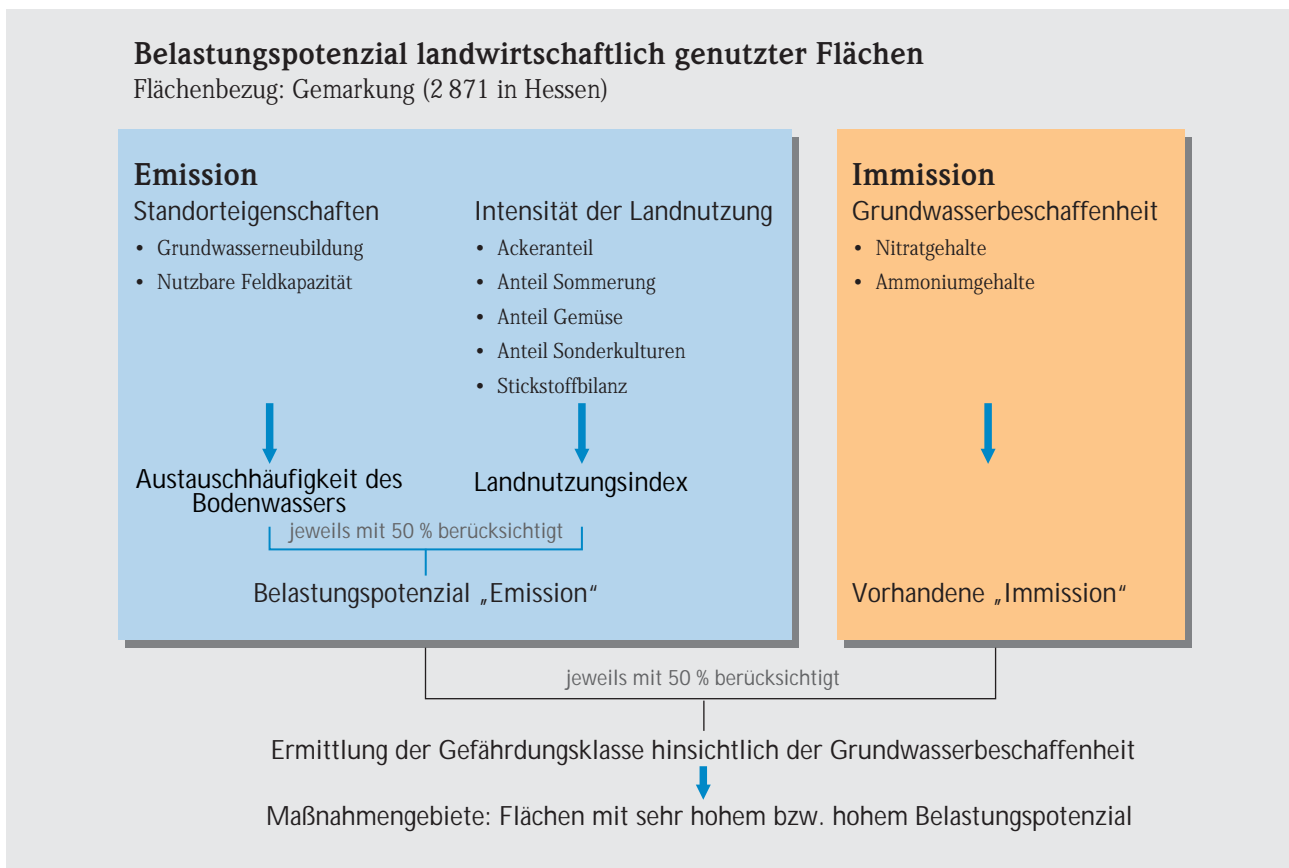
GEORG BERTHOLD & HUBERTUS KOLSTER

## 1 Einleitung und konzeptionelles Vorgehen

Ziel der Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie) des Europäischen Parlaments ist die Erreichung eines guten Zustands in allen Gewässern bis zum Jahr 2015. Der Ausdruck „Gewässer“, der alle oberirdischen Gewässer, die Küstengewässer sowie das Grundwasser umfasst, verdeutlicht den integralen Ansatz der Wasserrahmenrichtlinie, die den Wasserkreislauf als eine Einheit betrachtet, die es gemeinsam zu schützen gilt. Ist der gute Zustand von Gewässern nicht erreicht, muss dieser mit entsprechenden Maßnahmen wieder hergestellt werden. Die Beurteilung des Zustandes für das Grundwasser in Hessen zeigte, dass in 17 Grundwasserkörpern (hessenweit wurden 124 Grundwasserkörper ausgewiesen) der gute chemische Zustand derzeit nicht erreicht wird. Verantwortlich hierfür sind vornehmlich diffuse Stoffeinträge, die im Grundwasser zu einer Überschreitung der Qualitätsnorm für Nitrat (50 mg/l) führen. Gleichfalls gilt es, das gesamte Grundwasservorkommen vor schädlichen Veränderungen zu schützen (Verschlechterungsverbot). Dies entspricht dem Gedanken des flächendeckenden Grundwasserschutzes, der in Hessen einen großen Stellenwert einnimmt. Die derzeit zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel auf Bundes- und Landesebene sind allerdings zu begrenzt, um den Zielvorgaben der Wasserrahmenrichtlinie in Gänze zu genügen. Umso wichtiger ist daher ein transparenter und effizienter Einsatz der vorhandenen Ressourcen. Geeignete Maßnahmen zur Reduzierung von Schad-

stoffeinträgen müssen zeitlich und räumlich zunächst auf diejenigen Räume konzentriert werden, die ein besonders hohes Gefährdungspotenzial besitzen. Die konzeptionelle Vorgehensweise zur Ableitung des Gefährdungspotenzials wird im nachfolgenden Schaubild (Abb. 1) kurz skizziert.

Der Grad der Grundwassergefährdung ergibt sich aus der Bewertung der natürlichen Standorteigenschaften, die durch die Austauschfähigkeit des Bodenwassers ausgedrückt wird. Die Intensität der Landnutzung wird durch den sogenannten „Landnutzungsindex“ klassifiziert. Je höher (intensiver) dieser ausfällt, umso größer ist das jeweilige Belastungspotenzial ausgeprägt. Die gemessenen Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen