

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl [3712 23 250]
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

Verminderung der Nitratbelastung des Grundwassers

von

Dipl.-Ing. Luise Keller

Prof. Dr. Frank Wendland

Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Abschlussdatum [März 2016]

Kurzbeschreibung

Der gute chemische Zustand des Grundwassers nach EU-Wasserrahmenrichtlinie wird zum Ende des ersten Bewirtschaftungszyklus (Ende 2015) in ca. 36% der Grundwasserkörper Deutschlands verfehlt, wobei in der Mehrzahl der betroffenen Grundwasserkörper die Nitratbelastung ein Problem darstellt. Für diese Grundwasserkörper wurden von den Bundesländern Maßnahmenprogramme entwickelt. Zudem wurden Ausnahmeregelungen (Fristverlängerungen bis zur Erreichung des guten Zustandes) in Anspruch genommen. Im zweiten Bewirtschaftungszeitraum (bis Ende 2021) sind die Mitgliedstaaten der EU weiterhin aufgefordert, den guten Zustand zu erreichen und die eingeleiteten Maßnahmen fortzusetzen und ggf. durch zusätzliche Maßnahmen zu ergänzen. Vor dem Hintergrund zu erwartender Nachfragen der EU-Kommission über die Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie und der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland wurden in diesem Vorhaben für alle Grundwasserkörper, bei denen der gute chemische Zustand aufgrund der Nitratbelastung bis Ende 2015 vermutlich nicht erreicht wird, Fakten und Hintergrundinformationen zusammengestellt sowie die Gründe für die Zielverfehlung analysiert. Hierzu wurden von den Bundesländern Informationen zu verschiedenen Schlüsselfragen eingeholt, die Aussagen über die konkreten Zielvorgaben, die hydrogeologischen Randbedingungen und die Wirksamkeit der Maßnahmenprogramme erlauben. In diesem Zusammenhang wurden bundesweite GWK-bezogene Auswertungen vorgenommen und Übersichtskarten erstellt. Obwohl die Vorgehensweise hierbei nicht in allen Bundesländern gleich war, wurden bereits regionale Unterschiede und mögliche Vorranggebiete für ergänzende Maßnahmenprogramme (Hot-Spot-Gebiete) erkennbar. Zur Gewährleistung einer länderübergreifenden Vergleichbarkeit wird der Aufbau einer bundesweit konsistenten Dokumentationsmethode und die Einführung bzw. kontinuierliche Weiterführung eines einheitlichen Bezugszeitraums empfohlen. Dies wird als Voraussetzung angesehen, um auf bundesweit konsistenter Grundlage Entwicklungen bei der Zielerreichung im zweiten Bewirtschaftungszeitraum (bis Ende 2021) zu dokumentieren.

Abstract

The good chemical status of groundwater according to the EU Water Framework Directive (EU-WFD) will not be achieved end of 2015 for ca. 36% of all groundwater bodies in Germany. Most of the groundwater bodies concerned display nitrate concentrations above the EU-threshold value (50 mg/l), so that corresponding program of measures have been developed by the Federal German States. Additionally, exceptional rules foreseen in the EU-WFD (prolongation of deadline until good status will be reached) have been made use of. The obligation to reach status of groundwater will be continued in the second EU-WFD cycle, i.e. until the end of 2021. This includes the continuation of the implemented program of measures and the introduction of complementary measures if applicable. The project was initiated against the background of anticipated inquiries of the EU commission with regard to the implementation of the EU Nitrate Directive and the EU-WFD in Germany. For all groundwater bodies not achieving good status until the end of 2015, facts and background information were compiled and the reasons for failing good status analyzed. For this purpose information related to key-questions concerning targets, hydrogeologic site conditions and the efficiency of implemented program of measures was gathered on the Federal State level. In this context evaluations were performed on the level of groundwa-

ter bodies and the related results were presented as generalized German-wide maps. Although the procedures applied in the Federal States displayed some differences possible „hot-spot areas“, i.e. priority areas for the continuation of the implemented program of measures and the introduction of complementary measures, could be identified. In order to guarantee a State-wide comparability the compilation of a German-wide consistent method to document developments is recommended. Same implies for the introduction and the long-term continuation of a uniform geographical reference system. Both aspects are regarded as a prerequisite to document consistently developments with regard to achieving the groundwater targets in the second EU-WFD cycle (until the end of 2021).

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	8
Zusammenfassung.....	9
Summary	16
1 Hintergrund und Zielsetzung.....	23
2 Vorgehensweise	26
3 Zustandsbewertung GWK.....	29
4 N-Einträge in den Boden	30
5 Naturräumliche Bedingungen und N-Umsatzprozesse im Boden.....	36
6 Zulässige (auswaschungsgefährdete) N-Mengen:.....	52
7 Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verminderung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse	60
8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	66
9 Quellenverzeichnis	71

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 1:	Konzeptkarte zur Lage der Grundwasserkörper in Deutschland, die wegen zu hoher Nitratgehalte 2009 nicht im guten Zustand waren (BMU, 2010). Einstufung anhand der WasserBLICK-Daten (Stand: November 2012) sowie aktueller Angaben der Länder Bayern und Mecklenburg-Vorpommern	27
Abb. 2 1:	Grundlegende Systematik des Abfragewerkzeugs zur länderübergreifenden Analyse der Gründe für die Verfehlung des guten chemischen Zustands nach EU-Wasserrahmenrichtlinie in Grundwasserkörpern aufgrund der Nitratbelastung	29
Abb. 4 1:	Wesentliche Größen zur Ermittlung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden	33
Abb. 4 2:	Häufigkeitsverteilung des N-Bilanzüberschusses der Landwirtschaft im Boden in den GWK in schlechtem Zustand	34
Abb. 4 3:	Landwirtschaftliche N-Bilanzüberschüsse in den GWK in schlechtem Zustand	35
Abb. 4 4:	Häufigkeitsverteilung der atmosphärischen Deposition in den GWK in schlechtem Zustand	37
Abb. 4 5:	Atmosphärische N-Deposition in den GWK in schlechtem Zustand	38
Abb. 5 1:	Häufigkeitsverteilung des Denitrifikationspotenzials in den GWK in schlechtem Zustand	39
Abb. 5 2:	Denitrifikationspotenzial in den GWK in schlechtem Zustand	40
Abb. 5 3:	Häufigkeitsverteilung der zusätzlichen N-Umwandlung in den GWK in schlechtem Zustand wegen zu hoher Nitratbelastungen	42
Abb. 5 4:	Netto-N-Umwandlungsprozesse im Boden in den GWK in schlechtem Zustand	43
Abb. 5 5:	Schematische Gegenüberstellung von Sickerwasserbildung und Grundwasserneubildung	44
Abb. 5 6:	Häufigkeitsverteilung der Sickerwasserraten in den GWK in schlechtem Zustand	45
Abb. 5 7:	Mittlere langjährige Sickerwasserrate in den GWK in schlechtem Zustand	46
Abb. 5 8:	Schematische Darstellung der Fließstrecken im durchwurzelten Bodenbereich, den Grundwasserdeckschichten sowie im Grundwasserleiter (Profilschnitt in Anlehnung an http://www.gd.nrw.de/a_pjschg1.htm)	47
Abb. 5 9:	Häufigkeitsverteilung der Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich der GWK in schlechtem Zustand	48
Abb. 5 10:	Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich der GWK in schlechtem Zustand	49

Abb. 5 11:	Häufigkeitsverteilung der Fließzeiten im Grundwasser bis Vorflutereintritt für die GWK in schlechtem Zustand	51
Abb. 5 12:	Fließzeiten des Grundwassers bis zum Eintritt in den Vorfluter in den GWK im schlechten Zustand	52
Abb. 6 1:	Parameter zur Ermittlung der Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone	55
Abb. 6 2:	Häufigkeitsverteilung der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Mengen in den Böden der GWK in schlechtem Zustand	56
Abb. 6 3:	Maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden zur Gewährleistung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von < 50 mg/l in den GWK in schlechtem Zustand	57
Abb. 6 4:	Häufigkeitsverteilung des N-Minderungsbedarfs in den Böden der GWK in schlechtem Zustand	58
Abb. 6 5:	N-Minderungsbedarf in den Böden der GWK in schlechtem Zustand wegen Nitrat zur Erreichung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von < 50 mg/l	59
Abb. 7 1:	Umsetzungsgrad der eingeleiteten Maßnahmen (entsprechend Frage 4 bzw. 5) zur Verminderung des landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschusses in den einzelnen GWK	60

Tabellenverzeichnis

Tab. 6 1:	Effekt unterschiedlicher Gebietskulissen auf die Höhe des ausgewiesenen N-Minderungsbedarfs zur Sicherstellung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l	58
Tab. 6 2:	Beispiel für die Sensitivität der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von der Sickerwasserhöhe	60
Tab. 7 1:	Die acht wichtigsten N-Minderungsmaßnahmen nach Osterburg & Runge (2007), deren N-Minderungspotential und Anzahl der GWK im schlechten Zustand, in denen die Maßnahmen umgesetzt worden ist	63

Abkürzungsverzeichnis

EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
EU-WFD	EU-Water Framework Directive
EU-WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GWK	Grundwasserkörper
GWB	Groundwater body
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

Zusammenfassung

Zu Beginn des ersten Bewirtschaftungsplans der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000) waren in Deutschland 267 Grundwasserkörper (GWK) aufgrund ihrer hohen Nitratbelastung in einem schlechten chemischen Zustand. In diesen GWK waren geeignete Maßnahmenprogramme durchzuführen, um bis zum Ende des ersten Bewirtschaftungszeitraums den guten chemischen Zustand wieder herzustellen. Ende 2015 war die Zahl der Grundwasserkörper, die aufgrund ihrer Nitratbelastung im schlechten chemischen Zustand sind, nur geringfügig kleiner. Für diese GWK haben die Bundesländer Ausnahmeregelungen (Fristverlängerungen bis zur Erreichung des guten Zustandes) in Anspruch genommen. Auch im nächsten Bewirtschaftungszeitraum (2016–2021) der EU-WRRL sind die Mitgliedstaaten der EU weiterhin aufgefordert, einen guten chemischen und mengenmäßigen Zustand zu erreichen. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass die EU-Kommission die Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie und der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland kritisch hinterfragen wird.

Ziel des UFO-Plan-Vorhabens 3712 23 250 „Verminderung der Nitratbelastung des Grundwassers“ war es deswegen, ein Instrument zu schaffen, mit dem Fortschritte des Bundes und der Länder bei der Umsetzung der EU-WRRL im Hinblick auf die Verminderung der Nitratbelastung des Grundwassers auch gegenüber der EU-Kommission dokumentiert werden können.

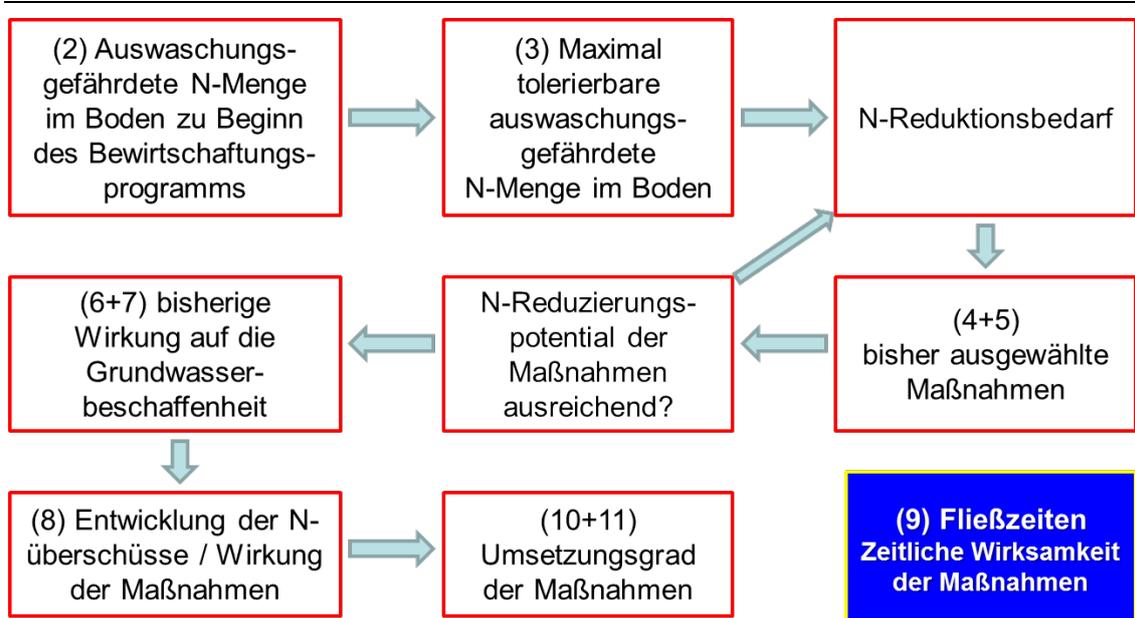
Es ist unstrittig, dass hohe Stickstoffausträge aus dem Boden dafür verantwortlich sind, dass die Nitratkonzentration im Grundwasser den Schwellenwert von 50 mg/l übersteigen kann. Es sollte deswegen nicht nur die Entwicklung der Nitratgehalte im Grundwasser dokumentiert werden, sondern auch die eingeleiteten Maßnahmen und deren (potentielle) Wirkungen auf die Stickstoffausträge aus dem Boden. Zusätzlich sollte auch aufgezeigt werden, welche Gründe für die „Zielverfehlung“ verantwortlich sind und wie die Maßnahmenprogramme des 2. Bewirtschaftungsplans optimiert werden könnten.

Im Rahmen des Vorhabens wurde hierzu eine wissenschaftlich begründete Methodik entwickelt, mit der bei den Bundesländern wichtige Indikatoren abgefragt wurden (siehe Abbildung A), mit denen der Fortschritt und die Wirksamkeit der Maßnahmenprogramme beurteilt werden kann.

Das Abfrage- und Bewertungskonzept basierte auf der Vorgabe, dass bereits im Sickerwasser eine Nitratkonzentration von 50 mg/l (als Bemessungsgröße) nicht überschritten werden sollte. Nur so kann dauerhaft sichergestellt werden, dass auch im Grundwasser der EU-weit geltende Schwellenwert von 50 mg/l eingehalten werden kann. Ein Teil der Indikatoren zielte daher auf konkrete, für Grundwasserkörper quantifizierbare Größen ab, wie z.B. die Höhe der Stickstoffüberschüsse, die Sickerwasserrate und die Verweilzeiten.

Der Fragebogen wurde Ende 2012 und mit Ergänzungen im Frühjahr 2014 an alle Bundesländer verschickt. Die von den Bundesländern zur Verfügung gestellten Daten wurden für jeden GWK erfasst und statistisch ausgewertet. Der Rücklauf des Fragebogens zeigte, dass es in 13 Bundesländern GWK gibt, die aufgrund hoher Nitratbelastungen in einem schlechten Zustand sind.

