

Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in den Grundwasserkörpern des Hessischen Rieds und Lokalisierung von Risikogebieten

Abschlussbericht

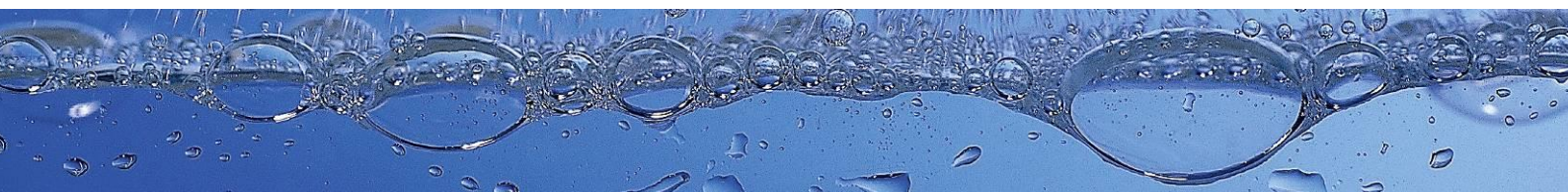
Auftrag 4500554227 / 12.10.2011

Entwurf - Mai 2014



Für eine lebenswerte Zukunft

Hessisches Landesamt
für Umwelt und Geologie
Dr. Georg Berthold



Projektpartner

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

Moritzstraße 26

45476 Mülheim an der Ruhr

<http://www.iww-online.de>

– Regionalstandort Rhein-Main –

Justus-von-Liebig-Straße 10

64584 Biebesheim am Rhein

Dr. Frank-Andreas Weber (Projektleiter)

Telefon: 069 25490-8015

fa.weber@iww-online.de

Dr. Axel Bergmann

Telefon: 0208 40303-251

a.bergmann@iww-online.de

BGS Umwelt

Dr. Markus Kämpf, Dipl.-Geoökol. Anette Spinola und Dr. Heiko Gerdes

An der Eschollmühle 28

64297 Darmstadt

<http://www.bgs Umwelt.de/>

Technische Universität Darmstadt

Dipl.-Ing. Geowiss. Christoph Kludt und Prof. Dr. Christoph Schüth

Fachgebiet Hydrogeologie

Institut für Angewandte Geowissenschaften

Schnittspahnstraße 9

64287 Darmstadt

<http://www.geo.tu-darmstadt.de/iaq>

Wasserverband Hessisches Ried (WHR)

Arnd Allendorf und Dr. Hermann Mikat
Taunusstraße 100
64521 Groß-Gerau/Dornheim
<http://www.wasserverband-hessisches-ried.de>

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG)

Dr. Georg Berthold
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden
<http://www.hlug.de>

Bearbeitungszeitraum: Oktober 2011 bis Mai 2014

Danksagung

Wir danken Herrn Dr. Berthold für die Initiierung und engagierte fachliche Begleitung des Vorhabens sowie dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) und dem Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) für die Projektfinanzierung. Der Wasserverband Hessisches Ried (WHR) und die Hessenwasser GmbH & Co. KG, insbesondere Herr Allendorf, haben mit der Bereitstellung von Grundwassergütedaten und Bohrkernen sowie mit wertvollen Anregungen wesentlich zum Gelingen des Vorhabens beigetragen. Außerdem danken wir Herrn Dr. Knöller (UFZ Leipzig/Halle) für die Durchführung von Sulfat-S-Isotopenmessungen und Frau Knipp und Frau Preiß für die Bearbeitung zweier projektbezogener Masterarbeiten. Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) wird für die Vergabe eines Promotionsstipendiums an Herrn Kludt (TU Darmstadt) gedankt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Alle fünf Grundwasserkörper im Hessischen Ried befinden sich u.a. angesichts der Überschreitung der Nitrat-Umweltqualitätsnorm von 50 mg/l nicht in einem guten chemischen Zustand. Als Grundlage für die **effektive und kosteneffiziente Planung und Optimierung der Maßnahmenprogramme der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)** werden in der vorliegenden Studie Risikogebiete im Hessischen Ried lokalisiert, in denen Maßnahmen zur Minderung der Stickstoff-Einträge aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung zu intensivieren sind, um den guten Zustand wiederherzustellen und dauerhaft zu erhalten. Bei der **Abgrenzung der Risikogebiete** wird neben der Flächennutzung, der Düngeintensität und den Bodeneigenschaften auch eine erste Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in den Grundwasserkörpern berücksichtigt. Anhand naturräumlicher Gegebenheiten wird bewertet, in welchen Teilgebieten die Erreichung des guten chemischen Zustandes gemäß § 47 WHG bis zum Jahr 2015 bzw. nach höchstens zweimaliger Fristverlängerung bis 2027 trotz Erfolgen bei der Umsetzung der Maßnahmenprogramme als unwahrscheinlich einzustufen ist.

Dazu wird ein **konzeptionelles Modell** erarbeitet und angewendet, das auf vorangegangenen hessenweiten und bundesweiten Auswertungen aufbaut und gleichzeitig die Komplexität der naturräumlichen Verhältnisse, aber auch die gute Datenlage und jahrzehntelange Erfahrung im Grundwasser-Monitoring und in der Strömungsmodellierung im Hessischen Ried integriert. Das konzeptionelle Modell kann mit einem Emissions-Immissions-Ansatz die gemessene kleinräumig heterogene und tiefendifferenzierte Nitrat-Belastung aus den N-Flächenbilanzüberschüssen, den Bodeneigenschaften, der Infiltration von Fließgewässern, der dreidimensionalen Grundwasserströmung und dem Stofftransport im Grundwasserleiter sowie dem heterogen in den quartären Sedimenten vorhandenen Nitratabbauvermögen vollständig beschreiben. Das konzeptionelle Modell kann damit für die Maßnahmenplanung eingesetzt werden.

Nach Ableitung der Denitrifikationsleistung in der Bodenzone in Anlehnung an LBEG (2008) und unter Berücksichtigung der Nitrat austragsgefährdung (NAG-Stufen) sind ein Großteil (88 %) der landwirtschaftlich genutzten Flächen im Hessischen Ried als **nitrateintragsgefährdete Gebiete** zu bewerten, von denen Nitrat-Einträge > 50 mg/l in das Grundwasser zu erwarten sind, auch wenn die N-Bilanzsalden aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung der guten fachlichen Praxis gemäß Düngeverordnung (DüV) eingehalten werden

Mit stationären **Strömungsberechnungen** werden die Eintragsgebiete im Anstrom verschiedener nitrat- bzw. ammoniumbelasteter Grundwassergütemessstellen unter repräsentativen hydraulischen Randbedingungen bestimmt. Die derzeit gemessene Nitrat-Belastung wurde bei flach verfilterten Messstellen meist vor weniger als 15 Jahren ins Grundwasser eingetragen, während bei tief verfilterten Messstellen Fließzeiten von mehr als 50 Jahren, bei Durchströmung der Tonschichten auch von mehr als 100 Jahren auftreten.

In einer ersten Bestandsaufnahme wird das entlang der Fließstrecke als endliche Ressource in den Sedimenten verfügbare **Nitratabbauvermögen** mit vier komplementären Methoden charakterisiert und quantifiziert (Stoffflussmodellierung, Festphasenanalytik, Screeningmethode mit Redoxprofilmessungen sowie N₂/Ar-Messungen und Sulfat-S-Isotopenmessungen). Es werden Eintragsgebiete lokalisiert, in deren Abstrom bis zur Messstelle kein oder nur ein unvollständiger Nitratabbau stattfindet, aber auch Eintragsgebiete abgegrenzt, in deren Abstrom ein vollständiger autolithotropher und/oder heterotropher Nitratabbau zu beobachten ist. Die Ergebnisse

bestätigen konsistent, dass die im Osten des Hessischen Rieds abgelagerten Flugsande mit meist < 10 mg-S/kg reduzierte Eisensulfid-Phasen (Pyrit) nur über ein geringes Nitratabbauvermögen verfügen. In der oberen Tonschicht werden in Bohrkernproben dagegen bis zu 123 mg-S/kg Pyrit und erhöhte Gehalte an organischem Kohlenstoff gemessen, deren hohe Abbauleistung in Laborversuchen nachgewiesen werden konnte. Allerdings wird die obere Tonschicht von dem Großteil der eingetragenen Nitrat-Frachten umströmt (statt durchströmt), ohne mit dem vorhandenen Abbaupotenzial der Tonschichten reagieren zu können. Die Bestandsaufnahme kommt zu dem Schluss, dass die Risikogebiete unabhängig von den nur kleinräumig heterogen vorhandenen Nitratabbaupotenzialen abzugrenzen sind, da diese insbesondere im Bereich oberflächennaher Grundwasserströmung bereits teilweise aufgezehrt sind bzw. deren Zehrung bei den gegenwärtigen Nitrat-Einträgen im Zeithorizont der WRRL weiter voranschreiten wird bzw. in gering durchlässigen Tonschichten nur untergeordnet zur Verfügung steht.