zeigen die bereits vorhandenen Beeinträchtigungen der Grundwasserqualität auf. Mit Hilfe eines geografischen Informationssystems werden nun die einzelnen Wirkgrößen miteinander in Beziehung gesetzt und verrechnet. Im Ergebnis entstehen Karten, die den Gefährdungsgrad des Grundwassers gegenüber diffusen Nährstoffeinträgen wiedergeben. Da man die Gemarkung als kleinste Einheit für die Umsetzung von Maßnahmen vorsieht, wurden die folgenden Berechnungen auf Ebene der Gemarkungen durchgeführt. Die regionale Ausprägung der Landbewirtschaftung wird durch hohe Anzahl an Gemarkungen (2 871) gut wiedergegeben.



**Abb. 1:** Vorgehensschema zur Ermittlung des Belastungspotenzials landwirtschaftlich genutzter Flächen hinsichtlich der Grundwasserbeschaffenheit.

## 2 Belastungspotenzial „Emission“

Unter Emission wird die Abgabe von Substanzen an die Umwelt verstanden, also das „Abstoßen“ von Substanzen aus Systemen. Daraus folgt, dass die Eigenschaften des Systems einen entscheidenden Einfluss auf das Verhalten von Stoffen und deren Weitergabe in andere Systeme haben. Somit kann das Emissionspotenzial eines Standortes aus den vorhandenen, natürlichen Standorteigenschaften und seiner (Be)Nutzung beschrieben werden.

### 2.1 Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (Nitratauswaschungsfährdung)

Die potentielle Verlagerung von Nitrat in dem Grundwasserraum wird in erster Linie von der Höhe

der Grundwasserneubildung und der nutzbaren Feldkapazität im durchwurzelten Bodenraum bestimmt. Unter Feldkapazität versteht man diejenige Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden nach drei bis vier Tagen noch gegen die Schwerkraft halten kann. Das im Boden gespeicherte Haftwasser ist jedoch nicht vollständig für Pflanzen verfügbar. Wasser in Poren unter 0,2 µm wird Totwasser genannt, weil es nicht mehr pflanzenverfügbar ist. Die Adhäsionskräfte, die das Wasser in den Poren halten, sind so stark, dass Pflanzen es nicht mehr aus den Poren lösen können. Der Teil der Feldkapazität, der von den Pflanzen durch die Wurzel aufgenommen werden kann, ist die nutzbare Feldkapazität. Sie hat eine herausragende Bedeu-

tung für die Wasserversorgung der Pflanzen, sowie für die Auswaschung der im Bodenwasser gelösten Nährstoffe in das Grundwasser.