Abbildung A: Grundlegende Systematik des Abfragewerkzeugs zur länderübergreifenden Analyse der Gründe für die Verfehlung des guten chemischen Zustands nach EU-Wasserrahmenrichtlinie in Grundwasserkörpern aufgrund der Nitratbelastung



Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden diesen Angaben in Übersichtskarten dargestellt. Im ersten Schritt sollte für alle nitratbelasteten GWK die auswaschungsgefährdete Stickstoffmenge im Boden erfasst werden. Diese Größe ergibt sich im Wesentlichen aus dem landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschuss, der atmosphärischen N-Deposition, der Denitrifikation (mikrobieller Nitratabbau) sowie aus weiteren N-Umwandlungsprozessen im Boden. Hierzu zählen die Mineralisation (Freisetzung von pflanzenverfügbarem N) oder Immobilisierung (Einbau von N in die organische Bodensubstanz). Im Hinblick auf diese Größen zeigten die Rückläufe aus den Bundesländern folgendes Bild:

- ▶ Landwirtschaftliche N-Bilanzüberschüsse wurden in der Regel mit Hilfe der N-Flächenbilanzmethode ermittelt. Nicht für alle GWK in schlechtem Zustand waren aber entsprechende Angaben verfügbar bzw. ableitbar, da sich die Daten teilweise auf Flussgebiete oder Verwaltungseinheiten bezogen und nicht auf einzelne GWK. Hinzu kamen unterschiedliche Bezugszeiträume. Die landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse der GWK liegen zwischen ca. 10 und 140 kg/(ha·a), wobei Werte über 60 kg/(ha a) vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auftreten. Nach Süden und nach Osten nimmt die Höhe der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse dagegen ab und liegt häufig unter 40 kg/(ha·a).
- ▶ Für die atmosphärische N-Deposition wurden überwiegend Werte nach Gauger (2002) für den Zeitraum 2004 – 2007 verwendet, zum Teil aber auch Daten früherer Perioden sowie EMEP-Daten. Die ausgewiesenen Werte sind deswegen zum Teil nicht konsistent zueinander. Werte von über 35 kg/(ha·a) treten vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auf. Die hohen Werte stehen dort vor allem in Zusammenhang mit hohen Viehbesatzdichten und entsprechend hohen N-Ausgasungen. Nach Süden und Osten nimmt die Höhe der atmosphärischen Deposition in den GWK im schlechten Zustand ab und liegt häufig unter 20 kg/(ha·a).

- ▶ Im Hinblick auf die Abschätzung der Denitrifikationspotentiale im Boden zeigte sich, dass für eine Reihe von GWK bislang keine diesbezüglichen Abschätzungen vorgenommen worden sind. Für die GWK, für die diese Prozesse abgeschätzt wurden, sind die ausgewiesenen Werte aufgrund ähnlicher Berechnungsansätze aber vergleichbar. Mit der größten Häufigkeit treten Denitrifikationspotenziale zwischen 10 und 20 kg/(ha·a) auf. Werte von über 30 kg/(ha·a) finden sich vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands.
- ▶ Im Hinblick auf die Abschätzung weiterer N-Umwandlungsprozesse im Boden zeigte sich, dass die ausgewiesenen Werte für die GWK, für die diese Prozesse überhaupt abgeschätzt wurden, eine Spannweite zwischen ca. minus 90 kg/(ha·a) (Immobilisierung von N) und plus 75 kg/(ha·a) (Freisetzung von N) aufweisen. Wahrscheinlich sind die großen Unterschiede methodisch bedingt.

Um die Nitratkonzentration im Sickerwasser ermitteln zu können, muss zusätzlich die Sickerwasserhöhe ermittelt werden. Im Hinblick auf diese Größe zeigten die Rückläufe aus den Bundesländern folgendes Bild:

- ▶ Sickerwasserraten wurden zwar für alle GWK ermittelt, jedoch wurden hierfür unterschiedliche Berechnungsmethoden eingesetzt. Somit sind die ausgewiesenen Werte nicht GWK-übergreifend vergleichbar. Trotz dieser Einschränkung zeigen sich aber bereits aus den vorliegenden Daten mit Sickerwasserraten zwischen < 100 mm/a und > 500 mm/a große räumliche Unterschiede. Geringe Sickerwasserhöhen treten vor allem in GWK in den östlichen Bundesländern auf.

Im nächsten Schritt wird berechnet, wie hoch der N-Austrag aus dem Boden maximal sein darf, um in den GWK den Schwellenwert von 50 mg/l Nitrat einhalten zu können. Hierfür erfolgt eine "Rückwärtsrechnung", bei dem die Sickerwasserrate, das Denitrifikationspotenzial im Boden und die weiteren N-Umwandlungsprozesse im Boden als konstant angenommen werden. Im Hinblick auf diese Größe zeigten die Rückläufe aus den Bundesländern folgendes Bild:

- ▶ In den Ländern, in denen eine Abschätzung der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden vorgenommen wurde, erfolgte dies methodisch recht einheitlich, so dass die ausgewiesenen Werte vergleichbar sind. Die Werte der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Mengen liegen zwischen weniger als 40 und mehr als 140 kg/(ha·a). Für die überwiegende Mehrheit der GWK werden Werte zwischen 40 und 80 kg/(ha·a) angegeben. Generell nehmen die Werte nach Süden und nach Osten hin ab und übersteigen dort nur selten 50 kg/(ha·a).

Aus der Differenz zwischen der aktuellen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden und der maximal zulässigen N-Menge im Boden lässt sich der N-Minderungsbedarf ermitteln. Im Hinblick auf diese Größe zeigten die Rückläufe aus den Bundesländern folgendes Bild:

- ▶ Der N-Minderungsbedarf im Boden der einzelnen GWK liegt zwischen 0 und 90 kg/(ha·a). Mit der größten Häufigkeit tritt ein N-Minderungsbedarf von weniger als 20 kg/(ha·a) auf. Werte von über 60 kg/(ha·a) treten vor allem in Grundwasserkörpern im Nordwestteil Deutschlands auf. Die hohen Werte stehen dort vor

allem in Zusammenhang mit einer Kombination aus hohen landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüssen, hohen N-Einträgen durch die atmosphärische Deposition und geringen Denitrifikationspotenzialen im Boden.

Sowohl die maximal tolerierbare N-Menge im Boden, als auch der N-Minderungsbedarf wurden zwar methodisch recht einheitlich, nicht aber für alle GWK bestimmt. Zudem zeigte sich, dass es keine länderübergreifend abgestimmte Gebietskulisse zur Ermittlung beider Größen gibt. Während einige Bundesländer z.B. die Einbeziehung aller landwirtschaftlich genutzten Flächen eines GWK bevorzugten, favorisierten andere Bundesländer die ausschließliche Einbeziehung der landwirtschaftlich genutzten Flächen eines GWK mit Minderungsbedarf. Dort, wo sich der ausgewiesene N-Minderungsbedarf auf alle landwirtschaftlich genutzte Fläche eines GWK bezieht, ist der berechnete mittlere N-Minderungsbedarf deutlich geringer als in Grundwasserkörpern, in denen sich diese Berechnung nur auf einen ausgewählten Teil aller landwirtschaftlich genutzten Flächen bezieht.

Der landwirtschaftliche N-Bilanzüberschuss ist die einzig sinnvolle Steuergröße zur Reduktion der auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden. Der ausgewiesene N-Minderungsbedarf muss daher vorwiegend durch landwirtschaftliche Maßnahmen erbracht werden. Beispiele für solche Maßnahmen sind z.B. der Zwischenfruchtanbau, der Einsatz grundwasserschonender Ausbringungstechnik für Gülle und Gärsubstrate und die Grünlandextensivierung. Um abzuschätzen, ob die erforderliche N-Minderung potentiell durch die eingeleiteten Maßnahmen erreicht werden kann, wurde für jeden GWK ermittelt, welche Maßnahmen bisher durchgeführt worden sind.

Über einen Vergleich des ermittelten N-Minderungsbedarfs mit dem N-Minderungspotential der im jeweiligen GWK eingeleiteten Maßnahmen sollte abgeschätzt werden, ob die Grundwasserbelastung in den betroffenen GWK auf unter 50 mg/l gesenkt werden kann. Der Flächenanteil in einem GWK, auf dem diese Maßnahmen umgesetzt wurden, ist in diesem Zusammenhang eine wichtige Zusatzinformation, die mit abgefragt wurde. Die Rückläufe aus den Bundesländern haben diesbezüglich gezeigt:

- ▶ Eine Vielzahl von Maßnahmen wird in den GWK länderübergreifend einzeln oder in Kombination eingesetzt. Dabei kommen auch zusätzliche, in der Regel länder-spezifische Maßnahmen zur Anwendung.
- ▶ Informationen/Erfahrungswerte zum Reduzierungspotenzial der N-Minderungsmaßnahmen liegen vor, aber pauschale Aussagen zu deren Effizienz im Hinblick auf die Zielerreichung in einem konkreten GWK waren nicht möglich, da die regionalen Standortbedingungen (Boden, Witterung etc.) in den einzelnen GWK die erzielten Effekte maßgeblich beeinflussen.
- ▶ Für die meisten GWK fehlen ausreichende Angaben über die Flächen, auf denen die Maßnahmen konkret umgesetzt wurden.

Danach wurde abgefragt, in welchen GWK die Maßnahmen bereits dazu geführt haben, dass die GWK wieder einen guten chemischen Zustand erreicht haben oder zumindest eine Trendumkehr festgestellt werden kann. Es zeigte sich:

- ▶ Dass 19 GWK wieder einen guten chemischen Zustand erreicht haben, während dies für 116 GWK verneint wurde. Für die übrigen 132 GWK wurden entweder

keine Angaben gemacht oder es wurde konstatiert, dass die Wirksamkeit der Maßnahmen im Hinblick auf eine Veränderung des Zustands der GWK schwer abschätzbar sei.

- ▶ Nur für 6 der 116 GWK, für die der Übergang vom schlechten in den guten chemischen Zustand nicht erreicht wurde, wurde ein fallender Trend ausgewiesen. In 5 dieser GWK wurden dagegen steigende Trends festgestellt. Zu den übrigen GWK wurden qualitative Einschätzungen abgegeben (z.B. „überwiegend fallende Trends“ oder „uneinheitliche Trends“).

Die eingeleiteten Bewirtschaftungsmaßnahmen haben bislang nur in wenigen GWK dazu geführt, dass wieder ein guter chemischer Zustand erreicht wurde oder aber fallende Trends festgestellt wurden.

Um wieder einen guten chemischen Zustand zu erreichen, sind in der EU-Wasserrahmenrichtlinie Fristen vorgegeben worden (Bewirtschaftungszeiträume von jeweils 6 Jahren). Es ist allerdings bekannt, dass die Aufenthaltszeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone (durchwurzelte Bodenzone und Grundwasserdeckschichten) und die Fließzeiten im Grundwasserleiter teilweise Jahre und Jahrzehnte betragen können. Wird also das Ziel (guter chemischer Zustand) innerhalb eines Bewirtschaftungszeitraums nicht erreicht, könnte dies auch auf lange Verweil- und Fließzeiten zurückzuführen sein und nicht auf unsachgemäß oder mangelhaft durchgeführte N-Minderungsmaßnahmen.

Die Abfrage bei den Bundesländern hat ergeben, dass bisher nur für einen Teil der GWK Verweilzeiten und Fließzeiten ermittelt worden sind. In den Ländern, die solche Ermittlungen vorgenommen haben, erfolgte dies methodisch zudem nicht einheitlich.

- ▶ Die mittleren Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich und in den Grundwasserdeckschichten liegen für viele GWK zwischen 1 und 5 Jahren, bei einigen GWK aber mehr als 10 Jahren.
- ▶ Für fast 2/3 der GWK, für die Fließzeiten ausgewiesen worden sind, ergeben sich Fließzeiten von weniger als 25 Jahren. Die Fließzeiten können aber auch 50 Jahren und mehr betragen.
- ▶ Für keinen GWK konnten von den Bundesländern Fließ- bzw. Verweilzeiten für alle drei Kompartimente (Boden, Deckschichten, Grundwasser) zur Verfügung gestellt werden.

Die ermittelten Fließ- bzw. Verweilzeiten sind ein Hinweis darauf, dass N-Minderungsmaßnahmen sich in vielen GWK voraussichtlich erst mit einem Zeitverzug von 1 bis 2, zum Teil aber auch erst nach 3 oder mehr, Bewirtschaftungszyklen anhand der Nitratkonzentrationen im Grundwasser bemerkbar machen werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich die bislang vorliegenden Fließzeiten in der Mehrzahl aller Fälle auf die Fließzeiten des Grundwassers im Grundwasserleiter bis zum Vorflutereintritt beziehen. Um die Notwendigkeit einer Fristverlängerung – ggf. auch über das Jahr 2027 hinaus - gegenüber der EU-Kommission vertreten zu können, sind genaue Angaben der Verweilzeiten im Boden und in den Grundwasserdeckschichten, d.h. bis zur Grundwasseroberfläche, erforderlich. Gegebenenfalls ist diese Angabe durch eine Berechnung der Fließzeit im Grundwasserleiter bis zur Messstelle zu ergänzen.

Basierend auf den vorliegenden Daten kann derzeit nicht eindeutig belegt werden, dass Deutschland die EU-WRRL bzw. die Nitratrichtlinie ausreichend umsetzt und in absehbarer Zeit den guten chemischen Zustand des Grundwassers im Hinblick auf den Parameter Nitrat erreichen wird. Es gibt zwar eine Reihe von GWK, für die ausreichend Daten vorliegen, für diese GWK lässt sich häufig aber keine signifikante Verminderung der Nitratbelastung nachweisen. Daneben gibt es aber auch eine große Zahl von GWK, bei denen die Datenlage so unzureichend ist, dass entsprechende Bewertungen nicht durchgeführt werden konnten.

Empfehlungen:

Es ist davon auszugehen, dass die EU-Kommission auch weiterhin eine Dokumentation der Fortschritte bei der Erreichung des guten chemischen Grundwasserzustands einfordern wird. Daher wird eine kontinuierliche Weiterführung und Weiterentwicklung der Datenerfassung und Auswertung empfohlen. Eine Reihe von Bundesländern sehen einen Bedarf, die hier erfassten Informationen länderübergreifend systematisch zu dokumentieren und regelmäßig fortzuschreiben. Ein bundesweit einheitlicher Erhebungszeitraum und eine einheitliche Erhebungsmethode sind in diesem Zusammenhang notwendig. Im Hinblick auf das Abfragewerkzeug, mit dem bei den Bundesländern wichtige Kernindikatoren abgefragt wurden (siehe Abbildung A), gibt es eine Reihe von konkreten Empfehlungen zur Weiterführung und Weiterentwicklung. Damit die ausgewiesenen Werte der auswaschunggefährdeten Nitratmenge im Boden zukünftig bundesweit GWK-übergreifend vergleichbar sind, wird empfohlen:

- ▶ eine Harmonisierung bei der Ermittlung landwirtschaftlicher N-Bilanzüberschüsse im Hinblick auf die Erhebungsmethode, den Bezugszeitraum und die räumliche Bezugseinheit (GWK) vorzunehmen,
- ▶ den Bezugszeitraum für die Einbeziehung der N-Depositionsraten zu harmonisieren. Idealerweise sollte der Bezugszeitraum der Modellierung der atmosphärischen Deposition an den Bezugszeitraum der Modellierung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse angepasst werden.
- ▶ die Berechnungsansätze für die Abschätzung der Höhe der Denitrifikation und vor allem der zusätzlichen N-Umwandlung im Boden abzugleichen.