Als **Risikogebiete im Hessischen Ried** werden flächenhaft alle nitrateintragsgefährdeten Gebiete sowie die mit intensivem Erwerbsgartenbau und Anbau von Sonderkulturen gekennzeichneten Landnutzungsgebiete und weitere Gebieten abgegrenzt, die in der Beratungspraxis durch wiederholt hohe N-Bilanzsalden $\gg 60$ kg/ha gekennzeichnet sind, da dort selbst bei günstigen Bodeneigenschaften Nitrat-Einträge von > 50 mg/l ins Grundwasser zu erwarten sind. Niedermoore und anmoorige Böden sind als Böden mit geogenen Freisetzungspotenzialen unabhängig von ihrer Nutzung ebenfalls als Risikogebiete zu behandeln.

Für landwirtschaftlich genutzte Flächen werden **maximal tolerierbare N-Flächenbilanzüberschüsse** abgeleitet, die nicht überschritten werden dürfen, um auch ohne Inanspruchnahme des nur gebietsweise vorhandenen und erschöpflichen Nitratabbauvermögens im oberflächennahen Grundwasser Nitrat-Konzentrationen < 50 mg/l zu gewährleisten. Die Berechnungen zeigen, dass die Einhaltung des gemäß Düngeverordnung zulässigen N-Saldos im betrieblichen Nährstoffvergleich von 60 kg N/ha im gleitenden dreijährigen Mittel in weiten Teilen des Hessischen Rieds nicht ausreicht, um den guten chemischen Zustand der Grundwasserkörper zu erreichen und langfristig zu erhalten.

Die Berechnung der **Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Bodenzone** mit dem Modell MIKE-SHE macht deutlich, dass im Hessischen Ried Verweilzeiten von mehreren Jahren bis Jahrzehnten vorherrschen, so dass die begonnene Umsetzung der WRRL-Maßnahmenprogramme alleine aufgrund der langen Verweilzeiten des Sickerwassers bis Ende 2015 nur unter höchstens 17 % der Flächen messbare Verbesserungen der Nitratbelastung im Grundwasser zu erwarten sind, selbst unter der idealisierten Annahme, dass unmittelbar in 2012 eine signifikante Bewirtschaftungsänderung dauerhaft etabliert werden konnte. Unter der gleichen Annahme sind auf ca. 61 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen Verbesserungen bis zum Ablauf der einmaligen Fristverlängerung Ende 2021 und auf weiteren ca. 13 % bis zum Ablauf der zweimaligen Fristverlängerung Ende 2027 denkbar. Bei der Bewertung sind auch weitere Reaktionszeiten von mehreren Jahren vom Beginn des Angebotes spezifischer Beratungen und standortgerechter Förderprogramme über die Etablierung von Bewirtschaftungsänderungen bis zur Verminderung der Nitratauswaschung aus der Wurzelzone einzukalkulieren.

Empfehlungen

Es wird empfohlen, die Umsetzung der WRRL-Maßnahmenprogramme zur Minderung der Stickstoff-Einträge auf den als Risikogebiete abgegrenzten Flächen weiter zu intensivieren und in den Risikogebieten differenzierte Maßnahmen von der Beratung über Entwicklung und Angebot geeigneter Anreizprogramme für konkrete Bewirtschaftungsmaßnahmen (in Form von gewässerschutzorientierten, standortbezogenen Agrarumweltmaßnahmen) bis ggf. zur Vorgabe von Bewirtschaftungsmaßnahmen und -verboten zu entwickeln und zu etablieren. Zur Einhaltung der maximal tolerierbaren N-Flächenbilanzüberschüsse sind ambitionierte Minderungsmaßnahmen umzusetzen. Böden mit geogenen Freisetzungspotenzialen sind unabhängig von ihrer Nutzung durch geeignete Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Vernässung, z.B. durch landwirtschaftliche Beregnung und Bewässerung, und einer verträglichen Bodenbearbeitung vor Degradation/Mineralisierung zu schützen.

In den Gebieten, in denen aufgrund der natürlichen Gegebenheiten u.a. wegen langer Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone eine Zielerreichung bis 22. Dezember 2015 unwahrscheinlich ist, ist eine Fristverlängerung nach § 47(2) i.V.m. § 29(3) WHG zu beantragen.

Bei der Bewertung des Zustandes der Grundwasserkörper ist zu beachten, dass im Anstrom der Überwachungsmessstellen ein partieller Nitratabbau im Grundwasserleiter stattfindet, also die Nitratbelastung an der Grundwasseroberfläche z.T. höher ist als in den Überwachungsmessstellen festgestellt wird. Die Messung ansteigender Nitrat-Konzentrationen muss nicht zwangsläufig auf eine unzureichende Umsetzung der N-Minderungsmaßnahmen hindeuten, sondern kann ggf. durch ein Nachlassen des Abbauvermögens im Anstrom der Überwachungsmessstelle erklärt werden.

Es wird empfohlen, die Effizienzkontrolle der durchgeführten Maßnahmenprogramme zu verstärken. Dazu wird ein weitergehendes Monitoring der Bodenzone und Messungen der Nitratreinträge mit der N₂/Ar-Methode im Grundwasser vorgeschlagen. Außerdem wird empfohlen, in einem übergeordneten Monitoringkonzept für das Hessische Ried die WRRL-Überwachungsmessstellen zusammen mit dem Grundwassermessnetz aller Betreiber anhand ihrer Lage und des Ausbaus auf ihre Eignung als repräsentative Qualitätsmessstellen prozessorientiert zu überprüfen und das Messnetz ggf. zu ergänzen.

Die Berichtsversion als pdf ist nicht unterschrieben. Bitte vergleichen Sie im Zweifelsfall das unterschriebene Original.

Biebesheim, den xx. Mai 2014

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

i.V.

i.V.

Dr.-Ing. W. Merkel

Dr. F.-A. Weber

Dr. A. Bergmann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.1	Priorisierung von Maßnahmegebieten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.2	Konzeptionelle Modellvorstellung im Hessischen Ried	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.3	Wirkungszeitraum zur Erreichung des guten chemischen Zustandes	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.1	Projektziele	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.2	Vorgehensweise	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3	Untersuchungsgebiet Hessisches Ried	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.1	Flächennutzung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.2	Geologie	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.3	Hydrogeologie	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.4	Böden	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.5	Grundwasserneubildung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.6	Niederschlag und atmosphärische Deposition	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4	Räumlich-zeitliche Bestandsaufnahme der Grundwasser-beschaffenheit	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.1	Methodik	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.2	Nitrat-Belastung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.3	Ammonium-Belastung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.4	Sulfat- und Eisen-Konzentrationen	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5	Nitrateintragsgefährdete Gebiete	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5.1	Potenziell nitrataustragsgefährdete Gebiete nach BFD5L	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5.2	Denitrifikationsleistung im Boden nach LBEG (2008)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5.3	Geogene Freisetzungspotenziale humoser Böden	Fehler! Textmarke nicht definiert.

- 5.4 Abgrenzung nitrateintragsgefährdeter Gebiete und Validierung **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 6 Stoffeinträge in den Grundwasserleiter** Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 6.1 Abschätzung der Stoffeinträge unter landwirtschaftlich genutzten Flächen **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 6.2 Stoffeinträge durch Infiltration von Fließgewässern in den Grundwasserleiter **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 7 Verweilzeit der Stoffeinträge in der ungesättigten Zone** Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 7.1 Methodik **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 7.2 Berechnung der mittleren Verweilzeit **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 8 Modellierung der Grundwasserströmung und der Fließpfade** Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 8.1 Methodik **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 8.2 Anströmverhältnisse ausgewählter Grundwassermessstellen **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 8.2.1 Ergebnisse im GWK 2398_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 8.2.2 Ergebnisse im GWK 2396_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 8.2.3 Ergebnisse im GWK 2395_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 8.2.4 Ergebnisse im GWK 2393_3101 und 2394_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 9 Stoffflussmodellierung der Nitrat-abbauleistung im Anstrom ausgewählter Grundwassermessstellen (Methode 1)**
- Fehler! Textmarke nicht definiert.
- 9.1 Methodik **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 9.2 Ergebnisse der Stoffflussmodellierung **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 9.2.1 Ergebnisse im GWK 2398_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 9.2.2 Ergebnisse im GWK 2396_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 9.2.3 Ergebnisse im GWK 2395_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
- 9.2.4 Ergebnisse im GWK 2393_3101 und GWK 2394_3101 **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

10	Bestimmung des Nitratbaupotenzials und der Abbaukinetik an Bohrkernproben (Methode 2)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.1	Methodik der Festphasenanalytik	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.2	Ergebnisse der Festphasenanalytik	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.3	Methodik der Nitratbaubersuche im Labor	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.4	Ergebnisse zur Bestimmung der Nitratbaubaukinetik	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.5	Diskussion der Ergebnisse	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.6	Nitratbaubauvermögen als endliche Ressource	15
11	Abschätzung des Nitratbaupotenzials aus Redoxprofilmessungen (Methode 3)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
11.1	Methodik	Fehler! Textmarke nicht definiert.
11.2	Ergebnisse	Fehler! Textmarke nicht definiert.
11.3	Diskussion der Ergebnisse	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12	Bestimmung der Nitratbauprozesse in Feldmessungen von N₂/Ar und δ³⁴S-Schwefel-Isotopenverhältnissen (Methode 4)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12.1	Methodik	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12.2	Ergebnisse	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12.3	Diskussion der Ergebnisse	Fehler! Textmarke nicht definiert.
13	Lokalisierung von Risikogebieten	17
14	Schlussfolgerungen	22
15	Empfehlungen	28
16	Literatur	Fehler! Textmarke nicht definiert.
17	Anhang	Fehler! Textmarke nicht definiert.