Aus beiden Größen lässt sich die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers berechnen.

$$\text{Austauschhäufigkeit in \%} = \frac{\text{Grundwasserneubildung (mm/m}^2 \text{ und Jahr)} \cdot 100}{\text{Nutzbare Feldkapazität}}$$

Werte unter 100 % bedeuten, dass das Bodenwasser im Jahresdurchschnitt nicht komplett ausgetauscht wird. Je höher die Austauschhäufigkeit, desto größer ist die Auswaschungswahrscheinlichkeit für Stoffe wie z. B. Nitrat und Ammonium. Somit ist die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers ein Maß für das standörtliche Verlagerungsrisiko.

**Tab. 1:** Austauschhäufigkeit des Bodenwassers

Austauschhäufigkeit [%]	Standörtliches Verlagerungsrisiko
< 70	sehr gering (1)
70 – < 100	gering (2)
100 – < 150	mittel (3)
150 – < 250	hoch (4)
> 250	sehr hoch (5)

## 2.2 Landnutzungsindex

Im Landnutzungsindex werden die wesentlichen Faktoren zusammengezogen, von denen eine diffuse Belastung des Grundwassers seitens der Landwirtschaft zu erwarten ist. Je intensiver die Nutzung auf einer Fläche ist, umso höher wird dessen Emissionspotenzial eingeschätzt.

### Ackerflächenanteil pro Gemarkung

Es wird davon ausgegangen, dass die mögliche Nitratbelastung der Grund- und Rohwässer mit zunehmendem Ackeranteil an der Gesamtfläche zunimmt. Als Datengrundlage zur Berechnung des Ackeranteils pro Gemarkung wurde das „Amtliche Topografische Kartografische Informationssystem (ATKIS)“ herangezogen. Der Flächenanteil der Ackerfläche wird als Prozentanteil zur gesamten Gemarkungsfläche dargestellt.

### Sommerungsanteil an der ackerbaulich genutzten Fläche pro Gemarkung

Bei Sommerungsfrüchten besteht eine erhöhte Gefahr, dass diese Flächen nach der Ernte als Brachflächen überwintern (z. B. Zuckerrübe). In diesen Flächen ist dann mit einem erhöhten Nitrataustrag zu rechnen, da ein N-Entzug durch die Vegetation, falls keine Wintereinsaart erfolgt, unterbleibt. Für die Berechnung des Verhältnisses „Sommerung – Winterung“ wurden die Daten aus dem „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS)“ für das Jahr 2006 herangezogen, um die aktuellen Anbauverhältnisse zu berücksichtigen. Die InVeKoS-Daten sind „schlagbezogen“ vorhanden und wurden über eine Verschneidung mit den Gemarkungsflächen diesen zugeordnet.

### Sonderkulturanteil an der Gemarkungsfläche

Der Sonderkulturanteil (vornehmlich Rebflächen und Obstanlagen; Datengrundlage ATKIS) an der Ackerfläche einer Gemarkung wird als weiteres Kriterium für die Intensität der Landbewirtschaftung in der jeweiligen Gemarkung herangezogen. Eine explizite Berücksichtigung der Sonderkulturen ist erforderlich, da gerade in Gebieten mit hohem Sonderkulturanteil häufig erhöhte Nitratgehalte in den Grund- und Rohwässern anzutreffen sind (z. B. im Rheingau und an der Bergstraße).