Damit die abgeleiteten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und die hieraus abgeleiteten Größen (maximal zulässiger N-Überschuss im Boden und N-Minderungsbedarf) zukünftig bundesweit GWK-übergreifend vergleichbar sind, wird empfohlen:

- ▶ die Berechnungsansätze zur Ermittlung der Sickerwasserrate abzugleichen.
- ▶ eine einheitliche hydrologische Referenzperiode festzulegen.

Für die Auswahl geeigneter N-Minderungsmaßnahmen ist die Bestimmung der maximal zulässigen auswaschunggefährdeten N-Menge sowie des N-Minderungsbedarfs im Boden ein sehr wichtiges Kriterium.

- ▶ Um eine GWK-übergreifende Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird eine bundesweite Anwendung des Berechnungsansatzes zur Ermittlung der maximal zulässigen auswaschunggefährdeten N-Menge im Boden und des N-Minderungsbedarfs empfohlen.

- ▶ Aufgrund der großen Auswirkungen der gewählten Gebietskulisse wird ein länderübergreifender Abgleich bei der Festlegung von Gebietskulissen empfohlen.

Die größten Wissensdefizite bestehen hinsichtlich der in den GWK umgesetzten N-Reduzierungsmaßnahmen und hinsichtlich der Flächen, auf denen die Maßnahmen konkret umgesetzt werden. Es sind eine Vielzahl von Verbesserungen und Konkretisierungen erforderlich, um belegen zu können, dass die durchgeführten Maßnahmen ausreichend und effektiv sind, um die Ziele der WRRL und der Nitratrichtlinie erreichen zu können. Es wird empfohlen:

- ▶ Für jeden GWK eine Dokumentationsgrundlage zur länderübergreifend konsistenten Erfassung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse sowie der umgesetzten Maßnahmen und deren Umsetzungsgrad aufzubauen.
- ▶ Eine GWK-spezifische Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verminderung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse durchzuführen.
- ▶ Eine langfristige Erfassung und Auswertung der einzelbetrieblichen N-Bilanzen und deren Zusammenfassung zu GWK-spezifischen Bilanzen vorzunehmen, um die Entwicklung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse für die GWK zu ermitteln, die aufgrund ihrer hohen Nitratbelastung in einem schlechten chemischen Zustand sind.
- ▶ Längere Zeiträume (ca. 6 Jahre) zu betrachten, um aussagekräftige Trends zu ermitteln. Nur so lassen sich Effekte, die durch Klimaschwankungen oder Fruchtfolgen verursacht werden, minimieren.

Die Verweil- und Fließzeiten in den einzelnen GWK geben Hinweise darauf, ab wann eine Maßnahme Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit (abnehmende Nitratkonzentration) haben kann. Deswegen sollten:

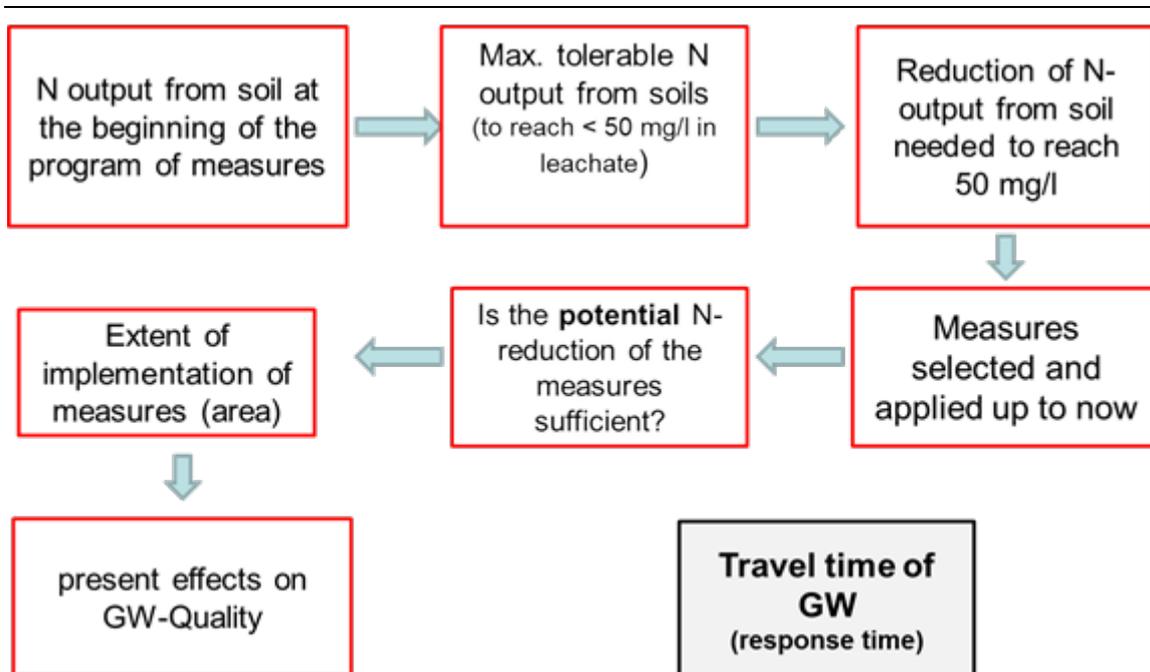
- ▶ die Verweil-/Fließzeiten nach einheitlichen Methoden ermittelt werden.
- ▶ die Verweilzeiten im Boden und den Grundwasserdeckschichten, d.h. bis zur Grundwasseroberfläche, ermittelt werden.
- ▶ ggf. auch mittlere Fließzeiten im GWK sowie die Fließzeiten von der Grundwasseroberfläche bis zu Beobachtungsmessstellen im GWK ermittelt werden.

Summary

At the beginning of the first management period of the EU-Water Framework Directive (EU-WFD, 2000) ca. 27% of all groundwater bodies (GWB) in Germany were not in good status due to nitrate concentrations exceeding the groundwater quality target (50 mg/l). In these groundwater bodies programs of measures have been implemented with the aim to reach good quality status until the end of the first management period of EU-WFD. End of 2015 however, still ca. 25% of all GWB displayed nitrate concentrations in groundwater above 50 mg/l so that the groundwater quality target was failed. For the groundwater bodies concerned derogations, i.e. prolongations until good quality status will be reached, have been made use of. In the next management period (2016–2021) of the EU-WFD the EU member states are requested to continue working on reaching the good quality status. It can be expected that the EU commission will continue to demand for documentations showing the progress with regard to the implementation of the EU-Nitrates Directive and the EU-WFD in Germany and the reaching of the good quality status in the groundwater bodies concerned respectively.

Against this background, it was the overall objective of the UFO-Plan-project 3712 23 250 “Reducing the nitrate pollution of groundwater” to develop a scientifically based query to document the progress towards achieving the groundwater quality goals uniformly across all German groundwater bodies not in good status (see figure A).

Figure A: Basic systematics of the query tool to analyze the reasons for failing good quality status of groundwater bodies due to nitrate pollution across the Federal German states



There isn't any doubt, that high N-outputs from soils are the main reason for exceeding the groundwater quality target of 50 mg NO₃/l. Therefore, the concept of the query tool was based on the assumption, that the nitrate concentration in the leachate of the groundwater

bodies failing good quality status shouldn't exceed 50 mg/l, so that the nitrate concentration in groundwater will be in any case in compliance with the quality target for groundwater. Accordingly, the query included one hand questions concerning a set of 'core indicators', e.g. agricultural N-balance surpluses, leachate rates and residence times, which can be quantified on the groundwater body level, and on the other hand questions to document the implemented measures and their potential (expected) impact with regard to the N output from soils. Additionally, questions concerning the reasons for failing the groundwater quality target as well as a compilation of proposals for improving the program of measures for the second management period of the EU-WFD were included.

The query was distributed to the Federal German States in 2012 and with some substantive additions again in 2014. Provided that values for the core-indicators have been made available by the Federal States, a statistical analysis across the groundwater bodies has been performed. The return flow of the queries has shown that GWB not in good status occur in 13 Federal States. For the GWB concerned German-wide overview maps have been compiled for every parameter in order to illustrate the general situation in Germany.

The first part of the query tool concerned parameters relevant for determining the actual displaceable N-surplus in soils, i.e. the agricultural N-balance surplus, the atmospheric N-deposition, the denitrification in soil and further N-transformation processes like mineralization (release of plant available N) or immobilization (incorporation of N in the organic soil substance). The return of the query revealed the following situation for these parameters:

- ▶ Agricultural N-balance surpluses have in general been determined based on the N-area balance method. However, data was not available (or derivable) for all GWB, as the N-balance surpluses were related to other geographical reference units, predominantly administrative units (e.g. communities). Additionally, the agricultural N-balances have been determined for various reference periods across the Federal States. In the groundwater bodies concerned, the values range between ca. 10 and 140 kg/(ha·a); values above 60 kg/(ha a) occurred most of all in the groundwater bodies in the North-Western part of Germany. In the Southern and Eastern part of Germany, the agricultural N-balance surpluses are in general less pronounced, i.e. below 40 kg/(ha·a).
- ▶ Atmospheric N-deposition was derived for most groundwater bodies based on values quantified by Gauger (2002) for the period 2004 – 2007. However, as also data from earlier reference periods or EMEP data have been used for a couple of groundwater bodies, the values are not consistent across Germany. Values above 35 kg/(ha·a) occur predominantly in groundwater bodies in the North-Western part of Germany and are related to the high livestock numbers and the correspondingly high N-volatilization rates in this region. To the South and to the East the atmospheric N-deposition decreases and doesn't exceed 20 kg/(ha·a) in most groundwater bodies.
- ▶ Denitrification potentials in soils have not been assessed for all groundwater bodies so far. When assessed however, comparable approaches have been used, so that the documented values are comparable. The range of denitrification potentials is about 50 kg/(ha·a); denitrification potentials between 10 and 20 kg/(ha·a) appear with highest frequency though.

- ▶ With regard to the assessed further N-transformation processes in soils the query reveals a great range of values between ca. -90/kg(ha·a) (N-immobilization) und 75kg/(ha·a) (N-mineralization). Probably this big range is a result of the different methodologies used.

The leachate rate is indispensable for determining the nitrate concentration in the leachate. The return of the query showed the following situation across the groundwater bodies concerned:

- ▶ Leachate rates have been assessed for all groundwater bodies. However, as different methodologies and reference periods have been used, the leachate rates are not consistent to each other. Despite this limitation, the wide range of values between < 100 mm/a und > 500 mm/a gives an indication of the considerable hydrological differences across the groundwater bodies in Germany. Lowest leachate rates prevail above all in the eastern German States.

Subsequently, the maximal tolerable N-output from soils to guarantee a nitrate concentration in the leachate of 50 mg/l is determined. This is done by means of a backward calculation assuming that the percolation water rate, the denitrification rate and the further N-transformation process in soil remain constant. In this case the nitrate concentration in the leachate is determined by the agricultural N-balance surplus in the soil exclusively. The return of the query revealed the following situation for this parameter:

- ▶ The maximal tolerable N-output from soils to guarantee a nitrate concentration in the leachate of 50 mg/l ranged between less than 40 and more than 140 kg/(ha·a), whilst most of the groundwater bodies showed values between 40 and 80 kg/(ha·a). In general the values decreased from North to South and from West to East, where the values hardly exceed 50 kg/(ha·a).

The N-reduction requirement is determined as the difference between the actual N output from soil and the maximal tolerable N-output from soil for guaranteeing a nitrate concentration in the leachate of 50 mg NO₃/l. The return of the query showed the following situation across the groundwater bodies concerned:

- ▶ The N-reduction requirement in the individual groundwater bodies ranges between 0 und 90 kg/(ha·a); highest frequency is observed in the range <20 kg/(ha·a). Regionally, values above 60 kg/(ha·a) occur predominantly in groundwater bodies in the North-western part of Germany and are the consequence of a combination of high agricultural N-balance surpluses, high atmospheric N inputs and low denitrification potentials in soil.

Both parameters, the maximal tolerable N-output from soils and the N-reduction requirement, have been assessed based on comparable approaches for all groundwater bodies so that the documented values are comparable. However, the parameters have not been assessed for all groundwater bodies. Moreover, there is no agreement about the spatial reference for the determination of both parameters. Whereas some Federal states prefer the consideration of all agriculturally used areas in a groundwater body, other Federal states prefer the exclusive consideration of the agriculturally used areas for which an N-reduction requirement is indicated. Consequently, the determined N-reduction requirement for

the same GWB will be lower in case all agriculturally used areas are included in the averaging, whereas the determined N-reduction requirements will be higher in case only the agriculturally used areas showing an N reduction requirement are considered.

The agricultural N-balance surplus can be regarded as the key determinant of the displaceable N-surplus in soil and the nitrate concentration respectively. Accordingly, the N-reduction requirement has to be provided to a considerable extent by agricultural measures. Examples for measures with a well-known potential to reduce agricultural N-balance surpluses include the waive to apply organic fertilizer after harvesting, the cultivation of catch crops, the use of improved manure application technics, the extensivisation of grassland and the promotion of extensive cultures.

In order to evaluate if the necessary N-reduction can potentially be achieved the measures implemented in a groundwater body have been enquired. Comparing the determined N-reduction requirement in soils with the N-reduction potential of the implemented measures allows for an approximate estimation with regard to the achievement of the quality target for nitrate (50 mg/l in the leachate). The portion of agricultural land in a groundwater body, where measures have been implemented is additional information of high importance in this regard. The return of the query showed the following situation across the groundwater bodies not in good status:

- ▶ A variety of measures has been applied individually or in combination throughout the groundwater bodies not in good status, it remained unclear however which measure or combination of measures have been implemented.
- ▶ Empirical values concerning the N-reduction potential of a measure were documented, concrete values of the N-reduction achieved by a measure in a groundwater body were lacking to a great extent however as the regional site conditions (e.g. soil, climate) influencing the efficiency of the measures were not assessed.
- ▶ For many groundwater bodies, the extent of agricultural areas where measures have been implemented was unclear.

Subsequently the query addressed the effect of N reduction measures with regard to changes in both, groundwater quality status and trends:

- ▶ An improvement of groundwater quality status has been proved for 19 groundwater bodies, whereas no status improvement was observed for 116 groundwater bodies. For the remaining 132 groundwater bodies changes in the quality status were not indicated.
- ▶ For 6 GWB out of the 116 GWB showing no status improvement “falling trends” in nitrate concentrations have been observed, whereas “raising trends” were indicated for 5 of these GWB. Qualitative assessments like “predominantly falling trend” or “uneven trend” have been made for all other groundwater bodies.

Consequently it must be stated, that the implementation of N-reduction measures had a positive effect (i.e. reaching good quality status or at least falling trends) in a small number of groundwater bodies only so far.

The EU-water framework directive imposes deadlines for reaching good status (management periods of 6 years). It is well known however, that the residence times of the leachate in the unsaturated zone (soil and groundwater covering layers) and the travel times in

groundwater may be in the range of years and decades. Accordingly, it cannot be excluded that the non-reaching of good status after the first EU-water framework management period is not due to an improper or inadequate implementation of N reduction measures, but long residence and travel times in the underground.