Wirkungsweise der Tonschichten

Im Untersuchungsgebiet sind mit dem Oberen und dem Unteren Ton zwei hydraulische Trennschichten flächig ausgebildet, die zu Druckdifferenzen zwischen den einzelnen Grundwasserstockwerken führen. Die Ausdehnung und Mächtigkeit der Tonschichten ist in Anhang 3-1 und 3-2 dargestellt. Anhang 8-6 und Anhang 8-7 zeigen die Differenzen zwischen den Potenzialen, die jeweils ober- und unterhalb der Tonschichten berechnet wurden. Wegen der intensiven Grundwasserförderung aus den tieferen Bereichen des Grundwasserleiters ist der hydraulische Gradient nach unten gerichtet und führt damit zu einer Durchströmung der Tonschichten, die proportional zur vertikalen hydraulischen Leitfähigkeit des Tons ist. Die Bahnlinienberechnungen zeigen, dass in Abhängigkeit von der hydraulischen Situation auch die Tonschichten durchströmt werden, z.B. bei der Berechnung des Zustroms zu den Messstellen 11880 und 13031 (s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Die Tonschichten haben keine Schutzwirkung bzgl. eines Stoff- bzw. Nitrateintrages aus der Bodenzone in das Grundwasser. Im Grundwasserkörper selbst können die Tonschichten jedoch wegen ggf. erhöhter Corg- und Sulfid-Gehalte ein erhöhtes Nitratabbauvermögen aufweisen (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt in einer exemplarischen Modellrechnung die hydraulische Wirkung des Oberen Tons auf die Fließwege im Grundwasser. Im Vertikalschnitt ist der Zustrom zur Messstelle 11880 mit und ohne Berücksichtigung des Oberen Tons dargestellt. Im hypothetischen Fall ohne Berücksichtigung des Oberen Tons bildet sich über die gesamte Mächtigkeit des Oberen Grundwasserleiters das gleiche Potenzial aus und das Eintragsgebiet verschiebt sich nach Osten. Es resultieren bei Durchströmung der Tonschicht deutlich längere Fließzeiten.

Im Folgenden werden die Durchsickerungsraten für den Oberen und den Unteren Ton überschlägig berechnet. Der vertikale Fluss Q durch die Tonschichten lässt sich aus dem Darcy-Ansatz abschätzen:

$$Q/A = i * kf$$

mit $i = \Delta h / \Delta s$: hydraulischer Gradient

kf : Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

A : durchströmte Fläche [m²]

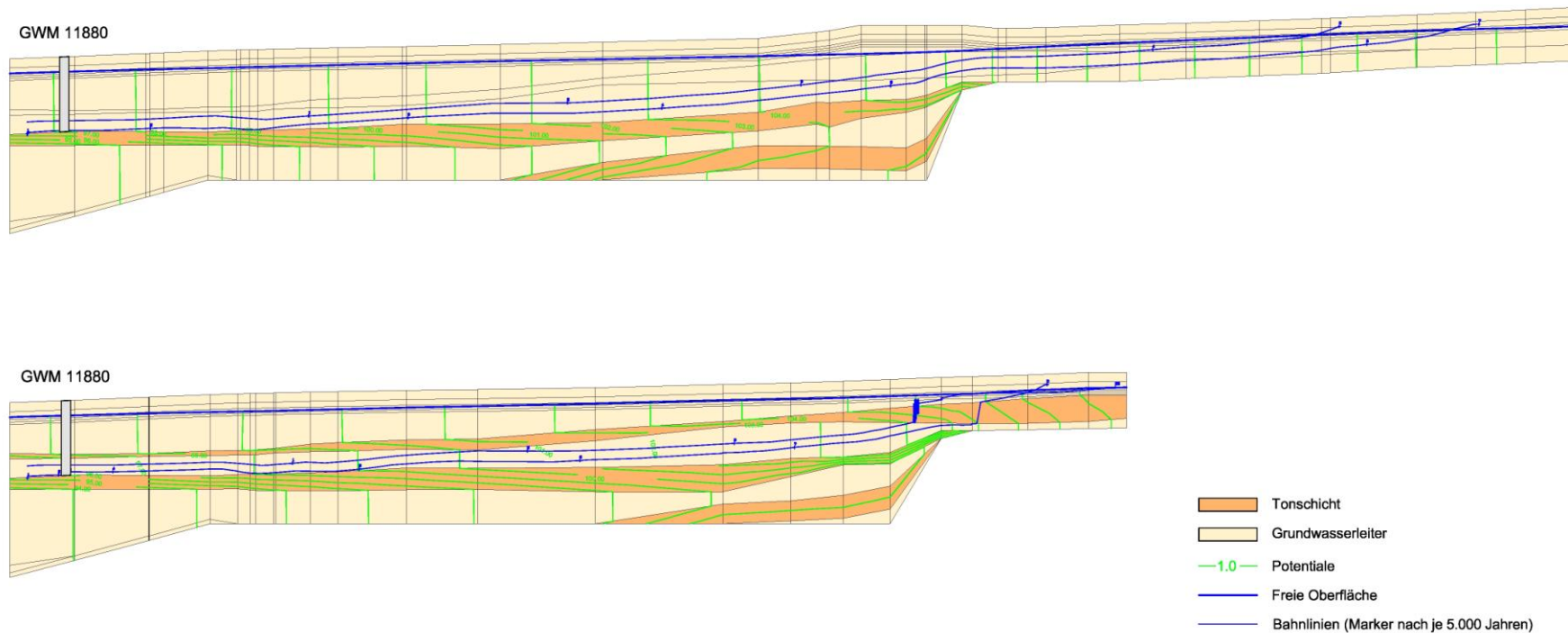


Abbildung 0-1: Vertikalschnitt entlang der berechneten Bahnlinie zur Messstelle 11880 im GWK 2398_3101 mit und ohne Berücksichtigung des Oberen Tons.

Für den Oberen Ton, der im Wesentlichen im östlichen Teil des Hessischen Rieds zwischen Mörfelden-Walldorf und Pfungstadt ausgebildet ist, wurde in der Modellkalibrierung ein vertikaler k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s ermittelt. Bei einer mittleren Druckdifferenz von ~ 2 m und einer mittleren Mächtigkeit des Oberen Tons von ebenfalls ~ 2 m resultiert eine Durchsickerungsrate von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s bzw. ca. 30 mm/a. Dieser Wert schwankt mit dem hydraulischen Gradienten, der wiederum abhängig von der Grundwasserförderung und somit variabel ist.

Für den Unteren Ton ergibt sich aus der Modellkalibrierung ein vertikaler k_f -Wert von im Mittel ca. $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Bei einem hydraulischen Gradienten von ca. 0,2 ($\Delta h \sim 2$ m, $\Delta s \sim 10$ m) resultiert eine Durchsickerungsrate von ca. 65 mm/a. Auch hier bestehen in Abhängigkeit vom hydraulischen Gradienten bzw. den Förderbedingungen lokale Schwankungen.

Die berechneten Durchsickerungsraten sind als grobe Abschätzung anzusehen. Es wird jedoch deutlich, dass der Untere Ton in einem deutlich höheren Maße durchsickert wird als der Obere Ton und für das Grundwasser in den tiefen Aquiferbereichen eine relevante Reinigungswirkung besitzt. Außerhalb, d.h. westlich der Verbreitung des Unteren Tons resultiert im tieferen Aquiferbereich eine Durchmischung von Wässern, die den Unteren Ton passiert bzw. umströmt haben. Die Schutz- und Reinigungsfunktion des Oberen Tons wirkt wegen der geringeren Ausdehnung dahingegen nur kleinräumig.