### Anteil der Fläche „Gemüse, Erdbeeren und andere Gartengewächse“

Die Produktion von sog. Marktfrüchten kann durch die intensive Bodenbearbeitung, oft verbunden mit einer ausgeprägten Düngung, in Verbindung mit einer (möglichen) mehrmaligen Nutzung der Flächen durch verschiedene Kulturen pro Jahr, ein besonderes Belastungsmoment für das Grund- und Rohwasser darstellen. Da diese Marktfrüchte in der Regel beregnet werden und zudem überwiegend auf stark sandhaltigen, durchlässigen Böden kultiviert werden, ist ein verstärkter Eintrag von Schadstoffen in den Grundwasserraum wahrscheinlich. Deshalb wurde mit Hilfe der Agrarstrukturerhebung 2003 der Flächenanteil der „Gemüse, Erdbeeren und andere Gartengewächse“ in Prozent an der ackerbaulichen Nutzfläche ermittelt.

### Stickstoffbilanz (N-Bilanz)

Als Datengrundlage diente die N-Bilanz für das Jahr 1999, die von der Universität Gießen auf Gemeinde-

ebene für Hessen erstellt wurde. In der N-Bilanz wird der Stickstoffinput durch die mineralische Düngung, Wirtschaftsdünger, N-Gewinn durch Leguminosen sowie durch den N-Eintrag aus der Luft erfasst und zusammengeführt. Der N-Entzug wird durch die Entzugszahlen der jeweiligen landwirtschaftlichen Nutzungen definiert. Die N-Bilanz ergibt sich durch das Verrechnen von Stickstoffeinträgen abzüglich der Stickstoffentzüge durch die jeweils angebaute Kultur.

Für die Berechnung des N-Eintrages über den Luftpfad wurde auf die aktuellen Ergebnisse des „Waldzustandsberichtes Hessen 2006“ zurückgegriffen, der für Freiflächen von einem Eintrag von 9 kg/ha und Jahr, Laubwald von 18 kg N/ha und Jahr und Nadelwald von 27 kg N/ha und Jahr ausgeht. Für Mischwald wurde der Mittelwert aus dem N-Eintrag für Laub- und Nadelwald angesetzt, während für Siedlungsflächen ein N-Eintrag von 5 kg N/ha und Jahr angenommen wurde. Anschließend wurden die entsprechenden Landnutzungsanteile pro Gemarkung berechnet und daraus die N-Fracht über den Luftpfad pro Gemarkung (kg N/ha) ermittelt (Datengrundlage der Flächennutzung: ATKIS).

**Zusammenfassende Bewertung der Landnutzung (Landnutzungsindex)**

Der sog. Landnutzungsindex vereint schließlich die Gefährdungspotenziale, die ausschließlich durch die Art und Intensität der Landnutzung gegeben sind. Da der Anteil der Ackerfläche den größten Einfluss auf die Nutzungsintensität ausübt, wurde dieser stärker berücksichtigt als die übrigen Faktoren.

Tab. 2 zeigt die Einteilungskriterien für die unterschiedlichen Nutzungsintensitäten, die als Grundlage für die Berechnung des Landnutzungsindex dienen. Da dem Ackeranteil pro Gemarkung eine besondere Bedeutung zukommt, wird dieser mit der doppelten Gewichtung einbezogen. Der Landnutzungsindex errechnet sich schließlich aus der Summe der einzelnen Indexklassen (Ackeranteil plus Punktzahl Gemüsefläche mal 2), dividiert durch 5.