The return of the query has shown that residence times in the unsaturated zone and travel times in the aquifers have not been assessed for all groundwater bodies. Additionally, the approaches applied and by this the determined values were not comparable across all groundwater bodies:

- ▶ The residence times in soil and the groundwater covering layers range in many GWB between 1 and 5 years, but may exceed 10 years in some GWB.
- ▶ Travel times in groundwater of less than 25 years have been determined for almost 2/3 of all GWB. However, travel times of 50 years and more may occur in some GWB.

The assessed residence and travel times indicate that the impact of N-reduction measures on declining nitrate concentrations may be detectable in many groundwater bodies after 1 or 2 management periods of the EU-WFD only. In some groundwater bodies the time lag is even bigger and comprises 3 or even more management periods.

The residence time assessment in the soils and the groundwater covering layers are indispensable in order to justify towards the EU-commission the need for prolonging the deadline to reach good quality status, It should be emphasized here, that the documented travel times in groundwater are related to the receiving recipients and not to the groundwater observation wells used for the groundwater quality status assessment. Therefore, the residence time assessment in groundwater may be complemented by a compilation of the residence times for the groundwater monitoring wells.

The data sets evaluated across the groundwater bodies in Germany didn't provide conclusive evidence that Germany is on the way to implement the EU-nitrates directive and EU-water framework directive adequately. On one hand there are a number of groundwater bodies, whose documentation with regard to the key parameters of the query is still inadequate, so that corresponding evaluations can't be done at all. On the other hand there are a number of groundwater bodies, for which sufficient data is available. For these groundwater bodies however, no significant improvements of groundwater quality status or declining nitrate concentrations have been observed.

Recommendations:

It can be expected that the EU commission will continue asking for documentations showing the progress with regard to reaching the good qualitative status of groundwater in the second management period of EU-WFD (i.e. until the end of 2021) and beyond. A continuous and appropriate further development of the query can be regarded as a prerequisite to document and update systematically the related data and information. For this purpose a uniform temporal reference period and a uniform geographical reference should be agreed upon by the Federal States. Same implies for the methodologies applied for data collection and evaluations across the Federal states.

The return from the Federal States suggests a number of concrete recommendations for enhancing the query. With regard to the key parameters aiming at determining the N-output from soil a harmonization appears to be appropriate, including:

- ▶ Harmonized methodologies to assess agricultural N-balance surpluses across all Federal States as well as a uniform reference period and a uniform spatial reference (groundwater body) for data collection
- ▶ A harmonized reference period for assessing atmospheric N deposition; ideally, the reference period for gathering the N-deposition data should be adapted to the reference period for documenting the agricultural N-balance surpluses.
- ▶ Harmonized methodologies to assess denitrification rates in soil and -most of all- the additional N-conversion (immobilization, mineralization) in soil.

In order to guarantee that the determined nitrate concentrations in the leachate and the derived parameters (maximal tolerable N-surplus in soils and N reduction need) will be consistent across Germany, we recommend:

- ▶ Harmonized methodologies to assess leachate rates
- ▶ a uniform hydrologic reference period for quantifying leachate rates.

The maximal tolerable N-surplus in soil and the related N-reduction requirement respectively are very important reference values for the implementation of adequate and regional adapted N-reduction measures.

- ▶ In order to guarantee that these parameters will be derived consistently across Germany, a German-wide agreement with regard to the basic methodology is recommended.
- ▶ The spatial reference units for quantifying both parameters on the level of groundwater bodies (i.e. agricultural areas showing N-reduction need vs. all agriculturally used areas) should be harmonized across Germany.

The biggest knowledge gap still exists with regard to the concrete N-reduction measures applied in the groundwater bodies and with regard to the areas within a groundwater body where these measures have been applied. A wide range of improvements and concretizations are regarded as essential in order to indicate that the N-reduction measures applied in the groundwater bodies are adequate and effective in order to reach the targets of the EU-water framework directive and nitrates directive:

- ▶ A consistent documentation scheme applicable for all groundwater bodies not in good status should be developed; this includes specifications with regard to the assessment of agricultural N-balance surpluses, the N-reduction measures implemented and the areas where such measures have been applied.
- ▶ A groundwater body specific assessment of the effects of concrete N-reduction measures with regard to the agricultural N-balance surpluses is recommended.
- ▶ In order to document the long-term reduction of the agricultural N-balance surpluses a centralized documentation and evaluation of the regionalized N-balances on the level of groundwater bodies is recommended.
- ▶ In order to determine conclusive trends for the effect monitoring it is recommended to consider longer time periods (at least 5-10 years). Only in this way

changes in the agricultural N balance surpluses due to crop rotation or climate variations can be excluded.

The residence and travel times assessed indicate the time periods which have to be taken into account until a positive effect of implemented N reduction measures on groundwater quality (declining nitrate concentrations) may be detectable.

- ▶ The residence times in the soil and the groundwater covering layers should be assessed across all groundwater bodies based on harmonized approaches. .
- ▶ If applicable the travel time assessments in groundwater –actually predominantly only assessed for the travel times until a surface water is reached- should be complemented by a determination of the average travel times in a GWB and the travel times for the catchments of groundwater monitoring wells.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Entsprechend den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000) und der EU-Grundwasserrichtlinie (EU-GWRL, 2006) wurden für Grundwasserkörper (GWK), die sich in einem schlechten Zustand befinden oder bei denen die Gefahr besteht, dass sie im Jahr 2015 nicht im guten Zustand sind, Maßnahmenprogramme entwickelt. Danach wird der gute chemische Zustand des Grundwassers bis 2015 für 267 von insgesamt 990 GWK trotz der eingeleiteten Maßnahmenprogramme aufgrund der Nitratbelastung verfehlt. Abb. 1-1 zeigt die Lage der GWK und Betrachtungsräume in Deutschland, die wegen zu hoher Nitratgehalte 2009 nicht im guten Zustand waren (im Folgenden: GWK in schlechtem Zustand).

Für die Grundwasserkörper, die den guten chemischen Zustand bis 2015 aufgrund einer hohen Nitratbelastung verfehlen, wurden von den Bundesländern Ausnahmeregelungen (Fristverlängerungen bis zur Erreichung des guten Zustandes) in Anspruch genommen. Im nächsten Bewirtschaftungszeitraum (2016–2021) der EU-Wasserrahmenrichtlinie sind die Mitgliedstaaten der EU weiterhin aufgefordert, den guten Zustand zu erreichen.

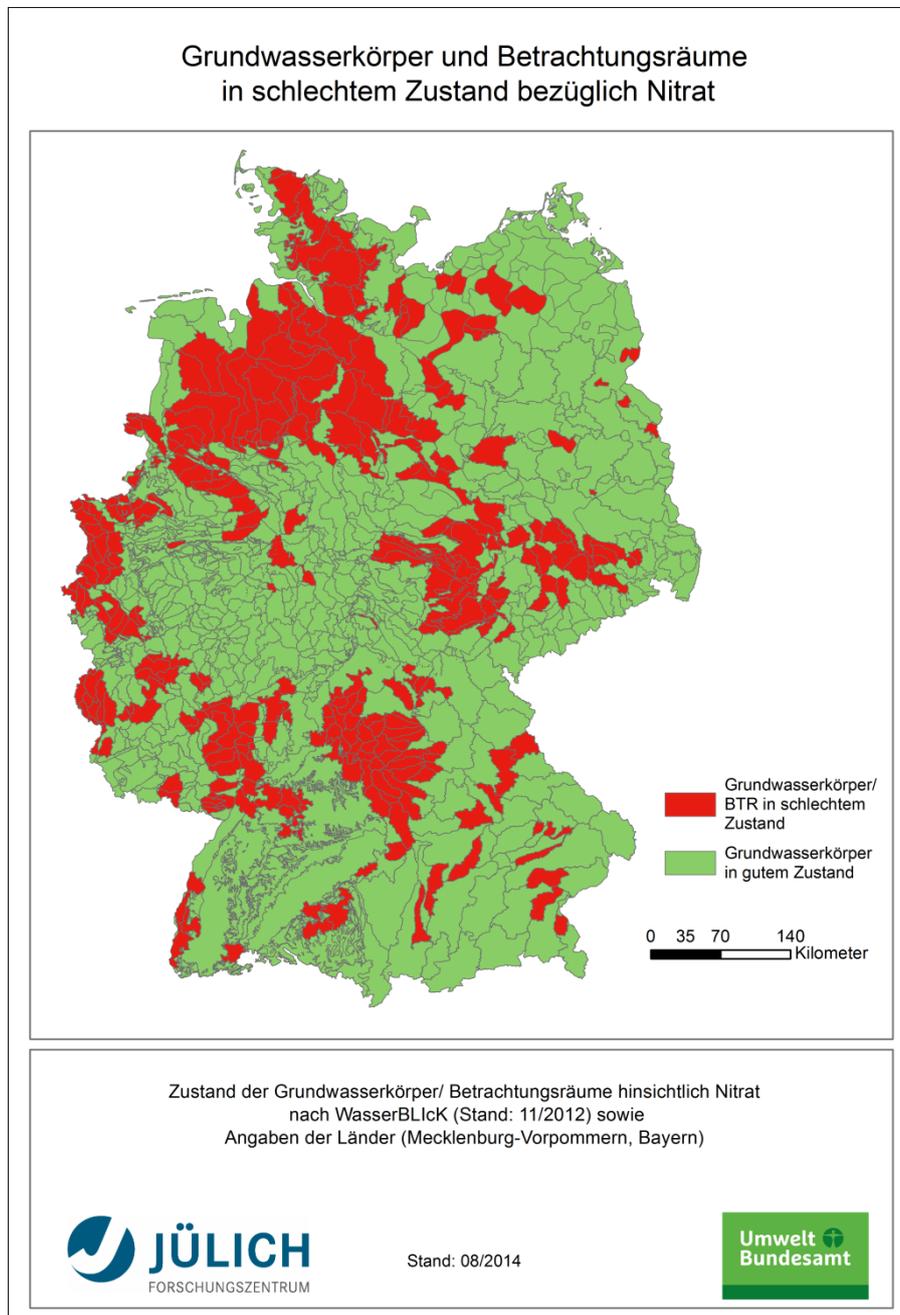
Wenn Deutschland erneut die Derogation (Ausnahmeregelung für bestimmte landwirtschaftliche Betriebe, um von der Stickstoff-Obergrenze von 170 Kilogramm Stickstoff pro Hektar für Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft abweichen zu dürfen) in Anspruch nehmen will, wird die EU-Kommission vor einer erneuten Bewilligung den Zustand des Grundwassers im Hinblick auf die Entwicklung der Nitratbelastung bzw. die eingeleiteten Maßnahmen besonders kritisch prüfen. Es ist damit zu rechnen, dass insbesondere die Gründe für die „Zielverfehlung“ aufzuzeigen sind, d.h. warum die bisherigen Programme nicht zu einer Verbesserung des Grundwasserzustandes geführt haben, und die Fortschritte bei der Erreichung des guten chemischen Zustands darzustellen sein werden.

Eine der Kernfragen hierbei ist, ob und bis wann der gute Zustand erreicht werden kann. Aus der Praxis und lokal bzw. an einzelnen Standorten auch durch Messdaten belegbar ist nämlich seit langem bekannt, dass sich der gewünschte Erfolg, d.h. eine Senkung der Nitratkonzentration im Grundwasser auf Werte unterhalb des EU-Grenzwertes von 50 mg/l nicht unmittelbar nach Einleitung der Maßnahmen einstellt. Es ist also möglich, dass die Ziele der EU-WRRL trotz der umgesetzten Maßnahmenprogramme bis 2015 und ggf. auch bis 2021 nicht erreicht werden können. In diesem Zusammenhang ist ausschlaggebend, ob es sich um Folgeerscheinungen unzureichender bzw. räumlich unpassender N-Reduktionsmaßnahmen handelt, oder ob dies auf natürliche Bedingungen zurückzuführen ist. Vor allem handelt es sich hierbei um die Fließ- bzw. Verweilzeit des Wassers im Boden, in der ungesättigten Zone und im Grundwasser bis zur Messstelle. Wenn Letzteres der Fall ist, kann auf die Einleitung weitergehender oder alternativer Schutzmaßnahmen verzichtet werden.

Vor dem Hintergrund zu erwartender Nachfragen der EU-Kommission über die Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie und der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland war es das übergeordnete Ziel dieses Vorhabens für alle Grundwasserkörper, bei denen der gute chemische Zustand aufgrund der Nitratbelastung bis Ende 2015 vermutlich nicht erreicht wird, Fakten und Hintergrundinformationen zusammenzustellen sowie die Gründe für die Zielverfehlung zu analysieren. Hierzu sollten von den Bundesländern Informationen zu verschiedenen Schlüsselfragen eingeholt werden, die Aussagen über die konkreten Ziel-

vorgaben, die hydrogeologischen Randbedingungen und die Wirksamkeit der Maßnahmenprogramme erlauben. Ausgehend von landwirtschaftlichen und hydrologischen Hintergrundinformationen zu den GWK im schlechten Zustand sollte hierzu eine wissenschaftlich begründete und länderübergreifend anwendbare Systematik entwickelt werden. Mit dieser Systematik sollten einerseits die Höhe der Nitratausträge aus dem Boden erfasst und in ihrer Entwicklung dokumentiert werden können und andererseits die Zeiträume, bis eingeleitete N-Minderungsmaßnahmen Wirkung zeigen, abgeschätzt werden können.

Abb. 1-1: Konzeptkarte zur Lage der Grundwasserkörper in Deutschland, die wegen zu hoher Nitratgehalte 2009 nicht im guten Zustand waren (BMU, 2010). Einstufung anhand der WasserBLiCK-Daten (Stand: November 2012) sowie aktueller Angaben der Länder Bayern und Mecklenburg-Vorpommern



Darüber hinaus sollte eine Analyse der bisher eingeleiteten Maßnahmen zur Verminderung der N-Austräge aus dem Boden im Hinblick auf deren Effizienz (Umsetzungsgrad) vorgenommen werden. In diesem Zusammenhang sollte beurteilt werden, ob die durchgeführten Maßnahmen ausreichend sind und daher fortzusetzen sind, oder ob die Notwendigkeit besteht, eine Optimierung der Maßnahmenprogramme des 2. Bewirtschaftungsplans vorzunehmen.