Werden die berechneten Durchsickerungsraten mit der Grundwasserneubildung in Bezug gesetzt, die im Ausbreitungsbereich der Tonhorizonte ca. 150 – 250 mm/a beträgt, ergeben sich für die Flächen im Zustrom der Tonschichten Anteile von ca. 10 – 20 %, die den Oberen Ton und Anteile von ca. 25 – 40 %, die den Unteren Ton durchströmen.

Nitratabbauvermögen als endliche Ressource

Die Geschwindigkeit, mit der das vorhandene Nitratabbauvermögen aufgezehrt wird und die Nitratfront entlang der Fließpfade im Grundwasserleiter voranschreitet, lässt sich in erster Näherung anhand des gemessenen Abbaupotenzials und den Beobachtungen aus den Batchversuchen abschätzen. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass bei der langsamen Fließgeschwindigkeit des Grundwassers im Hessischen Ried eine vollständige Reaktion mit dem vorhandenen Sulfid- und Disulfid-gebundenen Abbaupotenzial entlang der Fließrichtung stattfindet. Das Abbaupotenzial in Form von organischem Kohlenstoff wurde aufgrund der langsameren Kinetik bei dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Die Aufzehrung ist in diesem Fall allein von der eingetragenen Nitrat-Konzentration und der Fließgeschwindigkeit des nitratbelasteten Grundwassers abhängig (Abbildung 0-2).

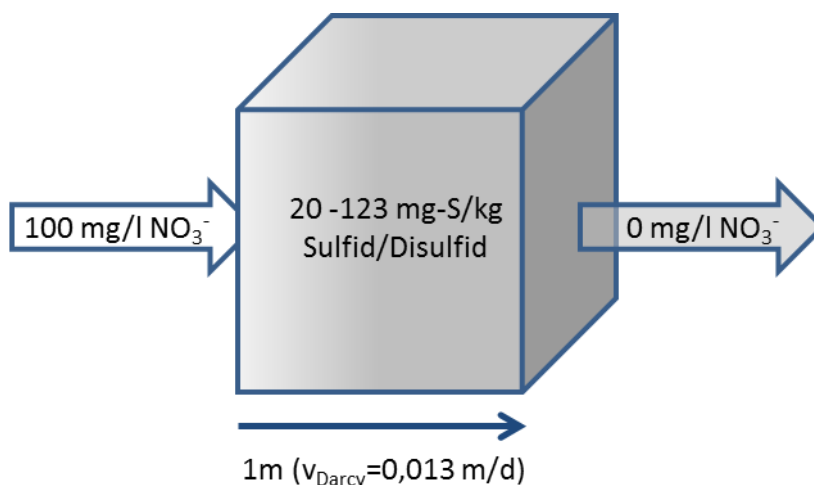


Abbildung 0-2: Prinzipskizze zur Berechnung der Aufzehrung des Abbaupotenzials nach Knipp (2012).

Bei einer beispielhaften Nitrat-Eingangskonzentration von 100 mg/l und einer angenommenen Fließgeschwindigkeit von $0,013 \text{ m/d}$ sowie einem Sulfid/Disulfid-Gehalt von 123 mg-S/kg (höchster Messwert im Bohrkern Jägersburger Wald) wird das Abbaupotenzial von 1 m Sediment innerhalb von 430 Tagen aufgezehrt. Mit dieser Aufzehrung des Nitratabbauvermögens schreitet die Nitratfront mit $0,8 \text{ m/a}$ im Grundwasserleiter voran. Bei Sedimenten, die mit 20 mg-S/kg geringere Gehalte aufweisen (beispielhaft für den Bohrkern Eschollbrücken) wird das Fortschreiten der Nitratfront allein durch die

Grundwasserfließgeschwindigkeit bestimmt; die Nitratfront schreitet mit 4,7 m/a entlang der Fließpfade voran.

Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich hierbei nur um eine einfache Abschätzung handelt, bei der neben den vereinfachten Randbedingungen (konstante Konzentration und Fließgeschwindigkeit) die tatsächliche Reaktionskinetik gegenüber der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers unberücksichtigt bleibt. Trotzdem macht diese Modellrechnung deutlich, dass das Nitratabbaupotenzial als endliche Ressource im Grundwasserleiter bei den gegenwärtigen Nitrat-Einträgen in relevanten Raten aufgezehrt wird und dass im Zeithorizont der WRRL insbesondere im oberflächennahen Grundwasserleiter mit einem Nachlassen des Nitratabbauvermögens gerechnet werden muss.

Lokalisierung von Risikogebieten

Zielsetzung der Wasserrahmenrichtlinie ist es, das Grundwasser so zu bewirtschaften, dass der gute chemische Zustand in allen Grundwasserkörpern erreicht und erhalten wird. Der chemische Zustand ist als gut einzustufen, wenn nach § 7 (2) GrwV die Schwellenwerte an keiner Messstelle im GWK überschritten werden oder bestimmte flächenbezogene Voraussetzungen nach § 7 (3) GrwV erfüllt sind.

Unter dem Begriff „Risikogebiet“ werden im Rahmen der vorliegenden Studie diejenigen landwirtschaftlich genutzten Flächen verstanden, auf denen Maßnahmen zur Minderung der Nitratreinträge zu intensivieren sind, um den guten chemischen Zustand der Grundwasserkörper im Zeithorizont der WRRL flächenhaft zu erreichen und dauerhaft zu erhalten. Im Folgenden werden Risikogebiete im Hessischen Ried in Abhängigkeit (1) der durchgeführten Abgrenzung nitrateintragsgefährdeter Gebiete, (2) der Landnutzungen mit hohen oder sehr hohen N-Flächenbilanzüberschüssen, (3) Böden mit geogenen Freisetzungspotenzialen und (4) unter Berücksichtigung einer ggf. möglichen Inanspruchnahme des Nitratabbauvermögens im Grundwasserleiter abgegrenzt. Anschließend werden die maximal tolerierbaren N-Flächenbilanzüberschüsse für die Risikogebiete abgeschätzt und der notwendige N-Minderungsbedarf diskutiert.

1. Nitratreintragsgefährdete Gebiete

Die als nitrateintragsgefährdeten Gebiete abgegrenzten Flächen (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) sind flächenhaft als Risikogebiete anzusehen, da von ihnen ein Nitrat-Eintrag von mehr als 50 mg/l in das Grundwasser zu erwarten ist, auch wenn die landwirtschaftliche Bewirtschaftung die nach der guten fachlichen Praxis gemäß Düngeverordnung (DüV) zulässigen N-Salden im betrieblichen Nährstoffvergleich von 60 kg N/ha im gleitenden dreijährigen Mittel nicht überschreitet und diese N-Salden mit den zulässigen Bilanzüberschüssen einer Bewirtschaftungsfläche gleichgesetzt werden

2. Landnutzungen mit hohen oder sehr hohen N-Flächenbilanzüberschüssen

Darüber hinaus besteht auch auf den als nicht-eintragsgefährdeten Gebieten die Gefahr des übermäßigen Nitrat-Eintrags in das Grundwasser, wenn die Landnutzung in der Praxis mit wesentlich höheren als nach DüV zulässigen N-Bilanzsalden verbunden ist, so dass selbst bei guten bis sehr guten Denitrifikationsbedingungen im Boden mit erhöhten Nitrat-Einträgen > 50 mg/l gerechnet werden muss. Weitere Risikogebiete sind demnach dort lokalisiert, wo die Landnutzung deutlich über die derzeit nach DüV zulässigen 60 kg/ha hinausgehende N-Bilanzsalden aufweist. Zu diesen Landnutzungen zählen in erster Näherung insbesondere

die Flächen des Erwerbsgartenbaus und des Anbaus weiterer Sonderkulturen, sowie weitere Flächen, die aus der WRRL-Beratungspraxis als Flächen mit erfahrungsgemäß erhöhten N-Bilanzsalden gekennzeichnet sind. Weitere Konkretisierungen zu realistischen derzeitigen und künftig zu erwartenden N-Bilanzüberschüssen in den Kooperationsräumen und daraus folgende Risikogebietsabgrenzungen können nach Vorliegen der Erkenntnisse aus der WRRL-Beratung erfolgen.

3. Böden mit geogenen N-Freisetzungspotenzialen

Bei landwirtschaftlichen Nutzungen auf Niedermoor, Moorgley, Anmoorgleye und Tiefumbruchböden aus Moor ist eine Denitrifikationsleistung von 100 kg N/(ha a) und mehr möglich, jedoch sind bei der Entwässerung und Bearbeitung dieser Böden bei hohen Mineralisierungsraten hohe Nitrat-Einträge in das Grundwasser zu befürchten. Diese Böden mit geogenen Freisetzungspotenzialen sind deswegen unabhängig von ihrer Nutzung als Risikogebiete zu behandeln und durch geeignete Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Vernässung (z.B. durch landwirtschaftliche Beregnung und Bewässerung) und einer verträglichen Bodenbearbeitung vor Degradation/Mineralisierung zu schützen, um den Eintrag hoher Nitrat-Frachten ins Grundwasser zu vermeiden.