**2.3 Ableitung des Belastungspotenzials „Emission“**

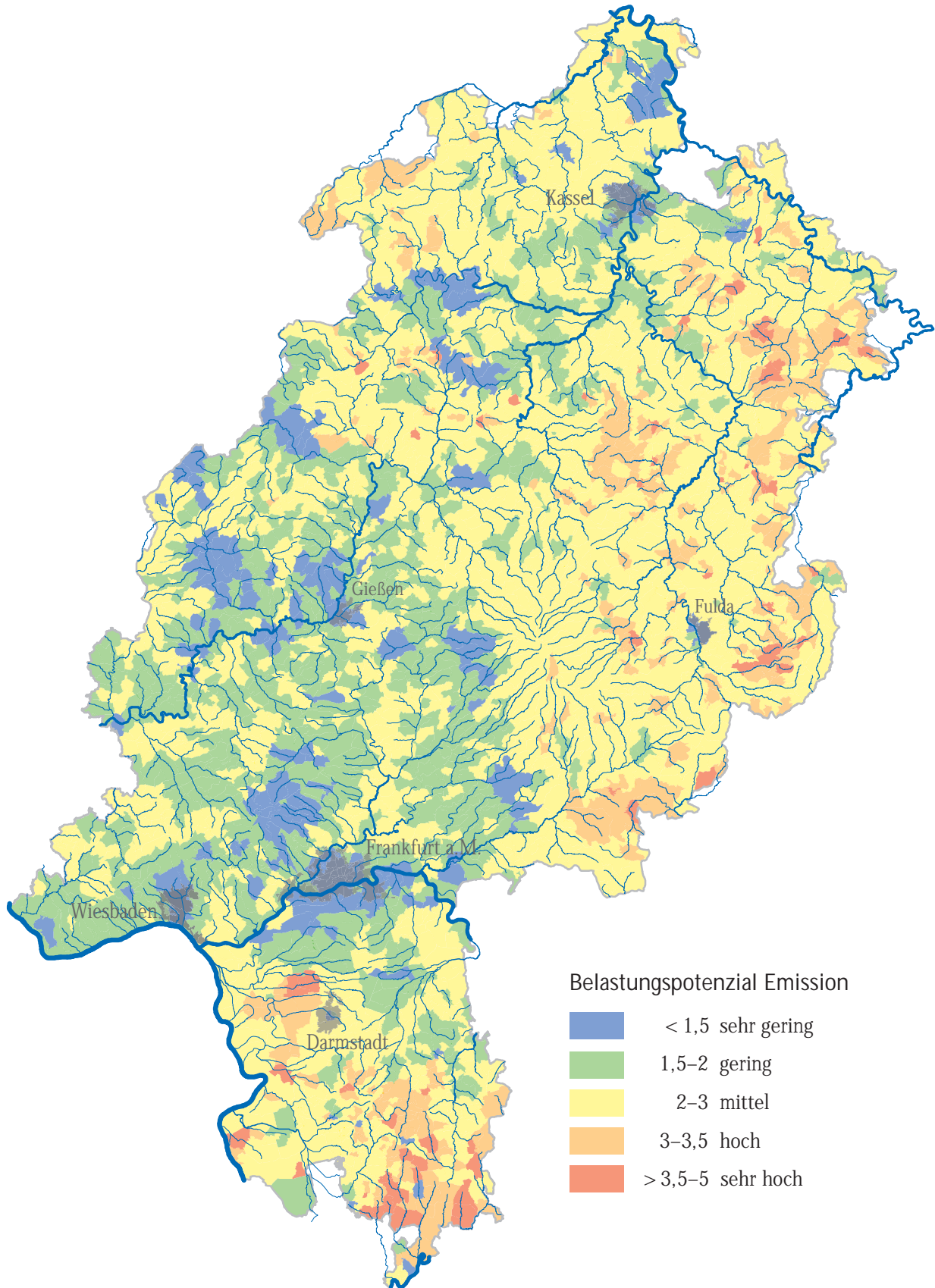
Das Belastungspotenzial Emission setzt sich aus dem berechneten Landnutzungsindex, der die Intensität der Flächennutzung beschreibt sowie den natürlichen Standorteigenschaften, die durch die Austauschhäufigkeit ausgedrückt wird, zusammen. Die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers erfährt hierbei die gleiche Gewichtung wie der Landnutzungsindex.

Die Ergebnisse werden anschließend in 5 Emissions-Gefährdungsklassen, von sehr niedrig bis sehr hoch, eingeteilt.

Die Karte (Abb. 2) macht deutlich, dass vor allem für den südhessischen Raum mit seiner intensiven Landbewirtschaftung sowie im östlichen Teil von Mittel- und Nordhessen ein erhöhtes Belastungspotenzial besteht. Sehr hohe Belastungspotenziale ergeben sich in Gemarkungen mit intensiver Landnutzung gepaart mit einer hohen Austauschhäufigkeit des Bodenwassers.