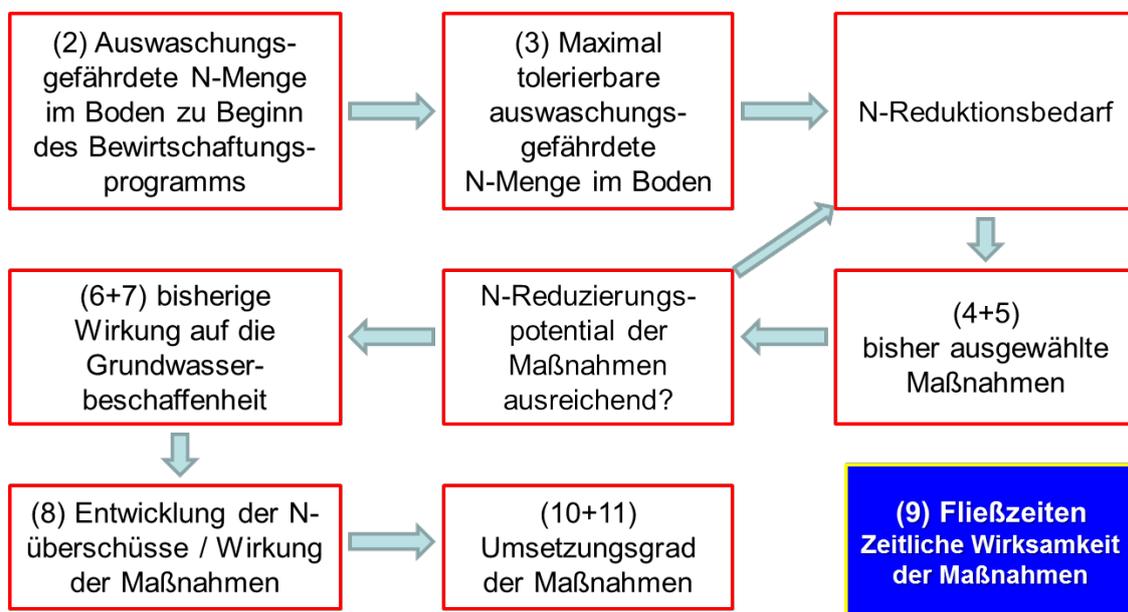
2 Vorgehensweise

Konzeptionierung und länderübergreifende Abstimmung des Fragebogens

Das Projekt war ausgerichtet auf die Grundwasserkörper in Deutschland, für die zu erwarten war, dass der gute chemische Zustand nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000) bis zum Ende des ersten Bewirtschaftungszyklus (2015) aufgrund der Nitratbelastung nicht erreicht wird. Ausgehend von in den Bundesländern vorliegenden und zur Verfügung gestellten Daten und Informationen wurde für diese Grundwasserkörper eine länderübergreifende Analyse und systematische Zusammenstellung der Gründe für die Zielverfehlung vorgenommen.

Um hierfür länderübergreifend vergleichbare Daten und Informationen zu erhalten, wurde am Beginn des Projektes (Juli 2012) ein auf einer wissenschaftlich begründeten Systematik beruhendes Abfragewerkzeug entwickelt (vgl. Abb. 2-1):

Abb. 2-1: Grundlegende Systematik des Abfragewerkzeugs zur länderübergreifenden Analyse der Gründe für die Verfehlung des guten chemischen Zustands nach EU-Wasserrahmenrichtlinie in Grundwasserkörpern aufgrund der Nitratbelastung



Das Konzept des Abfragewerkzeugs basiert auf der Annahme, dass die Zielerreichung nur dann dauerhaft gewährleistet werden kann, wenn bereits im Sickerwasser eine Nitratkonzentration von 50 mg/l nicht überschritten wird. Die Nitratkonzentration im Sickerwasser ist damit also eine Referenzgröße, anhand der überprüft werden kann, ob eingeleitete N-Minderungsmaßnahmen langfristig den erwünschten Erfolg haben können.

Bei der Konzeptionierung des Abfragewerkzeugs wurde deswegen davon ausgegangen, dass bundesweit Konsens darüber besteht, dass der N-Austrag aus dem Boden die Hauptursache der Nitratbelastung des Grundwassers darstellt und dass die in der Landwirtschaft eingesetzten Stickstoffdünger (speziell der aus der Düngung resultierende N-Bilanzüberschuss der Landwirtschaft) großen Anteil hieran haben. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass wesentliche Informationen und Daten zur auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden, aber auch zur Sickerwasserhöhe und zum Ausmaß von Retentions- und Denitrifikationsprozessen im Boden in den Bundesländern bereits vorliegen.

Unter dieser Voraussetzung ist es möglich, die maximal tolerierbare auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden, bei der die Nitratkonzentration im Sickerwasser 50 mg/l nicht überschreitet, abzuschätzen. Aus der Differenz zur auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden zu Beginn des Bewirtschaftungszeitraums lässt sich daraus dann die notwendige Reduzierung des N-Eintrags in den Boden abschätzen.

Über einen Vergleich mit dem N-Minderungspotential der eingeleiteten Maßnahmen sowie deren Umsetzungsgrad im Grundwasserkörper auf der einen Seite sowie einer dokumentierten Entwicklung der auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden und der Nitratkonzentrationen im Grundwasser auf der anderen Seite, lässt sich dann überschlagsmäßig überprüfen, ob das gewünschte Ziel, nämlich die Grundwasserbelastung in den betroffenen GWK auf unter 50 mg/l zu senken, erreicht werden kann.

Um angeben zu können, wie lange es dauern wird, bis einzelne Maßnahmen Wirkung im Hinblick auf eine Verminderung der Nitratkonzentration im Grundwasser zeigen, wurden weiterhin Informationen über die Fließzeiten in der ungesättigten Zone (durchwurzelte Bodenzone und Grundwasserdeckschichten) und im Grundwasserleiter betrachtet. Darüber hinaus können über die Analyse der Fließzeiten die GWK identifiziert werden, in denen die Erreichung der Ziele der EU- Wasserrahmenrichtlinie trotz eingeleiteter Maßnahmenprogramme innerhalb des ersten Bewirtschaftungszyklus (bis 2015) nicht möglich ist.

Ausgehend von der in Abb. 2-1 dargestellten Systematik wurde die inhaltliche Ausgestaltung des Abfragewerkzeugs in enger Abstimmung mit dem UBA vorgenommen. In diesem Zusammenhang erfolgte die Ausformulierung von 14 Schlüsselfragen, welche anschließend in mehreren Sitzungen mit einem Begleitarbeitskreis, der aus Bundes- und Landesvertretern aus Wasserwirtschaft und Landwirtschaft bestand, diskutiert und abgestimmt wurden.

Der Fragebogen wurde Ende 2012 mit Erläuterungen und Begriffsdefinitionen an alle Bundesländer verschickt. Die Rückläufe aus den Bundesländern wurden ausgewertet und mit den Bundesländern diskutiert. Auf ausdrücklichen Wunsch einzelner Bundesländer wurde der Fragebogen im Frühjahr 2014 erneut verschickt, damit Ergebnisse aus bis dahin abgeschlossenen Länderprogrammen noch in die Auswertungen einbezogen werden konnten. Zudem wurde der Fragebogen auf Wunsch der LAWA-AG im Juli 2014 um eine Abfrage zur Höhe der Sickerwasserrate ergänzt.

Damit das Abfragewerkzeug nach Beendigung des Vorhabens weiter genutzt werden kann und eine Doppelerhebung von Daten vermieden wird, wurde es EDV-technisch so gestaltet, dass es mit den digitalen Formaten, die für das Reporting an die EU Verwendung finden, kompatibel ist. Ein wichtiger Aspekt war dabei die Einbeziehung der bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) bzw. im Bundesländer-Informations- und Kommunikationsplattform "WasserBLICK" zusammengestellten Daten, die von den Bundesländern bereits an die EU-Kommission geliefert worden waren. Auszüge aus den bei der BfG vorliegenden Datensätzen (z.B. zur Kennzeichnung der GWK) wurden daher als Grundlage für die speziellen Abfragen im Fragebogen (eine GWK-bezogene EXCEL-Tabelle pro Teilfrage) integriert.

Aufbau des Fragebogens und Auswertungsprinzip

Der Fragebogen bestand aus 14 Schlüsselfragen, von denen einige Teilfragen aufwiesen. Auf diese Weise wurden bei den Bundesländern die wesentlichen Daten und Informationen über die landwirtschaftlichen und hydrogeologischen Randbedingungen und die Wirksamkeit der Maßnahmenprogramme abgefragt. Begriffsdefinitionen oder wichtige Erläuterungen zu den 14 Einzelfragen finden sich in den Kapiteln 3 bis 7, wo die Ergebnisse der Auswertung zusammengefasst werden.

Ein Teil der Fragen zielte auf konkrete, auf GWK-Ebene quantifizierbare Größen, z.B. zur Höhe der N-Bilanzüberschüsse aus der Landwirtschaft (Frage 2) oder zu den Fließzeiten (Frage 9), ab. Sofern die entsprechenden Größen in einem Bundesland ermittelt wurden, bestanden die Antworten der Bundesländer in der Übermittlung konkreter Zahlenwerte für die einzelnen GWK (Fragen 2, 3, 9). Neben einer

länderübergreifenden statistischen Auswertung auf Ebene der GWK im schlechten Zustand wurden aus diesen Angaben darüber hinaus zur Veranschaulichung der Gesamtsituation in Deutschland Übersichtskarten erstellt.

Ein anderer Teil der Fragen betraf Einschätzungen der Bundesländer, z.B. hinsichtlich der Effizienz von Maßnahmenprogrammen (Frage 12) oder hinsichtlich eines Änderungsbedarfs beim landwirtschaftlichen Fachrecht (Frage 13). Die Beantwortung dieser Fragen erfolgte in den meisten Fällen GWK-unspezifisch und spiegelte erwartungsgemäß mehr die Einschätzung in den einzelnen Bundesländern wider. Folglich wurde bei diesen Fragen auf GWK-bezogene Auswertungen verzichtet und stattdessen die Einschätzungen der Bundesländer zusammengefasst und diskutiert.

An dieser Stelle sei hervorgehoben, dass die Beantwortung der Schlüsselfragen von den Bundesländern mit den jeweils landestypischen Methoden und Analysetools vorgenommen werden sollte. Die im UFOPLAN – Vorhaben entwickelte länderübergreifend anwendbare Systematik gibt hier lediglich einen Rahmen vor. Es sei an dieser Stelle betont, dass das Vorhaben nicht zum Ziel hatte, deutschlandweit eine bestimmte methodische Vorgehensweise zu entwickeln oder zu etablieren.

Rücklauf aus den Bundesländern

Der Fragebogen mit Erläuterungen an alle 16 Bundesländer verschickt. Der Rücklauf zeigte, dass

- ▶ zwei Stadtstaaten (Hamburg und Berlin) bei der Bestandsaufnahme keine Grundwasserkörper ausweisen, die aufgrund von Nitratbelastungen in einem schlechten chemischen Zustand sind,
- ▶ das Gebiet Bremens gemeinsam mit dem Gebiet Niedersachsens bearbeitet wurde,
- ▶ das Saarland im Jahr 2009 zwar einen GWK mit steigendem Trend ausgewiesen hat, ohne dass dieser GWK aber als „im schlechtem Zustand“ bewertet wird.

Die Auswertungen der 14 Schlüsselfragen sind demnach auf die Rückläufe aus den 13 Bundesländer bezogen, die Grundwasserkörper im schlechten Zustand wegen Nitrat ausgewiesen haben. **Die länderübergreifende Auswertung der Fragebögen, die in den nächsten Kapiteln folgt, wurde deshalb immer nur auf die GWK bezogen, die wegen der Nitratbelastung in einem schlechten Zustand sind. Im weiteren Text werden diese vereinfachend als „GWK“ oder „Grundwasserkörper“ bezeichnet.**

3 Zustandsbewertung GWK

Frage 1: Nach welcher Methode wurde der chemische Zustand der Grundwasserkörper im Hinblick auf Nitrat im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung bewertet?

Mit dieser einleitenden Frage sollte überprüft werden, ob die Methoden, die Zeiträume und die Datengrundlagen, die zur Bewertung des Zustandes der Grundwasserkörper eingesetzt worden sind, bundesweit grundsätzlich vergleichbar waren.

Die Auswertung der diesbezüglichen Angaben der Bundesländer zeigte, dass ein GWK dann als in einem schlechten chemischen Zustand befindlich eingestuft wurde, wenn neben beobachteten Nitratkonzentrationen größer als 50 mg/l ein bestimmter Flächenanteil des GWK belastet ist, also z.B. eine Fläche größer als 25 km² oder mehr als 1/3 bzw. 20 % der Gesamtfläche des GWK. Zur Bestimmung der belasteten Flächen in einem GWK wurde in einigen Bundesländern ein Regionalisierungsverfahren (z.B. SIMIK+: Usländer, 2003) eingesetzt. Hinzu kamen zum Teil noch eine Reihe länderspezifischer Kriterien, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll.

Im Hinblick auf die Herkunft der Grundwassergütedaten zeigte sich, dass in der Regel Messergebnisse aus dem WRRL-Messnetz (= Messstellen der überblicksweisen und operativen Überwachung) verwendet wurden. Zum Teil wurden aber auch Rohwasseranalysen von Wasserversorgungsunternehmen einbezogen.

Größere Unterschiede zeigten sich im Hinblick auf den Zeitraum und die Referenzperiode der Grundwassergütebeprobungen, die der Bewertung zugrunde gelegt wurden. In den meisten Fällen stammten die in die Bewertung eingeflossenen Daten aus den Jahren zwischen 2000 und 2009, jedoch war die Referenzperiode der Proben, die in die Bewertung des Zustandes der GWK eingeflossen ist, uneinheitlich. Während einige Bundesländer Grundwassergütedaten eines kurzen Betrachtungszeitraumes, also z.B. einer 2-Jahresperiode verwendet haben, so wurden von anderen Bundesländern hierzu Mittelwerte aus längeren Zeitreihen eingesetzt.

Da die Mittelwerte der Nitratkonzentrationen im Grundwasser selbst bei gleichen Messstellen und vergleichbaren Probennahmezeitpunkten von Jahr zu Jahr große Schwankungsbreiten aufweisen können (vgl. z.B. Kuhr et al., 2013), ist es möglich, dass einzelne GWK anders eingestuft worden wären, wenn ein anderer Bezugszeitraum zugrunde gelegt worden wäre.

Fazit:

Die Zustandsbewertung der GWK erfolgte bundesweit mit ähnlichen Methoden und basierend auf Daten aus den vergleichbaren Messnetzen. Für zukünftige Zustandsbewertungen der GWK wird eine bundesweite Harmonisierung des Zeitpunkts der Probenentnahme und der zugrunde gelegten Referenzjahre, für die eine Auswertung erfolgen sollte, empfohlen.