4. Inanspruchnahme des Nitratabbauvermögens im Grundwasserleiter

Im Abstrom der Risikogebiete können erhöhte Nitrat-Einträge ggf. unter Inanspruchnahme des lokal vorhandenen Nitratabbauvermögens im GWL zu Konzentrationen < 50 mg/l abgebaut werden. Die Neubildungsgebiete, in deren Abstrom ein weitgehend vollständiger Nitratabbau im GWL stattfindet, konnten mit der Stoffflussmodellierung (Methode 1) ausgewählter GWM nur relativ kleinräumig abgegrenzt werden. Auch die Festphasenanalysen von Bohrkernproben (Methode 2) sowie die verfügbaren Feldmethoden mit Redoxprofilmessungen (Methode 3) und N_2/Ar - und S-Isotopenuntersuchungen (Methode 4) liefern nur relativ kleinräumige Aussagen bzw. Punktinformationen über das in bestimmten Anstrombereichen verfügbare Nitratabbauvermögen.

Aus der Gesamtheit der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ergibt sich jedoch folgende flächenhafte Modellvorstellung, die schematisch in Abbildung 0-1 in einem Profilschnitt durch das Hessische Ried dargestellt ist.

In nitrateintragsgefährdeten Gebieten der Stufe 1 überlagern sich mehrere ungünstige Faktoren:

- Die sich aus Flugsanden entwickelten sandigen, kohlenstoffarmen Böden weisen bei hohen Flurabständen eine geringe Denitrifikationsleistung auf, so dass Nitrat-

Konzentrationen teilweise deutlich über 50 mg/l in das Grundwasser eingetragen werden (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

- Im Abstrom dieser Gebiete wird das nitratbelastete Grundwasser in einer meist oberflächennahen Grundwasserströmung mit relativ hohen Fließgeschwindigkeiten oberhalb der oberen Tonschicht nach Westen transportiert. Aufgrund der hydraulischen Bedingungen ist die Nitratfracht, die die nur lückenhaft verbreitete obere Tonschicht durchströmt, vergleichsweise gering (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).
- Die Ergebnisse der Methoden 1 bis 4 zeigen konsistent, dass der aus Flugsanden bestehende GWL ein geringes Nitratabbauvermögen mit niedrigen C_{org} -Gehalten (und fehlenden oder nur geringen Sulfid-/Disulfid-Gehalten) aufweist (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Entlang der Fließstrecke findet deswegen kaum autolithotropher Nitratabbau statt. Der heterotrophe Nitratabbau erfolgt aufgrund niedriger reaktiver C_{org} -Vorräte und der relativ hohen Fließgeschwindigkeit unvollständig, so dass Nitratkonzentrationen > 50 mg/l im Grundwasserleiter oberhalb der oberen Tonschicht vorherrschen. Die in der oberen Tonschicht ggf. vorhandenen Nitratabbaupotenziale werden aufgrund der geringen Nitratfracht, die die obere Tonschicht durchströmt, kaum erschlossen.

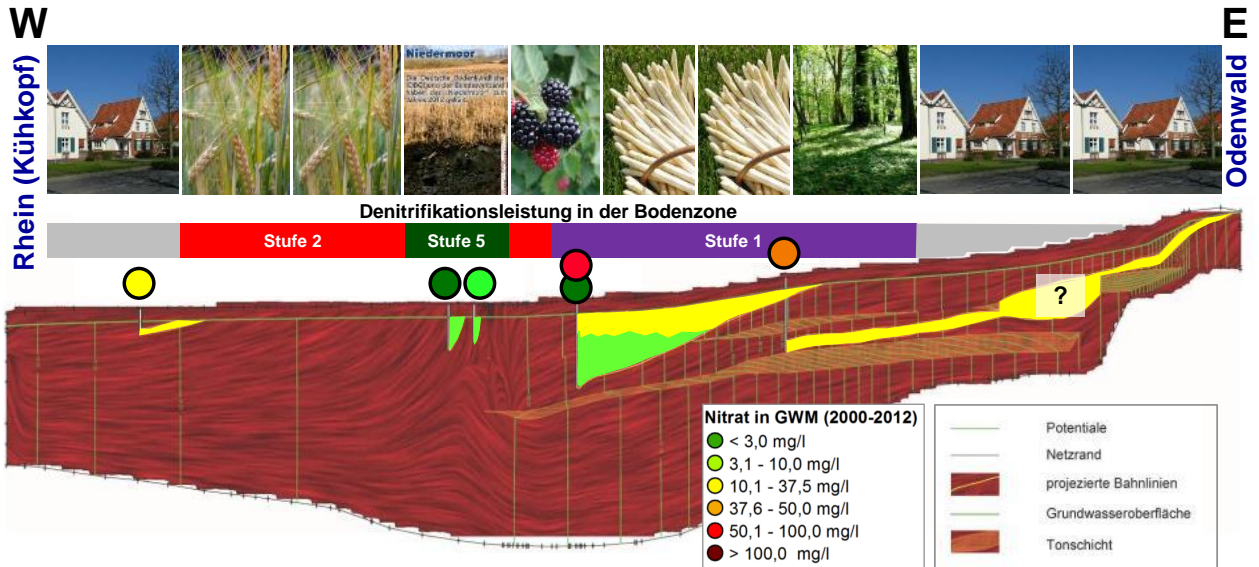


Abbildung 0-1: Schematischer Profilschnitt durch einen Grundwasserkörper im Hessischen Ried zwischen Odenwald im Osten und dem Zustrom zum Rhein im Westen. Die Nitrat-Konzentrationen an ausgewählten GWM lässt sich aus der Flächennutzung, der Denitrifikationsleistung im Boden, der dreidimensionalen Grundwasserströmung sowie dem verfügbaren Nitratabbauvermögen (hell-grün: Nitratabbauvermögen vorhanden; gelb: Nitratabbauvermögen weitgehend aufgezehrt) im Anstrom der Messstellen erklären.

Auch unter nitrateintragsgefährdeten Gebieten höherer Stufen werden die erhöhten Nitrat-Einträge gebietsweise nicht oder nur unvollständig abgebaut.

- Bei gegenwärtigen N-Flächenbilanzüberschüssen werden auch unter nitrateintragsgefährdeten Gebieten der Stufe 2 bis 5 zu erwarten, dass Nitrat-Konzentrationen > 50 mg/l in das Grundwasser eingetragen werden (Kapitel **Fehler!** **Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).
- Unter nitrateintragsgefährdeten Gebieten der Stufe 2 bis 5 ist die obere Tonschicht im GWL nicht oder nur lückenhaft verbreitet. Die Grundwasserströmung im Abstrom weist u.a. wegen der Förderung der Wasserwerke eine stärkere Vertikalkomponente auf, so dass nitratbelastetes Grundwasser verstärkt in größere Tiefen transportiert wird. In den austragsgefährdeten Gebieten in Rheinnähe herrscht dagegen eine oberflächennahe Grundwasserströmung vor.
- Entlang der tieferen Fließpfade stehen sekundär gebildete Sulfid-/Disulfid-Phasen an, die mit einer relativ hohen Reaktivität zu einem weitgehend vollständigen autolithotrophen Nitratabbau führen (Kapitel **Fehler!** **Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Außerdem sind aufgrund der Ablagerungsgeschichte inhomogen C_{org} -reiche

Ablagerungen des Alt-Neckars in Sedimente des Rheins eingeschaltet, die zu einem heterotrophen Nitratabbau beitragen können.

- Entlang der oberflächennahen Fließpfade sind die Abbaupotenziale durch die jahrzehntelang hohen Nitrateinträge oberflächennah gebietsweise aufgezehrt, so dass entlang bestimmter Stromröhren kein oder nur ein unvollständiger Nitratabbau im GWL stattfindet und erhöhte Nitrat-Konzentrationen im Abstrom gemessen werden.

Diese Projektergebnisse machen deutlich, dass im Abstrom der Risikogebiete

- entweder keine oder nur geringe Nitratabbaupotenziale zur Verfügung stehen,
- diese teilweise kleinräumig heterogen im Ried verteilt sind bzw. in geringdurchlässigen Ton-/Schluffschichten kaum durchströmt werden und
- insbesondere im Bereich oberflächennaher Grundwasserströmung bereits teilweise aufgezehrt sind.

Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand lassen sich flächenhaft keine nitrateintragsgefährdeten Gebiete abgrenzen, die nicht als Risikogebiete anzusehen sind, weil in deren Abstrom durch ein hohes Nitratabbauvermögen eine dauerhafte Unterschreitung des Nitrat-Schwellenwertes von 50 mg/l über den Zeithorizont der WRRL gewährleistet wäre. Die abgegrenzten nitrateintragsgefährdeten Gebiete sind deswegen flächenhaft als Risikogebiete anzusehen. Die Nitrat-Einträge im Sickerwasser sind durch Umsetzung geeigneter N-Minderungsmaßnahmen auf ein Maß zu verringern, das auch ohne Inanspruchnahme des ggf. lokal vorhandenen Nitratabbauvermögens die Erreichung und dauerhafte Erhaltung des guten chemischen Zustandes erlaubt.

Die **maximal tolerierbaren N-Flächenbilanzüberschüsse** lassen sich auf Grundlage der Denitrifikationsleistung in der Bodenzone und der Grundwasserneubildung abschätzen; sie dürfen nicht überschritten werden, um Nitrat-Einträge von < 50 mg/l im Sickerwasser zu erreichen und damit auch ohne Inanspruchnahme des nur gebietsweise vorhandenen und über bestimmte Zeiträume erschöpflichen Nitratabbauvermögens im GWL eine Nitrat-Konzentration von < 50 mg/l im Grundwasser zu gewährleisten.

Schlussfolgerungen

Aus den durchgeführten Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

1. Konzeptionelle Modellvorstellung im Hessischen Ried

Die Grundwasserkörper im Hessischen Ried weisen eine kleinräumig heterogene und hydrochemisch geschichtete Grundwasserbeschaffenheit auf. Die entwickelte konzeptionelle Modellvorstellung (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) kann die kleinräumig heterogene und tiefendifferenzierte Nitrat-Belastung aus der Flächennutzung, den Bodeneigenschaften, der Infiltration von Fließgewässern, der Grundwasserströmung und dem Stofftransport sowie dem in Teilbereichen stattfindenden Nitratabbau im GWL vollständig beschreiben. Die erarbeitete Modellvorstellung kann zur Planung und Optimierung von Maßnahmenprogrammen eingesetzt werden.

2. Lokalisierung nitrateintragsgefährdeter Gebiete

In Anlehnung an die Vorgehensweisen von Kuhr et al. (2011), LBEG (2008), Schnittstelle Boden (2009) und HLUG (2013) lassen sich landwirtschaftlich genutzte Flächen abgrenzen, von denen auch bei Einhaltung der zulässigen N-Bilanzsalden gemäß DüV wegen einer geringen Denitrifikationsleistung in der Bodenzone (Denitrifikationsstufen 1 und 2) und/oder einer hohen Nitrataustragsgefährdung u.a. durch kurze Verweilzeit des Sickerwassers in der Bodenzone (NAG-Stufen 4 und 5; auf Böden mit geringer Denitrifikationsstufe 3 auch NAG-Stufe 3) erhöhte Nitrat-Einträge > 50 mg/l in den GWL zu erwarten sind. Die abgegrenzten Gebiete umfassen mit 28.742 ha einen Großteil (88 %) der landwirtschaftlich genutzten Flächen im Hessischen Ried (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Abbildung 0-1). Wegen der kleinräumig heterogenen Bodeneigenschaften sollten die abgegrenzten Flächen nicht schlagscharf interpretiert werden, sondern regional bewertet werden. Die vorgenommene Abgrenzung wurde anhand von Messwerten oberflächennah verfilterter GWM als plausibel bewertet, jedoch sollte die Abgrenzung insbesondere der Stufen 3 bis 5 mit Hilfe von Sickerwasseranalysen validiert werden.

3. Niedermoor- und Anmoorböden mit geogenen N-Freisetzungspotenzialen

Aufgrund ihrer hohen Humusgehalte speichern Niedermoor- und Anmoorböden hohe Stickstoffgehalte. Solange diese Böden ganzjährig unter Grundwassereinfluss stehen, zeichnen sie sich durch ein hohes Denitrifikationspotenzial und geringe Stickstoffeinträge in das Grundwasser aus. Bei zwischenzeitlicher Belüftung (z.B. durch Grundwasserabsenkung) oder Bearbeitung dieser Böden können aber hohe

Nitratfrachten freigesetzt werden. Durch N_2/Ar -Messungen konnte belegt werden, dass unter Niedermoorböden im Anstrom der GWM 12681 bei Grundwasserniedrigständen in den 1980er Jahren sehr hohe Nitrat-Konzentrationen (248,8 mg/l) in das Grundwasser eingetragen wurden.

4. Wirkzeitraum der WRRL-Maßnahmenprogramme

Stoffeinträge unter landwirtschaftlich genutzten Flächen weisen Verweilzeiten in der ungesättigten Bodenzone von wenigen Jahren bis einigen Jahrzehnten auf. Durch die begonnene Umsetzung der WRRL-Maßnahmenprogramme können bis Ende 2015 nur unter höchstens 17 % der Flächen messbare Verbesserungen der Nitratbelastung im Grundwasser erwartet werden, selbst unter der idealisierten Annahme, dass unmittelbar in 2012 eine signifikante Bewirtschaftungsänderung dauerhaft etabliert werden konnte. Unter der gleichen Annahme sind auf ca. 61 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen Verbesserungen bis zum Ablauf der einmaligen Fristverlängerung Ende 2021 und auf weiteren ca. 13 % bis zum Ablauf der zweimaligen Fristverlängerung Ende 2027 denkbar. Unter Berücksichtigung der Trägheit des Systems Bodenbewirtschaftung - Sickerwasser sind vom Beginn des Angebotes spezifischer Beratungen und standortgerechter Förderprogramme über die Etablierung von Bewirtschaftungsänderungen bis zur Verminderung der Nitratauswaschung aus der Wurzelzone weitere Reaktionszeiten von mehreren Jahren einzukalkulieren (HMUELV 2006). Es ist damit absehbar, dass trotz der derzeit umgesetzten Maßnahmenprogramme die Erreichung des guten chemischen Zustandes aller fünf GWK im Hessischen Ried aufgrund der durch die natürlichen Gegebenheiten bestimmten langen Verweilzeiten auch bis Ende 2027 als unwahrscheinlich einzustufen ist (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

5. Bestimmung der Eintragsgebiete im Anstrom von Grundwassergütemessstellen

Die Strömungsberechnungen an über 50 GWM haben gezeigt, dass die Fließwege und Fließzeiten im Grundwasser und damit auch das potenzielle Stoffeintragsgebiet der GWM mit stationären Grundwassermodellrechnungen bestimmt werden kann, die unter verschiedenen repräsentativen hydraulischen Randbedingungen durchgeführt wurden. Es ergab sich generell aus den grundwasserhydraulischen und geochemischen Modellrechnungen ein schlüssiges Bild.

Generell betragen die Fließzeiten bei flach verfilterten GWM ($FOK \leq 10$ m u. GWO) im oberen Grundwasserleiter ≤ 15 Jahre und die Fließstrecken sind kürzer als 1 km. In den tiefen Aquiferbereichen ($FOK \geq 30$ m u. GWO) betragen die Fließstrecken im Allgemeinen einige Kilometer und die Fließzeiten über 50 Jahre. Bei Durchströmung der

Tonschichten wurden Fließzeiten von mehr als 100 Jahren berechnet. Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass für das Strömungsgeschehen im Untersuchungsgebiet die wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen maßgeblich sind, insbesondere die Grundwasserförderung und die Infiltration in das Grundwasser. Die durch Förderung und Infiltration bedingte Schwankungsbreite der Fließzeiten und Fließstrecken im Grundwasser kann bei tief verfilterten Grundwassermessstellen einige Jahrzehnte bzw. Kilometer betragen.

6. Nitratabbauvermögen im Grundwasserleiter

Die in das Grundwasser eingetragenen Nitratfrachten werden in Teilbereichen des Grundwasserleiters durch autolithotrophe und/oder heterotrophe Denitrifikation abgebaut. Die angewendeten vier Methoden (Stoffflussmodellierung, Festphasenanalytik, Screeningmethode mit Redoxprofilmessungen sowie N_2/Ar - und Isotopenmessungen) erlauben lokal eine Charakterisierung und Quantifizierung des Nitratabbauvermögens im Grundwasserleiter. Es konnten Eintragsgebiete lokalisiert werden, in deren Abstrom kein oder nur ein unvollständiger Nitratabbau im GWL stattfindet, aber auch Neubildungsgebiete abgegrenzt werden, in deren Abstrom bereits in den obersten Metern des GWL ein vollständiger Nitratabbau zu beobachten ist. Die Untersuchungsergebnisse aller vier Methoden bestätigen konsistent, dass u.a. die abgelagerten Flugsande über ein geringes Abbauvermögen verfügen. Bei den gegenwärtigen Nitrat-Einträgen wird das Nitratabbauvermögen als endliche Ressource im Grundwasserleiter in relevanten Raten aufgezehrt, so dass im Zeithorizont der WRRL insbesondere im oberflächennahen Grundwasserleiter mit einem Nachlassen des Nitratabbauvermögens gerechnet werden muss.