**Tab. 2:** Klassifizierung der Landnutzung in fünf Gefährdungsstufen

Index	1 sehr gering	2 gering	3 mittel	4 hoch	5 sehr hoch	Gewichtung
Ackeranteil pro Gemarkung [%] Hinweis: Der Index Ackeranteil erhöht sich bei Vorhandensein von Gemüseflächen um 1, 2 oder 3 Punkte, je nach Flächenanteil	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	2
Verhältnis Sommer/Winterung [%]	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	1
Sonderkulturanteil pro Gemarkung [%]	< 2	2-3	3-4	4-5	≥ 5	1
N-Bilanz in kg N/ha bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche pro Gemarkung	0-30	30-60	60-90	90-120	> 120	1



**Abb. 2:** Flächenhafte Darstellung des Belastungspotenzials aus der Emission.

### 3 Belastungspotenzial Immission

#### 3.1 Nitrat und Ammoniumgehalte der Grundwässer

Die Nitratkonzentration im Grundwasser ist nicht primär auf die hydrogeologischen Gegebenheiten zurückzuführen, da in Grundwasserleitern (organischer) Stickstoff nur eine sehr geringe Bedeutung hat. Deswegen kann Nitrat als einer der wichtigsten Indikatoren für eine anthropogene Beeinflussung des Grundwassers angesehen werden.

Durch die Einbeziehung der hessenweit vorliegenden Nitrat- sowie Ammoniumkonzentrationen der Roh- und Grundwässer wird ein direkter Bezug zur aktuellen Belastungssituation hergestellt. In die Bewertung gehen ausschließlich Grund- und Rohwassermessstellen ein. Deponiemessstellen sowie Schadensfallmessstellen wurden nicht in die Auswertung aufgenommen, da diese als punktuelle Belastungsherde anzusehen sind und daher nicht als flächenhaft diffuse Belastung gelten. Auch existieren für die überwiegende Anzahl von bedeutenden Grundwasserschadensfällen bereits spezifische Maßnahmen zu deren Sanierung.

Falls für eine Gemarkung keine Nitrat- bzw. Ammoniumkonzentrationen (Messstellen) vorlagen, wurden die mittleren Nitrat- bzw. Ammoniumgehalte aller Messstellen aus der korrespondierenden Gemeinde ermittelt und den Gemarkungen ohne eigene Messstelle zugeordnet. Die Einteilung bzw. Bewertung der ausgewiesenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser ist aus Tab. 3 zu entnehmen.

Nitrate bilden sich bei der Mineralisation von organischen N-Verbindungen durch nitrifizierende Bakterien. Andererseits kann bei anaeroben Verhältnissen eine Reduktion des Nitrates bis hin zur Bildung von

Ammonium bzw. Ammoniak erfolgen. Diese dissimilatorische Nitrat-Reduktion tritt vornehmlich bei geringen Sauerstoffgehalten und gleichzeitiger Anwesenheit von bioverfügbarer organischer Substanz auf. Die kurz skizzierten Verhältnisse treten vor allem in den sauerstoffarmen Grundwässern im südhessischen Bereich auf. Trotz intensiver Landwirtschaft sind in den Grundwässern nur sehr geringe Nitratkonzentrationen (in der Regel < 2 mg/l Nitrat) anzutreffen, da das vorhandene Nitrat reduziert wird. Der dennoch vorhandene Nitratintrag vermindert jedoch allmählich das vorhandene Denitrifikationspotenzial und es kann beim völligen Abbau zu einem sprunghaften Anstieg der Nitratkonzentrationen in den Grundwässern kommen. Die Belastung von reduzierenden Grundwässern durch die Landwirtschaft kann jedoch anhand der Ammoniumgehalte festgestellt werden. In der Regel weisen reduzierende Grundwässer unter Ackerflächen erhöhte Ammoniumgehalte auf. Neben Nitrat kann daher das Ammonium als weiterer Belastungsindikator für eine vorhandene Grundwasserbelastung herangezogen werden. In der Trinkwasserrichtlinie ist Ammonium als Indikatorparameter mit einem Grenzwert von 0,5 mg Ammonium (NH<sub>4</sub>) aufgeführt. Dieser Grenzwert wurde bei der Klassenbildung der Ammoniumgehalte der Grundwässer berücksichtigt.

Da jedoch eine gleichberechtigte Berücksichtigung der Ammonium- und Nitratgehalte zu einer starken Nivellierung der Belastungssituation für den Parameter Nitrat führen würde (z. B. eine hohe Nitratbelastung würde durch eine geringe Ammoniumbelastung „nivelliert“ werden), wurde für die Bewertung der Ammoniumgehalte das in Tab. 4 beschriebene Bewertungsschema entwickelt.