4 N-Einträge in den Boden

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der schlechte chemische Zustand der hier betrachteten GWK durch einen Bilanzüberschuss bei Stickstoff (N) im Boden verursacht wird, der mit dem Sickerwasser ins Grundwasser verlagert werden kann und im Folgenden als auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden bezeichnet wird. Mit dieser Frage sollte daher erfasst werden, wie hoch diese N-Menge zu Beginn des Bewirtschaftungszeitraums bzw. zu Beginn der Maßnahmenprogramme war. Die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden ergibt sich nach folgender Gleichung (Gl.1):

$$N = NL + NA + NU - ND \quad \text{Gl. 1}$$

N = Auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden [kg/(ha·a)]

NL = N-Bilanz Landwirtschaft = N-Zufuhr (mineralische und organische Düngemittel) - N-Abfuhr (pflanzliche Produkte) [kg/(ha·a)]

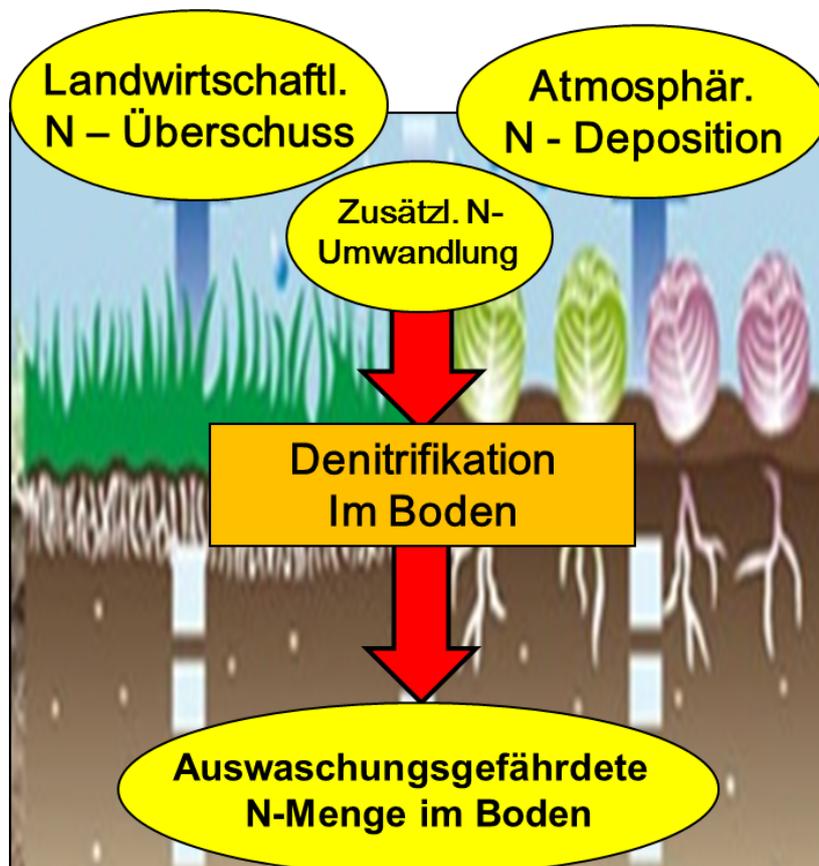
NA = Atmosphärische N-Deposition [kg/(ha·a)]

NU = N-Umwandlung im Boden (Immobilisierung und Mineralisation) [kg/(ha·a)]

ND = Denitrifikation im Boden [kg/(ha·a)]

Da die einzelnen Bilanzglieder wichtig für die Bewertung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden sind, wurde diese Frage durch Teilfragen weiter spezifiziert. Abb. 4-1 fasst die wesentlichen Größen, die in die Ermittlung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden für die GWK im schlechten Zustand quantifiziert werden sollten, in einem Schaubild zusammen.

Abb. 4-1: Wesentliche Größen zur Ermittlung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden



Es wird deutlich, dass die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden nicht dem landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschuss gleichgesetzt werden darf. Vielmehr ist der landwirtschaftliche N-Bilanzüberschuss zwar die wichtigste, aber nicht die einzige Größe, die einen Einfluss auf die Höhe der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden hat, die mit dem Sickerwasser aus dem Boden ausgetragen werden kann. Die atmosphärische N-Deposition und die N-Immobilisierung im Boden von Grünland- und Waldflächen sowie eine ggf. vorhandene und dauerhaft wirksame N-Mineralisation im Boden sind in diesem Zusammenhang mit zu erfassen.

Frage 2.1: Wurden die N-Bilanzüberschüsse aus der Landwirtschaft ermittelt?

Teilfrage 2.1 zielte auf den N-Bilanzsaldo der Landwirtschaft. Die wichtigsten Bilanzglieder zur Ermittlung des N-Bilanzsaldos der Landwirtschaft sind die N-Zufuhren in den Boden über mineralische Dünger und organische Dünger sowie die N-Abfuhr mit pflanzlichen Produkten. Im Allgemeinen ist der N-Saldo der Landwirtschaft positiv, so dass in diesem Zusammenhang in der Praxis häufig der Begriff „N-Bilanzüberschuss aus der Landwirtschaft“ verwendet wird.

Mit Teilfrage 2.1 sollte ermittelt werden, ob der N-Bilanzsaldo der Landwirtschaft für die betrachteten GWK erstellt worden ist, für welchen Bezugszeitraum und für welche räumliche Bezugseinheit er berechnet wurde und in welcher Höhe er lag.

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass der N-Bilanzsaldo der Landwirtschaft für 222 der 267 GWK in nicht gutem Zustand wegen Nitrat bestimmt wurde. In der Regel erfolgte die Ermittlung basierend auf der Flächenbilanzmethode, bei der alle Zu- und Abfuhr auf den Boden als Bilanz Einheit bezogen werden.

Manche der zur Verfügung gestellten Zahlenwerte zu N-Bilanzsalden waren aber nicht auf GWK, sondern auf Flussgebiete oder Verwaltungseinheiten bezogen, so dass eine weitergehende Auswertung nicht möglich war. Im Hinblick auf den Bezugszeitraum der N-Bilanzsalden der Landwirtschaft zeigte sich, dass je nach Bundesland Mittelwerte für mehrere Jahre oder Werte für Einzeljahre des Zeitraums 2005 – 2010 zu Grunde gelegt wurden. Die übermittelten Werte des N-Bilanzüberschusses der Landwirtschaft sind damit nur eingeschränkt miteinander vergleichbar.

Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 4-2) sowie die deutschlandweite Karte des landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschusses (Abb. 4-3) können vor dem Hintergrund dieser Inkonsistenzen nur die Größenordnung des landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschusses in verschiedenen Regionen zum Ausdruck bringen.

Abb. 4-2: Häufigkeitsverteilung des N-Bilanzüberschusses der Landwirtschaft im Boden in den GWK in schlechtem Zustand

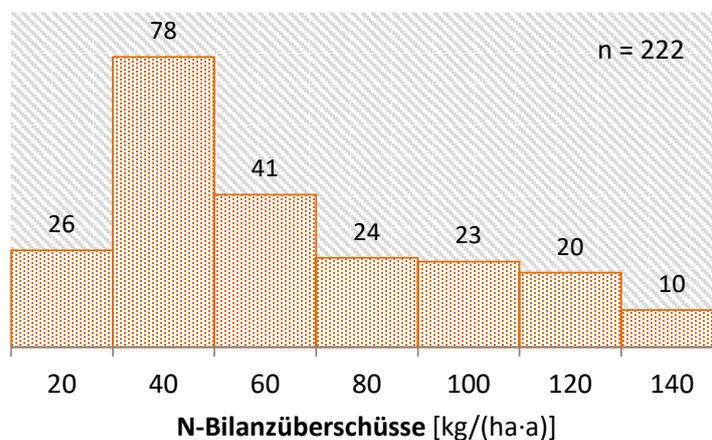
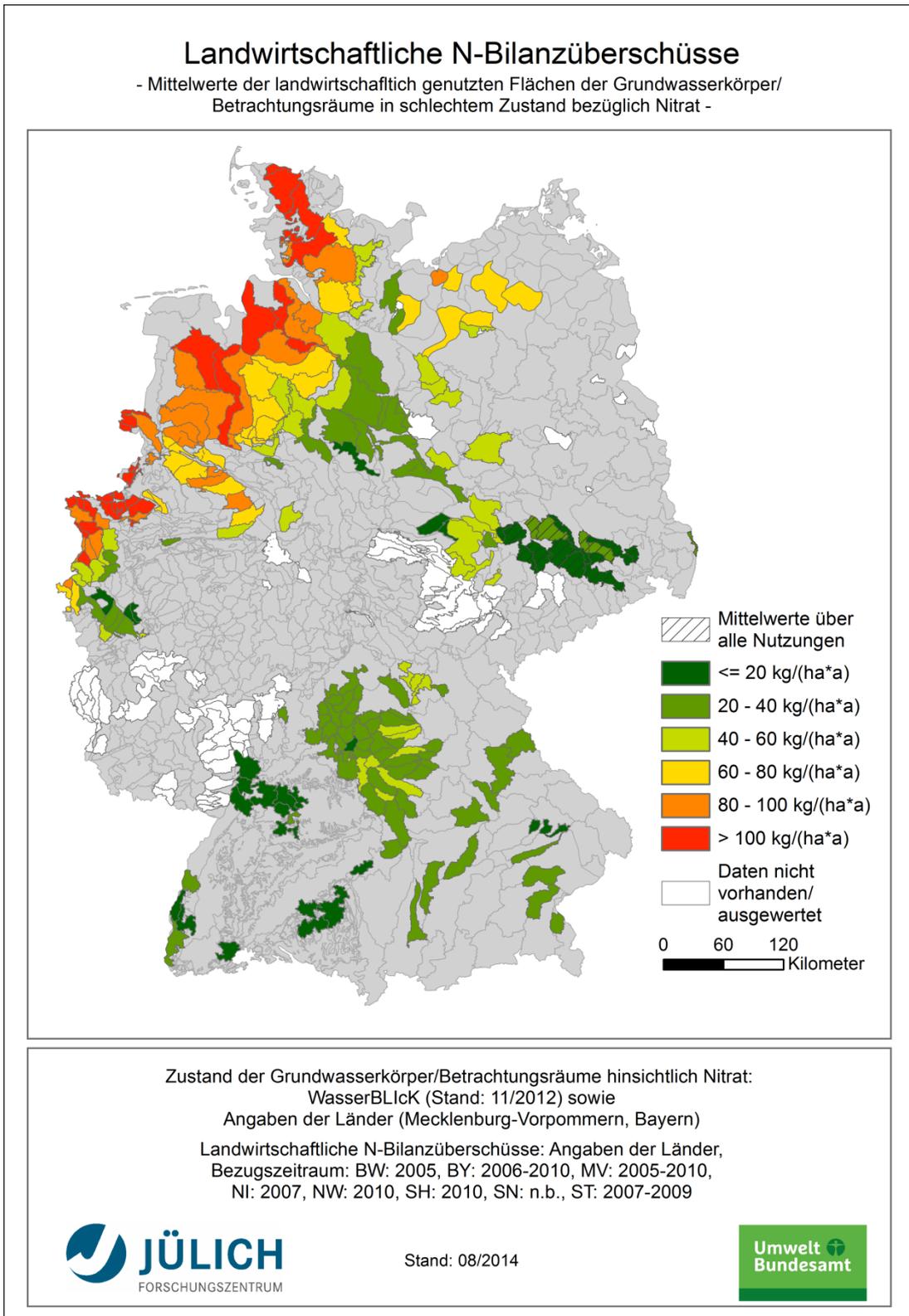


Abb. 4-3: Landwirtschaftliche N-Bilanzüberschüsse in den GWK in schlechtem Zustand



Der Wertebereich des N-Bilanzsaldo der Landwirtschaft der einzelnen GWK liegt zwischen ca. 10 und 140 kg/(ha·a). In mehr als der Hälfte liegen die N-Bilanzüberschüsse bei mehr als 60 kg/(ha a).

Die deutschlandweite Übersicht der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse (siehe Abb. 4-3) zeigt, dass Werte von über 60 kg/(ha·a) vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auftreten. Nach Süden und nach Osten nimmt die Höhe der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse in den GWK im schlechten Zustand dagegen ab und liegt häufig unter 40 kg/(ha·a).

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass einige der GWK im schlechten Zustand wegen Nitrat nicht in der Abbildung dargestellt werden konnten, da eine Aggregation des N-Bilanzüberschusses der Landwirtschaft auf GWK-Ebene nicht vorgenommen wurde, bzw. aus den zur Verfügung gestellten Daten nicht möglich war.

Fazit:

Die Rückläufe aus den Bundesländern zeigen, dass landwirtschaftliche N-Bilanzüberschüsse in der Regel basierend auf der N-Flächenbilanzmethode ermittelt wurden. Dennoch waren diesbezügliche Informationen nicht für alle GWK in schlechtem Zustand verfügbar bzw. ableitbar, da die übermittelten Zahlenwerte teilweise nicht auf GWK, sondern auf Flussgebiete oder Verwaltungseinheiten bezogen waren. Hinzu kamen unterschiedliche Bezugszeiträume. Damit die ausgewiesenen Werte des N-Bilanzüberschusses der Landwirtschaft zukünftig konsistent zueinander sind, wird eine bundesweite Harmonisierung der in den Bundesländern ermittelten landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse im Hinblick auf den Bezugszeitraum und die räumliche Bezugseinheit (GWK) empfohlen.

Frage 2.2: Wurde der N-Eintrag über atmosphärische Deposition berücksichtigt?

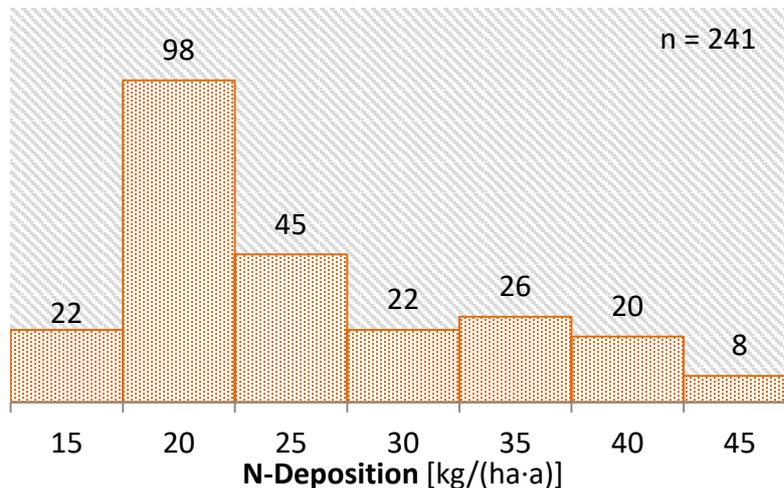
Atmosphärische Stickstoffeinträge in den Boden stellen eine weitere diffuse Eintragsquelle dar, die bei der Bestimmung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden berücksichtigt werden muss (vgl. Gl.1). Hierdurch gelangen die beiden für Pflanzen direkt verwertbaren Formen des Stickstoffs - Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) - im Regen gelöst (nasse Deposition) und oder durch Feinstaubablagerungen (trockene Deposition) in den Boden. Durch die Teilfrage 2.2 sollte ermittelt werden, ob und in welcher Höhe die N-Einträge aus der atmosphärischen Deposition in die Ermittlung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden eingegangen sind.

Es zeigte sich, dass die atmosphärische Deposition in den meisten Fällen durch Werte berücksichtigt wurden, die nach dem Ansatz Modell „MAPESI“ (Modelling of Air Pollutants and EcoSystem Impact) von Gauger et al. (2002) ermittelt worden sind. In diesen Ansatz gehen die Daten von Luft-Messstationen ein. Die Modellierung der Deposition erfolgt in regelmäßigen Abständen im Auftrag des UBA. Da die Berechnung der Gesamtdosition jedoch eine umfangreiche Datenaufbereitung und -modellierung erfordert, stehen die Daten für ein Bezugsjahr erst drei bis fünf Jahre später zur Verfügung. Ein Ergebnis der „MAPESI“-Modellierungen sind flächenhaft für Deutschland berechnete und landnutzungsclassenspezifisch in einer Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ interpolierte Datensätze, aus denen die Hintergrundbelastung der Stickstoffgesamtdepositionsfracht entnommen werden kann. Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 4-4) sowie die deutschlandweite Karte der atmosphärischen Deposition (Abb. 4-5) zeigen die Größenordnung der atmosphärischen Deposition in verschiedenen Regionen Deutschlands. Von einem Bundesland wurden Daten aus dem europäischen EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) - Messnetz (www.emep.int) verwendet, welches eine geringere räumliche Auflösung aufweist.