7. Nitratabbauvermögen der Oberen und Unteren Tonschicht

Bohrkernproben der oberen Tonschicht zeigen in Laborversuchen ein hohes Nitratabbauvermögen (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Strömungsberechnungen bestätigen, dass in Abhängigkeit von der hydraulischen Situation der Obere Ton mit einer Durchsickerungsrate von ca. 30 mm/a durchströmt wird (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In Bezug auf die Grundwasserneubildung im Verbreitungsgebiet der Tonhorizonte wird jedoch deutlich, dass nur ein Anteil von ca. 10 – 20 % der Grundwasserneubildung den Oberen, und davon nur ein Anteil von ca. 25 – 40 % den Unteren Ton durchströmt. Ein Großteil der mit dem Sickerwasser eingetragenen Nitrat-Frachten umströmt die Tonschichten, ohne mit dem vorhandenen Abbaupotenzial der Tonschichten reagieren zu können. Das in den Tonschichten vorhandene Nitratabbauvermögen kann somit nur zu einem

vergleichsweise geringen Nitratabbau im GWL beitragen. Laborexperimente mit Bohrkernproben der oberen Tonschicht zeigen zudem, dass neben der Oxidation von Pyrit zusätzlich Sulfat durch Auflösung von Sulfat-haltigen Phasen freigesetzt wird, die die in einigen GWM beobachteten hohen Sulfat-Konzentrationen erklären.

8. Ammonium-Belastung

Ammonium kann als Indikator für Nitrat-reduzierende Verhältnisse im GWL verwendet werden. Ammonium-Konzentrationen $> 0,375$ mg/l (75 % des Ammonium-Schwellenwertes) treten vor allem im Abstrom infiltrierender Bäche auf, in deren stark reduzierender hyporheischen Zone Nitrat bis zu Ammonium reduziert wird bzw. Ammonium-Belastungen aus abwasserbelasteten Fließgewässern infiltriert. In GWM mit nachgewiesenem Nitratabbau werden ebenfalls erhöhte Ammonium-Konzentrationen gemessen, jedoch meist im Konzentrationsbereich von 0,01 bis $< 0,375$ mg/l. Der Ammonium-Eintrag aus Ammonium-haltigen Düngemitteln wird nicht flächenhaft beobachtet, kann aber auf Teilflächen nicht ausgeschlossen werden.

9. Lokalisierung von Risikogebieten im Hessischen Ried

Als Risikogebiete im Hessischen Ried wurden flächenhaft alle nitrateintragsgefährdeten Gebiete abgegrenzt (Abbildung 0-1). Weitere Risikogebiete sind Gebiete mit landwirtschaftlich genutzten Flächen, die hohe bis sehr hohe N-Flächenbilanzüberschüsse über 60 kg/ha aufweisen, da unter diesen Flächennutzungen selbst bei guten bis sehr guten Denitrifikationsbedingungen in der Bodenzone Nitrat-Einträge > 50 mg/l zu erwarten sind. Zu diesen Flächen zählen insbesondere die Landnutzungen zum Erwerbsgartenbau und Sonderkulturanbau, die aufgrund ihrer spezifischen Randbedingungen erfahrungsgemäß mit wesentlich höheren N-Bilanzüberschüssen verbunden sind, sowie weitere Flächen, die aus der WRRL-Beratungspraxis als Flächen mit erhöhten N-Bilanzsalden gekennzeichnet werden können. Gebiete mit geogenen Freisetzungspotenzialen sind unabhängig von ihrer Nutzung ebenfalls als Risikogebiete zu behandeln und durch geeignete Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Vernässung und einer verträglichen Bodenbearbeitung vor Mineralisierung zu schützen und damit die Freisetzung hoher Nitrat- und Sulfat-Frachten zu verhindern.

Die Abgrenzung der Risikogebiete ist unabhängig von der Verfügbarkeit eines ggf. lokal vorhandenen Nitratabbauvermögens im GWL anzusehen, da im Abstrom der nitrateintragsgefährdeten Gebiete

- entweder keine oder nur geringe Nitratabbaupotenziale zur Verfügung stehen,

- das Nitratabbauvermögen teilweise kleinräumig heterogen im Ried verteilt ist bzw. in geringdurchlässigen Ton-/Schluffschichten kaum durchströmt wird und
- das Nitratabbauvermögen insbesondere im Bereich oberflächennaher Grundwasserströmung bereits teilweise aufgezehrt ist und die Aufzehrung bei den gegenwärtigen Nitrat-Einträgen im Zeithorizont der WRRL weiter voranschreiten wird.

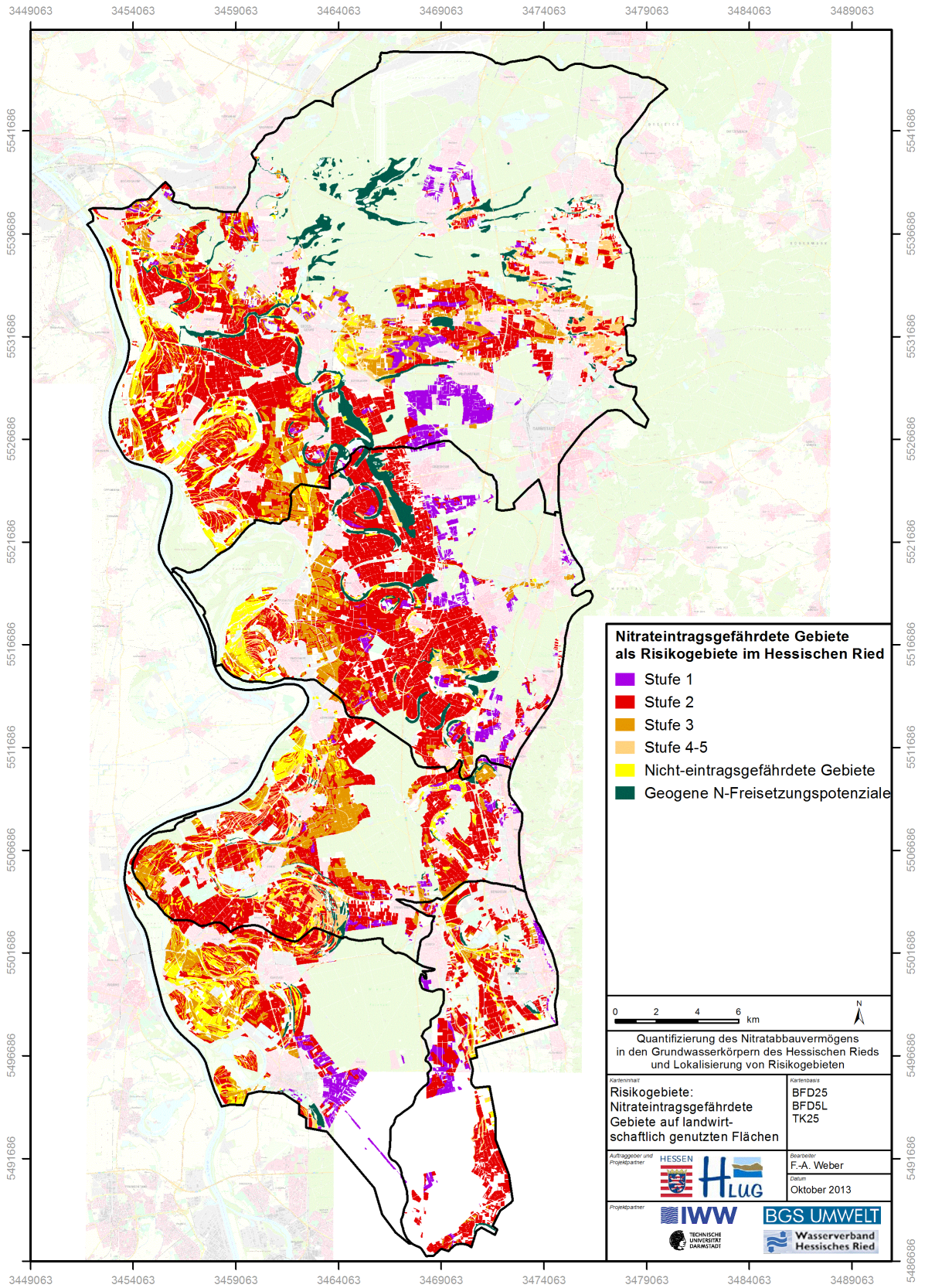


Abbildung 0-1: Nitrateintragsgefährdete Gebiete als Risikogebiete im Hessischen Ried.