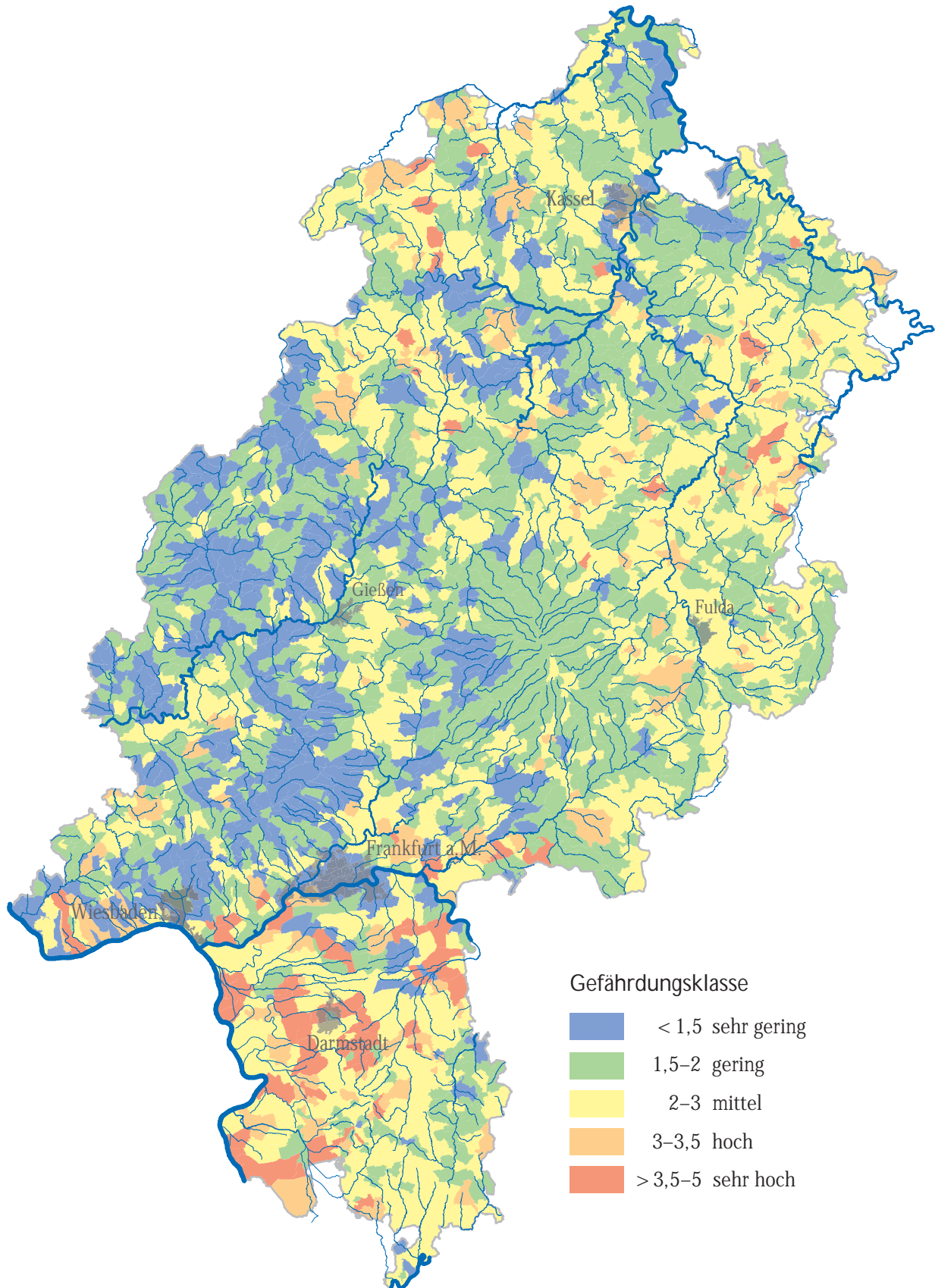
**Tab. 3:** Einteilung der Nitratkonzentrationen der Grundwässer in fünf Klassen

Index	1 sehr gering	2 gering	3 mittel	4 hoch	5 sehr hoch
Nitratkonzentration (höchster erhaltener Mittelwert) in mg/l Nitrat pro Gemarkung)	< 15	15–25	25–37,5	37,5–50	> 50