Die Spannweite der mittleren atmosphärischen Deposition der einzelnen GWK beträgt etwa 30 kg/(ha·a). Mit der größten Häufigkeit treten N-Einträge in der Klasse zwischen 15 und 20 kg/(ha·a) auf (Abb. 4 4). Im Hinblick auf den Bezugszeitraum der atmosphärischen N-Depositionsraten zeigte

sich, dass 3- bis 8 jährige Mittelwerte aus dem Zeitraum 1999 - 2007 übermittelt wurden, so dass die Werte nur teilweise länderübergreifend vergleichbar sind.

Abb. 4 4: Häufigkeitsverteilung der atmosphärischen Deposition in den GWK in schlechtem Zustand



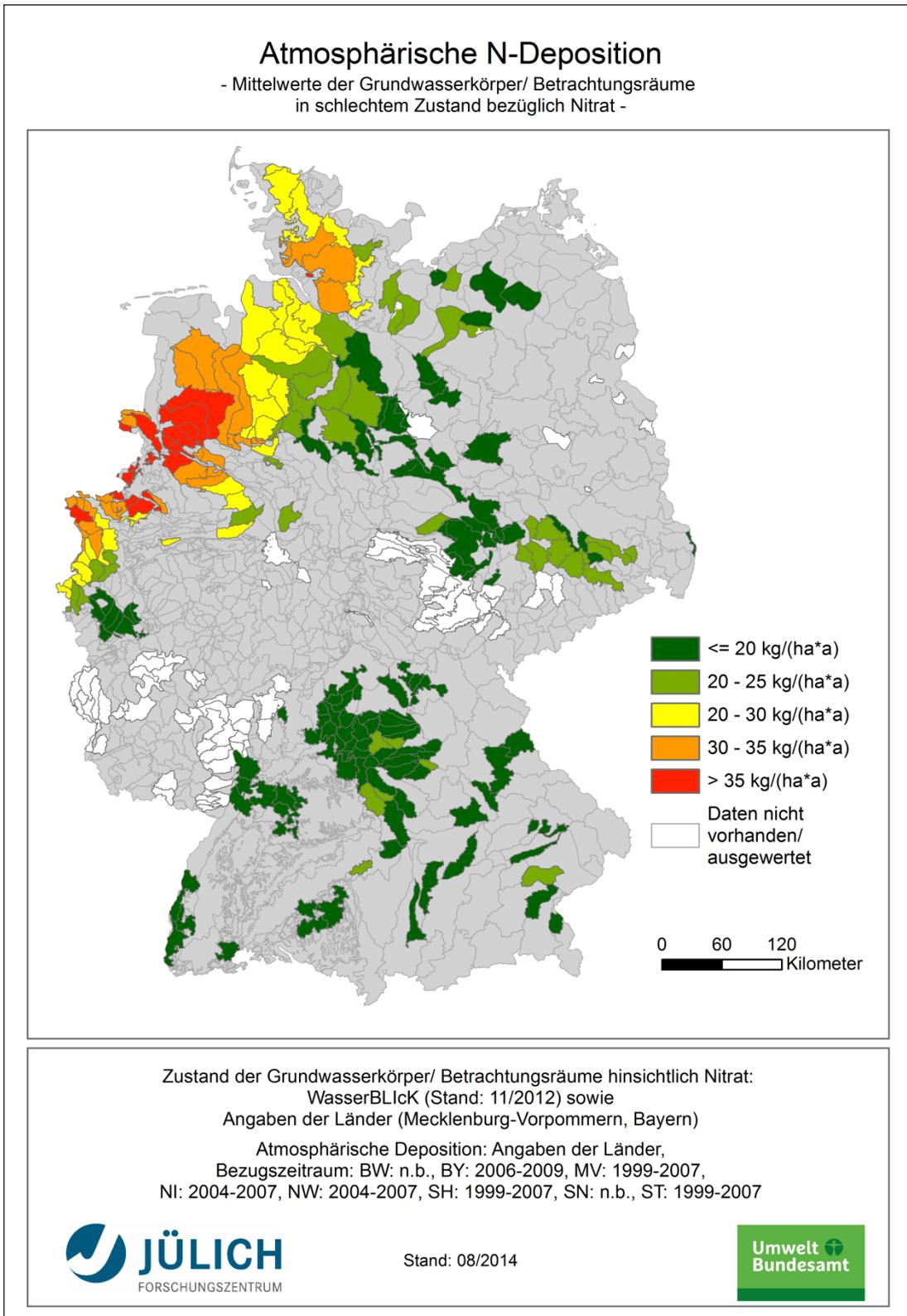
Die deutschlandweite Übersicht der atmosphärischen Deposition (Abb. 4-5) zeigt, dass Werte von über 35 kg/(ha·a) vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auftreten können. Die hohen Werte stehen dort vor allem in Zusammenhang mit den hohen Viehbesatzdichten und der entsprechend hohen N-Ausgasung. Nach Süden und nach Osten nimmt die Höhe der atmosphärischen Deposition in den GWK im schlechten Zustand ab und liegt häufig unter 20 kg/(ha·a).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die modell- sowie messtechnische Erfassung der Deposition einer ständigen Weiterentwicklung unterliegen. Zuletzt wurde mit dem MAPESI-Modell der Datensatz für das Jahr 2007 berechnet (Gauger et al., 2008). Im UBA-Forschungsprojekt PINETI-2 „Ermittlung und Bewertung der Einträge von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffe in terrestrische Ökosysteme“ wurden für den Bezugszeitpunkt 2009 bereits aktuellere N-Depositionsraten ermittelt, die die MAPESI-2007-Daten (Gauger et al., 2008) ersetzen sollen (UBA, 2015). Im Vergleich zum Datensatz für den früheren Bezugszeitraum liegen die nun ermittelten Gesamtdepositionen der Jahres 2004 - 2007 um gut 27% niedriger (UBA, 2015). Die Unterschiede sind landnutzungsabhängig und betragen für Laub-, Nadel- und Mischwald -27, -29 und -26 %, für Grünland -42 % und für Acker -35 %. Dies ist überwiegend auf die methodische Verbesserung und zum Teil auf die veränderten Emissionen und auf meteorologische Unterschiede zurückzuführen (UBA, 2015).

Fazit:

Die Rückläufe aus den Bundesländern zeigen, dass überwiegend Werte der atmosphärischen Deposition nach Gauger (2008) übermittelt wurden, zum Teil aber auch EMEP-Daten. Der zeitliche Bezug variiert zwischen den Bundesländern. Aus diesem Grunde sind die ausgewiesenen Werte zum Teil nicht konsistent zueinander. Eine bundesweite Harmonisierung der in den Bundesländern ermittelten N-Depositionsraten im Hinblick auf den Bezugszeitraum wird daher empfohlen. Idealerweise sollte der Bezugszeitraum der Modellierung der atmosphärischen Deposition an den Bezugszeitraum der Modellierung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse angepasst werden. Weiterhin wird empfohlen, zukünftig die Ergebnisse des PINETI-Projektes zur Berücksichtigung der atmosphärischen N-Deposition zu verwenden.

Abb. 4-5: Atmosphärische N-Deposition in den GWK in schlechtem Zustand



5 Naturräumliche Bedingungen und N-Umsatzprozesse im Boden

Frage 2.3: Wurde das Denitrifikationspotenzial im Boden berücksichtigt?

Die Stickstoffmenge, die aus dem Boden ausgewaschen und in Richtung Grundwasser transportiert wird, kann durch Denitrifikationsprozesse (mikrobieller Nitratabbau mit N_2 als Endprodukt) im Boden reduziert werden. Die Denitrifikationsprozesse im Boden (vgl. Abb. 4-1) werden maßgeblich durch den Grundwasser- und Staunässeinfluss, den C_{org} -Anteil und den pH-Wert eines Bodens bestimmt (Kuhr et al., 2012). Gute Denitrifikationsbedingungen ergeben sich vor allem für stau- und grundwasserbeeinflusste Auenböden in den Niederungsregionen sowie bei Böden mit hohem Kohlenstoffgehalt, z.B. für Niedermoore und Hochmoore (Kreins et al., 2010). Als Böden mit schlechten Denitrifikationsbedingungen gelten v.a. kohlenstoffarme sandige Böden.

Dort, wo die Böden gute Denitrifikationsbedingungen aufweisen, wird potenziell weniger Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen. Mit Frage 2.3 sollte daher ermittelt werden, ob das Denitrifikationspotential im Boden bei der Ermittlung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden berücksichtigt wurde, mit welcher Methode es abgeschätzt wurde und in welcher Größenordnung es bei den GWK liegt.

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die Abschätzung des Denitrifikationspotentials im Boden nicht von allen Bundesländern vorgenommen worden ist. In den Ländern, die eine solche Abschätzung flächendeckend vorgenommen haben, erfolgte diese für die überwiegende Mehrzahl modellgestützt basierend auf dem - oder angelehnt an das - Modell DENUZ „Denitrifikation in der ungesättigten Zone“ (Kunkel & Wendland, 2006), dem eine Michaelis-Menten Kinetik zu Grunde liegt. Die Kinetik und damit das Ausmaß des Nitratabbaus im Boden sind dabei von der N-Menge im Boden, der Verweilzeit des Sickerwassers im Boden und dem Nitratabbauvermögen des Bodens abhängig. Ein Bundesland verwendete das Modell STOFFBILANZ (Gebel et al., 2012), um die Denitrifikationsrate und damit das Denitrifikationspotenzial des Bodens zu bestimmen.

Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 5-1) sowie die deutschlandweite Karte (Abb. 5-2) zeigen die Größenordnung der ausgewiesenen Denitrifikationspotentiale in Form von Denitrifikationsraten in den Böden der GWK in schlechtem Zustand. Zu beachten ist jedoch, dass die Werte Baden-Württembergs ausschließlich die Denitrifikationsraten auf Ackerflächen wiedergeben. Denitrifikationsraten anderer Nutzungen lagen zum Bearbeitungszeitpunkt dieser Studie nicht vor.

Abb. 5-1: Häufigkeitsverteilung des Denitrifikationspotenzials in den GWK in schlechtem Zustand

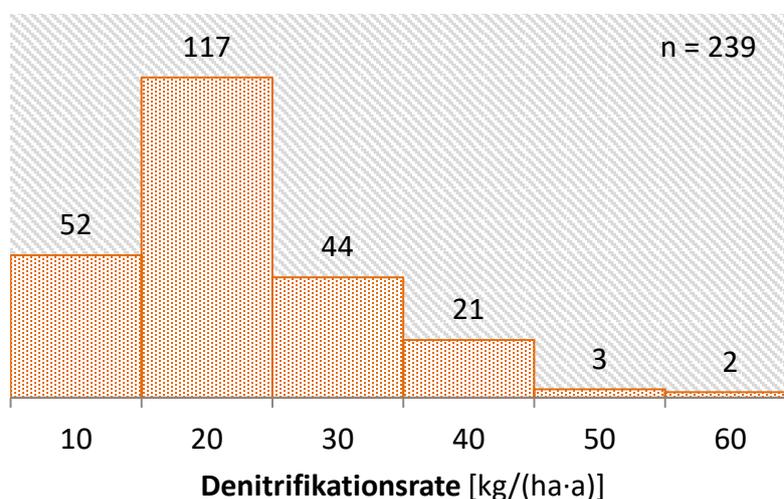
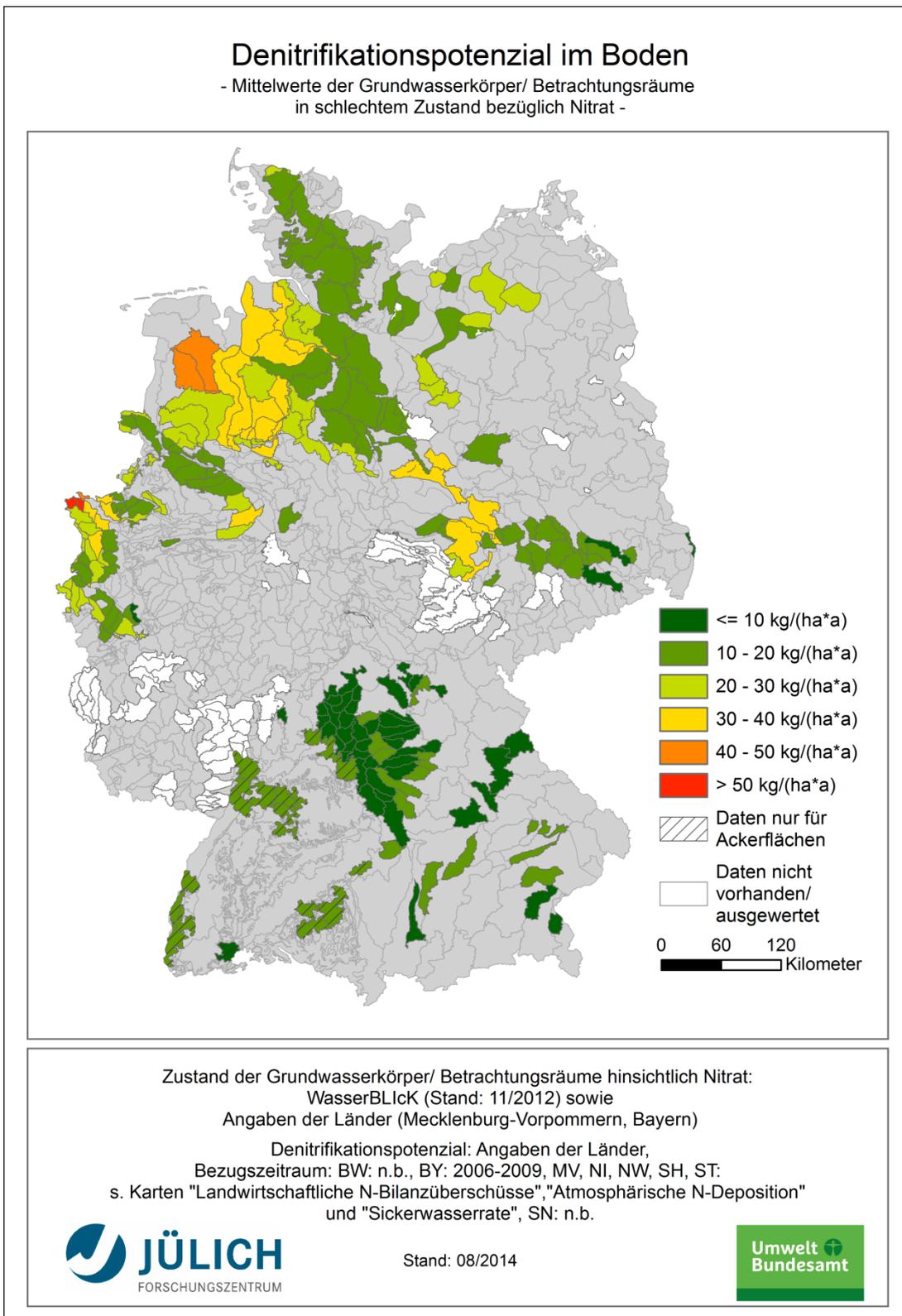


Abb. 5 2: Denitrifikationspotenzial in den GWK in schlechtem Zustand



Die Spannweite der Denitrifikationsraten beträgt etwa 50 kg/(ha·a). Mit der größten Häufigkeit treten Denitrifikationspotenziale zwischen 10 und 20 kg/(ha·a) auf (siehe Abb. 5-1). Die deutschlandweite Übersicht der Denitrifikationspotenziale (Abb. 5-2) zeigt, dass Werte von über 30 kg/(ha·a) vor allem

in GWK im Nordwestteil Deutschlands auftreten. Die hohen Werte stehen dort vor allem in Zusammenhang mit der großen Verbreitung von Niedermoorböden und sonstigen grundwassernahen Böden mit hohen Gehalten an organischer Substanz. Auch in Teilen Mitteldeutschlands treten Denitrifikationsraten zwischen 30 und 40 kg/(ha·a) auf, welche dort vor allem eine Folge geringer Sickerwasserraten und entsprechend hoher Verweilzeiten des Bodenwassers sind. Nach Süden und nach Osten nimmt das Denitrifikationspotential mit der Zunahme an grundwasserfernen Böden mit einem geringen Gehalt an organischer Substanz ab und übersteigt dort selten 30 kg/(ha·a). Wenn dort hohe Stickstoffüberschüsse mit den für diese Standorte typischen hohen Austauschraten des Sickerwassers im Boden (vgl. Kap. 5) auftreten, so ist die Gefahr groß, dass große Nitratmengen aus dem Boden ausgetragen werden.