Empfehlungen

1. Es wird empfohlen, die **Umsetzung der WRRL-Maßnahmenprogramme** zur Minderung der Nitrat-Einträge auf den als Risikogebiete abgegrenzten Flächen zu intensivieren. N-Minderungsmaßnahmen sollten demnach in allen nitrateintragsgefährdeten Gebieten, in den mit intensivem Erwerbsgartenbau und Anbau von Sonderkulturen gekennzeichneten Landnutzungsgebieten sowie in weiteren Gebieten erfolgen, die in der WRRL-Beratungspraxis als Flächen mit wiederholt sehr hohen N-Bilanzsalden $>> 60 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ gekennzeichnet sind. Mit dieser flächenhaften Umsetzung der Minderungsmaßnahmen sollte das Ziel verfolgt werden, die Nitrat-Einträge auch auf den Flächen zu minimieren, in deren Abstrom bislang (noch) ein Nitratabbau im GWL stattfindet, um den guten chemischen Zustand der Grundwasserkörper auch ohne Inanspruchnahme des endlichen und nur in Teilbereichen vorhandenen Nitratabbauvermögens zu erreichen und dauerhaft zu erhalten. Böden mit geogenen N-Freisetzungspotenzialen sind unabhängig von ihrer Nutzung ebenfalls als Risikogebiete zu behandeln und durch geeignete Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Vernässung (z.B. durch landwirtschaftliche Beregnung und Bewässerung) und einer verträglichen Bodenbearbeitung vor Degradation/Mineralisierung zu schützen. Es wird empfohlen, für die abgegrenzten Risikogebiete differenzierte Maßnahmen von der Beratung über wirksame Anreize in Form von gewässerschutzorientierten Agrarumweltmaßnahmen bis ggf. zur Vorgabe von Bewirtschaftungsmaßnahmen und -verboten zu entwickeln und zu etablieren.
2. Weiterhin wird empfohlen, in den Gebieten, in denen infolge der Trägheit des Systems Bodenbewirtschaftung – Sickerwasser (ungesättigte Zone) aufgrund der natürlichen Gegebenheiten mit langen Verweilzeiten eine **Zielerreichung** der Bewirtschaftungsziele bis 22. Dezember 2015 unwahrscheinlich ist, eine **Fristverlängerung** nach § 47(2) i.V.m. § 29(3) WHG zu beantragen. Bei der Abgrenzung der Gebiete, für die Fristverlängerungen nach § 47(2) i.V.m. § 29(3) WHG zu beantragen sind, sind neben der theoretischen Verweilzeit in der ungesättigten Zone auch weitere Reaktionszeiten von mehreren Jahren einzukalkulieren, um den realistisch erforderlichen Zeitraum vom Beginn des Angebotes spezifischer Beratungen und standortgerechter Förderprogramme über die Etablierung von Bewirtschaftungsänderungen bis zur Verminderung der Nitratauswaschung aus der Wurzelzone darzustellen. Gebiete, in denen aufgrund sehr langer Verweilzeiten und der o.g. weiteren Reaktionszeiten des Systems Bodenbewirtschaftung – Sickerwasser (ungesättigte Zone) eine Zielerreichung auch nach

zweimaliger Fristverlängerung bis 2027 nicht zu erwarten ist, sollten weitere Verlängerungen nach § 47(2) i.V.m. § 29(3) WHG in Betracht gezogen werden.

3. Die im Rahmen des vorliegenden Projektes abgegrenzten nitrateintragsgefährdeten Gebiete sollten durch ein **weitergehendes Monitoring der Bodenzone** an ausgesuchten Standorten (Langzeitbeobachtungsflächen, ausgewählte Leitbetriebe) überprüft und verfeinert werden. In Feldmessungen sollte in Kombination mit N_{\min} -Untersuchungen sowohl die Bodenhydraulik als auch die hydrochemischen Denitrifikationsprozesse in der Bodenzone zu verschiedenen Zeitpunkten (Witterung, Fruchtfolgen benachbarter Ackerflächen, Bewirtschaftungspraxis, Bewässerung) durch in situ-Messungen und die Entnahme von Sickerwasserproben mittels Saugkerzen hochaufgelöst verfolgt werden. Die Ergebnisse des Monitorings der Bodenzone sollten dazu genutzt werden, Erfolge bei der Umsetzung der Maßnahmenprogramme bereits in der Bodenzone zu erfassen und zu steuern, lange bevor sie zeitverzögert - bedingt durch die Verweilzeit des Sickerwassers in der Bodenzone und der Fließzeit im GWL – ggf. an den Überwachungsmessstellen im Grundwasser nachgewiesen werden können. Die Felduntersuchungen können auch vertiefte Kenntnisse darüber liefern, wie sich Bewirtschaftungsänderungen auf die chemische Zusammensetzung der Sickerwässer auswirken, um damit in Szenarienrechnungen den notwendigen Umfang und die damit verbundenen Kosten von Maßnahmenprogrammen abschätzen zu können, die für die Erreichung des guten chemischen Zustandes der GWK umzusetzen sind.
4. Bei der Bewertung des Zustandes der GWK ist zu beachten, dass auch im Anstrom der **WRRL-Überwachungsmessstellen** ein partieller Nitratabbau im GWL stattfindet, also die Nitratbelastung an der Grundwasseroberfläche z.T. höher ist als in den Überwachungsmessstellen festgestellt wird. Ein unerwarteter Anstieg der gemessenen Nitrat-Konzentrationen in den Überwachungsmessstellen sollte deswegen differenziert bewertet werden: Ein Anstieg der Nitrat-Konzentrationen muss nicht zwangsläufig auf eine unzureichende Umsetzung der N-Minderungsmaßnahmen hindeuten, sondern könnte mit einem Nachlassen des Abbauvermögens im Anstrom der Überwachungsmessstelle erklärt werden. Erhöhte Ammonium-Konzentrationen können auf Nitratabbauvorgänge im Anstrom der Messstellen hindeuten.
5. Neben der Auswertung der Ammonium-Konzentrationen wird empfohlen, Untersuchungen zur **N_2/Ar -Methode**, ggf. auch die Bestimmung der Sulfat-Schwefelisotopie, in das Untersuchungsprogramm insbesondere in WRRL-Überwachungsmessstellen aufzunehmen, um die Nitrateintragssituation und Abbauprozesse im Anstrom der Messstellen unabhängig von einem ggf. nachlassenden Nitratabbauvermögen im GWL zu überwachen. Derartige Untersuchungen werden auch

zur Bewertung und Optimierung der WRRL-Maßnahmenprogramme in Messstellen des Maßnahmenträgers empfohlen, um z.B. im Abstrom ausgewählter Leitbetriebe eine Erfolgskontrolle durchgeführter Maßnahmen zu gewährleisten.

6. Ein **Nachlassen des Nitratabbauvermögens** und eine zunehmende Oxidation des Grundwasserleiters kann auch Einfluss auf die Mobilität anderer redoxsensitiver Stoffe (z.B. Uran, Arsen und Chrom), aber auch Einfluss auf das Abbauverhalten organischer Spurenstoffe ausüben. Es wird empfohlen, das Nitratabbauvermögen in weiteren Kernbohrungen mittels Festphasenanalytik zu untersuchen, um die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten ersten Bestandsaufnahme zur Verbreitung und zum Fortschreiten der Zehrung des Nitratabbauvermögens im Hessischen Ried weiter zu verbessern.
7. Die **Repräsentativität aller WRRL-Überwachungsmessstellen** sollte anhand der mit dem Grundwasserströmungsmodell berechneten Anstromverhältnisse und Neubildungsgebiete überprüft werden. Überwachungsmessstellen, die primär die diffusen Stoffeinträge aus landwirtschaftlicher Flächennutzung erfassen sollen, sollten im Abstrom repräsentativer nitrateintragsgefährdeter Gebiete möglichst an der Grundwasseroberfläche verfiltert sein, um die Effizienz eingeleiteter Maßnahmenprogramme frühzeitig bewerten und ggf. optimieren zu können.
8. Es wird empfohlen, in einem **übergeordneten Monitoringkonzept für das Hessische Ried** die vorhandenen Grundwassermessstellen aller Betreiber anhand ihrer Lage und des Ausbaus auf ihre Eignung als repräsentative Qualitätsmessstellen zu überprüfen. Es wird davon ausgegangen, dass das Messstellennetz bereichsweise um geeignete GWM zu ergänzen ist. Für repräsentative GWM sollten Steckbriefe erstellt werden, in denen die Gütemesswerte im Hinblick auf die Anstromverhältnisse, die Flächennutzung und die Bodeneigenschaften im Eintragsgebiet (NAG-Klassen und Denitrifikationsleistung des Bodens) bewertet und das zu untersuchende Parameterspektrum und die Untersuchungshäufigkeit im Hinblick auf ein prozessorientiertes Monitoring optimiert werden.