Bei fehlenden Messwerten auf Gemarkungsebene wird das Gemeindemittel für die Gemarkung eingesetzt

**Tab. 4:** Berücksichtigung der Ammoniumgehalte im Belastungspotenzial Immission

Mittlere Ammoniumkonzentration [mg/l NH <sub>4</sub> ]	Zuschlag zum Index „Immission Nitrat“ pro Gemarkung
Kleiner Nachweisgrenze (überwiegende Menge)	Kein Zuschlag
> Nachweisgrenze – 0,25	Kein Zuschlag
0,25 – 0,5	Erhöhung um den Betrag 2
0,5 – 1,0	Erhöhung um den Betrag 3
> 1	Erhöhung um den Betrag 4



**Abb. 3:** Flächenhafte Darstellung des Belastungspotenzials aus Emission und Immission.

## 4 Kombinierte Bewertung Emission und Immission

Der abschließende Schritt zur Abschätzung des Belastungspotentials ist nun die Zusammenführung der Emissions- und Immissionsbelastung, also die gemeinsame Bewertung von vorhandener Grundwasserbeschaffenheit, Standorteigenschaften und Landnutzung (siehe Abb. 1).

Hierzu wurden die erhaltenen Klassenwerte aus der Emissionsbetrachtung (Standorteigenschaften und Intensität der Landnutzung) und Immissionsbetrachtung addiert und anschließend die erhaltene Summe durch zwei dividiert. Damit gehen Emission und Immission zu gleichen Anteilen in die abschließende Bewertung ein.

Durch die Kombination von vorhandener Nitrat- und Ammoniumbelastung im Grundwasser (Immission) mit dem Emissionspotential können nun besonders gefährdete bzw. bereits belastete Flächen herausgearbeitet und dargestellt werden.

Die Abb. 3 zeigt die flächenhafte Verteilung der Gefährdungsklassen gegenüber diffusen Stoffeinträgen für Hessen. Sehr hohe Gefährdungspotentiale ergeben sich für den südhessischen Raum. Ursache hierfür ist die intensive Landnutzung im Hessischen Ried, die bereits zu einer nachteiligen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit geführt hat. Im Bereich Odenwald trifft man auf hohe Austauschhäufigkeiten des Bodenwassers, die auf landwirtschaftlich genutzten Arealen zu einer erhöhten Grundwasserbelastung führen können. In den Mittelgebirgsregionen von Hessen wird überwiegend ein sehr geringes bis mittleres Gefährdungspotenzial angetroffen. Durch die gemeinsame Bewertung von Emission und Immission wird das Gefährdungspotenzial der landwirtschaftlich genutzten Flächen auf Gemarkungsebene ausreichend detailliert wiedergegeben. Diese Detailliertheit ist u. a. der Grund, dass zwischen zwei benachbarten Gemarkungen durchaus markante Unterschiede hinsichtlich des Gefährdungspotenzials auftreten können, je nach Ausprägung der einzelnen Faktoren.

## 5 Zusammenfassung

Die vorgestellte Methode zur Ableitung von Maßnahmengebieten umfasst zwei Bereiche. Zum einen werden die natürlichen Standorteigenschaften, verbunden mit der Intensität der Landnutzung bewertet und zum anderen werden bereits vorhandene (gemessene) Belastungen des Grundwassers zur Beurteilung herangezogen. Beide Ansätze werden miteinander verknüpft und in Form von Gefährdungsklassen (sehr gering bis sehr hoch) flächenhaft dargestellt. Als Bezugseinheit wurde die Gemarkung gewählt, da sich die Akteure bei der Umsetzung der Maßnahmen in

der Regel an politischen Grenzen wie Kreisen und Gemeinden orientieren. Die vorgestellte Ableitung der Gefährdungspotenziale ermöglicht eine Konzentrierung der Maßnahmen auf besonders gefährdete Gebiete. Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Auswahl von geeigneten Maßnahmen und wurden bei den sog. „Beteiligungswerkstätten“, bei denen lokale Vertreter aus der Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und der interessierten (Fach-)Öffentlichkeit einen spezifischen Maßnahmenkatalog erarbeiten, erfolgreich eingesetzt.