Fazit:

Der Nitratabbau im Boden ist aufgrund seiner Größenordnung bei der Bestimmung der auswaschungsgefährdeten N-Menge nicht vernachlässigbar, jedoch wurde von einigen Bundesländern bislang keine diesbezügliche Abschätzung vorgenommen. Für die GWK, für die das Denitrifikationspotenzial abgeschätzt wurde, sind die ausgewiesenen Denitrifikationspotentiale aufgrund vergleichbarer Berechnungsansätze vergleichbar. Um eine bundesweite Konsistenz hinsichtlich der auswaschungsgefährdeten N-Mengen zu erhalten, wird ein länderübergreifender Abgleich der Ermittlung des Denitrifikationspotenzials im Boden empfohlen.

Frage 2.4: Wurden weitere N-Umwandlungsprozesse im Boden berücksichtigt?

Zusätzliche Umwandlungsprozesse innerhalb des Bodens, wie z.B. die Mineralisation (Freisetzung von pflanzenverfügbarem N) oder Immobilisierung (Einbau von N in die organische Bodensubstanz) können ebenfalls einen Einfluss auf die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden haben.

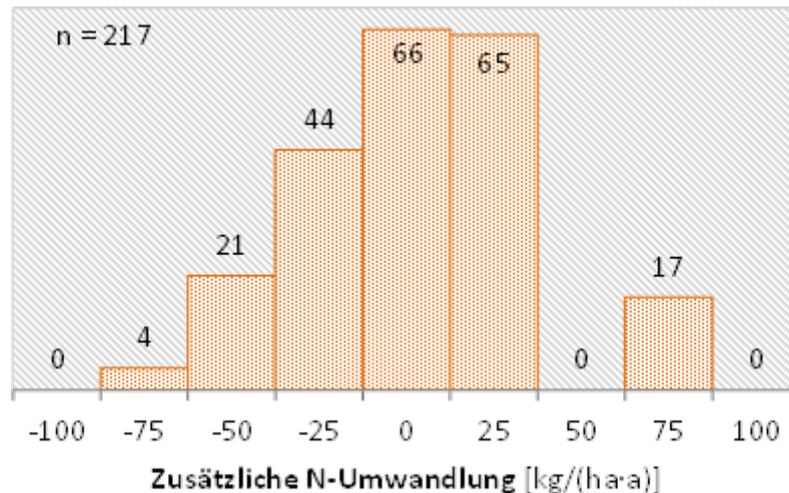
Da im Hinblick auf eine nachhaltige Bodennutzung im langjährigen Mittel möglichst konstante Bodenvorräte angestrebt werden (Fortmann et al., 2012), sollte mit Frage 2.4. vor allem ermittelt werden, ob N-Umwandlungsprozesse, durch die Nitrat im Boden kontinuierlich zurückgehalten (Immobilisierung) bzw. freigesetzt (Mineralisation) wird, in die Ermittlung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden der GWK eingeflossen sind. Die Frage zielte ausdrücklich nicht darauf ab, Informationen über jahreszeitlich bedingte (unvermeidbare) N-Umwandlungsprozesse (z.B. durch die Niederschlags- und Temperaturverteilung oder die Abfuhr von Erntesubstanz) zu erhalten.

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die zusätzliche N-Umwandlung im Boden, ähnlich wie das Denitrifikationspotential im Boden, nicht für alle GWK berücksichtigt worden ist. In den Ländern, die eine solche Abschätzung vorgenommen haben, erfolgte dies zudem sehr heterogen. Von einfachen Retentionsfaktoren zur Abschätzung der N-Immobilisierung für Grünland und Wälder, über die zusätzliche Berücksichtigung der Mobilisierung/Immobilisierung durch Grünlandumbruch/-zunahme und Biogas-Mais, reicht die Palette der Ansätze bis hin zu einer expliziten Berücksichtigung von Mobilisierung/Immobilisierung für Ackerflächen.

Das dominierende Verfahren zur Berücksichtigung der weiteren N-Umwandlungsprozesse im Boden ist die Anwendung von Retentionsfaktoren. Diese wurden in 5 von 6 Bundesländern, zum Teil ergänzend zu anderen Verfahren, angewendet. In den folgenden Darstellungen ist die „Netto-Umwandlung“ dargestellt, für die Immobilisierung und Mineralisation miteinander verrechnet wurden.

Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 5-3) sowie die deutschlandweite Karte (Abb. 5-4) zeigen die Größenordnung der zusätzlichen N-Umwandlung in den Böden der GWK in schlechtem Zustand. Positive Werte sind dabei als N-Mobilisierung und negative Werte als N-Immobilisierung zu verstehen. Generell sind die ausgewiesenen Werte der entsprechenden GWK aufgrund der nur teilweise vergleichbaren Modellansätze nicht konsistent zueinander.

Abb. 5-3: Häufigkeitsverteilung der zusätzlichen N-Umwandlung in den GWK in schlechtem Zustand wegen zu hoher Nitratbelastungen



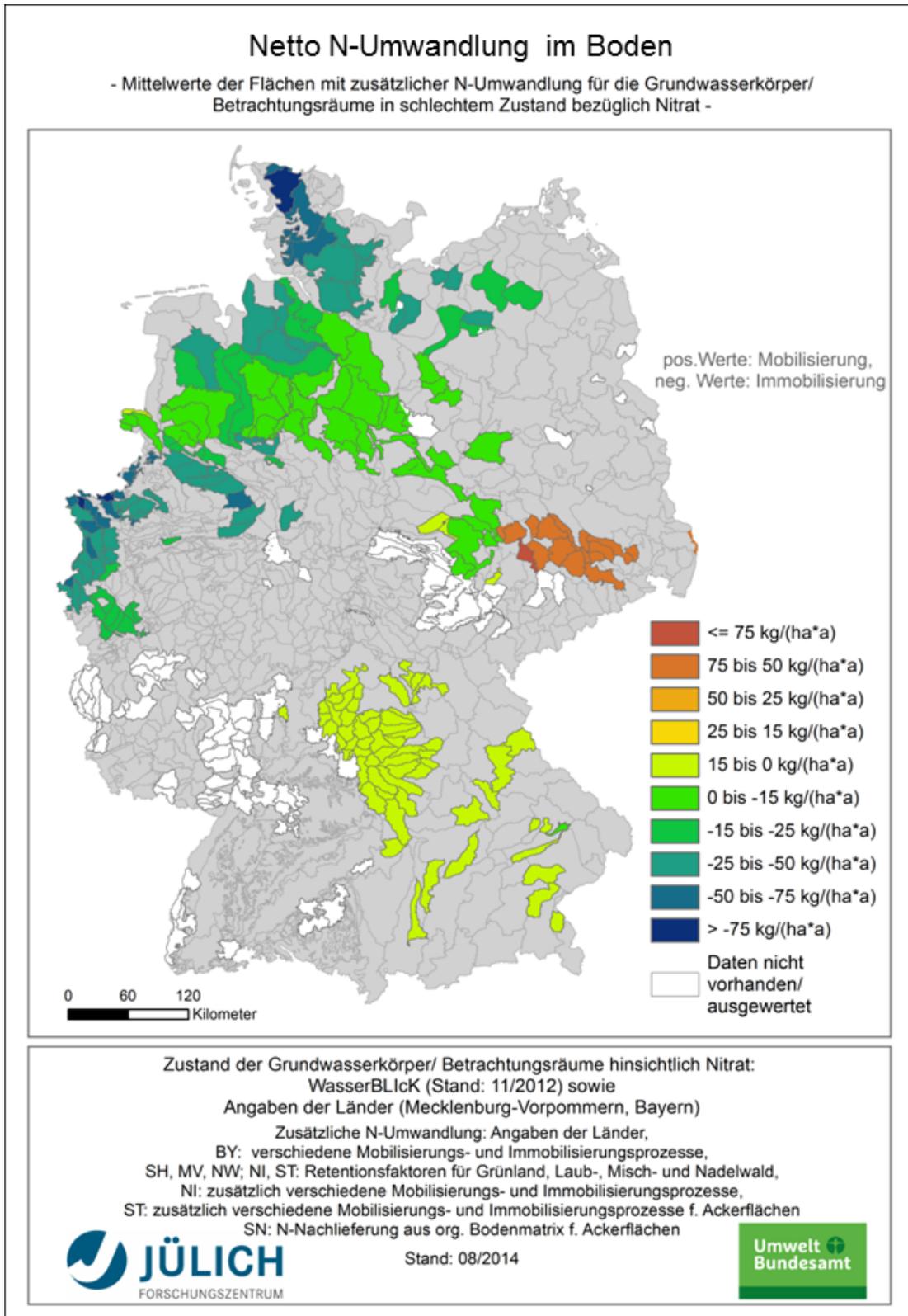
Die in Abb. 5-3 dokumentierten Werte der zusätzlichen N-Umwandlung im Boden der einzelnen GWK liegen zwischen -92 und 75 kg/(ha·a). Aufgrund der Dominanz des Retentionsansatzes unter den angewendeten Verfahren zur Bestimmung der zusätzlichen N-Umwandlung ergibt sich für etwa 90 % der GWK eine N-Immobilisierung. Diese liegt für die Mehrheit der betroffenen GWK zwischen -25 und 0 kg/(ha·a) und ist abhängig von der Höhe des landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschusses und der atmosphärischen N-Deposition sowie vom Anteil an Grünland- und Waldflächen im GWK. Werte von über 75 kg/(ha·a) treten vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auf. Die hohen Werte stehen dort vor allem in Zusammenhang mit der großen Verbreitung von Grünlandstandorten und den für diese Standortbedingungen angenommenen hohen N-Immobilisierungsraten. Für 20 GWK wurde eine Netto-N-Mineralisation bestimmt, wobei für 17 unter diesen GWK nur Ackerflächen berücksichtigt wurden.

Die große Spannweite der Werte, die sich auch in der deutschlandweiten Übersicht der zusätzlichen N-Umwandlungsprozesse im Boden (Abb. 5-4) offenbart, ist wahrscheinlich auf methodisch bedingte Unterschiede bei der Berücksichtigung der zusätzlichen N-Umwandlung im Boden zurückzuführen. Möglicherweise war auch das Verständnis der BL, was mit dieser Frage abgefragt werden sollte, unterschiedlich.

Fazit:

Die zusätzliche N-Umwandlung im Boden ist bei der Bestimmung der auswaschungsgefährdeten N-Menge nicht vernachlässigbar. Die GWK-bezogene Auswertung zeigte, dass von einigen Bundesländern bislang keine diesbezüglichen Abschätzungen vorgenommen worden sind. Für die GWK, für die die zusätzliche N-Umwandlung im Boden abgeschätzt wurde, sind die ausgewiesenen Werte aufgrund unterschiedlicher Berechnungsansätze nur eingeschränkt vergleichbar. Um eine bundesweite Konsistenz hinsichtlich der auswaschungsgefährdeten N-Mengen zu erhalten, wird eine länderübergreifende Abschätzung der zusätzlichen N-Umwandlung im Boden sowie ein länderübergreifender Abgleich der Berechnungsansätze empfohlen.

Abb. 5-4: Netto-N-Umwandlungsprozesse im Boden in den GWK in schlechtem Zustand

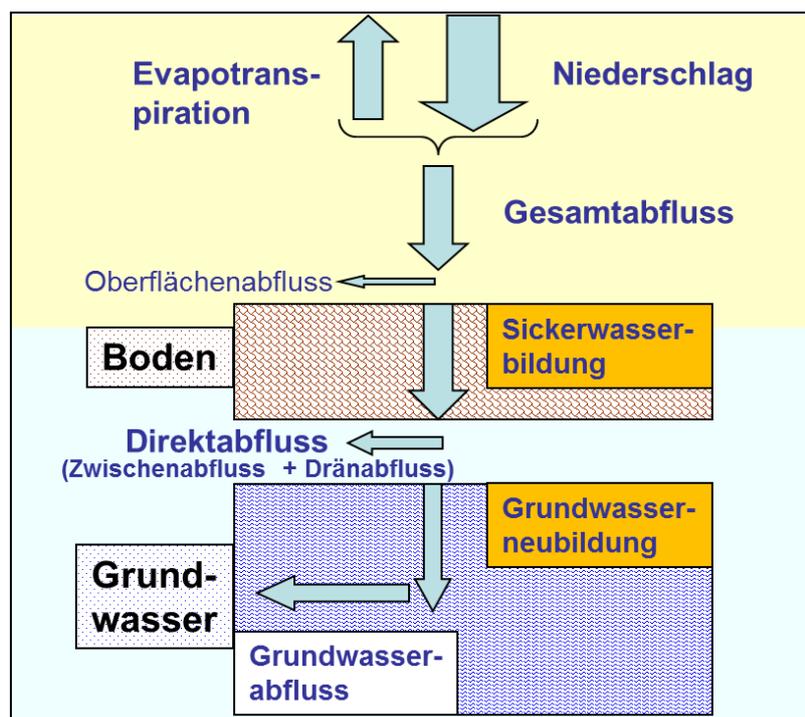


Nachträgliche Zusatzabfrage: In welcher Größenordnung liegt die Sickerwasserhöhe im Boden?

Die mittlere jährliche Sickerwasserrate aus dem Boden (durchwurzelte Zone) ist als die Wassermenge definiert, die den Boden im langjährigen Mittel unter Berücksichtigung des kapillaren Aufstiegs abwärts verlässt. Das dabei gebildete Sickerwasser füllt den Grundwasserspeicher auf und/oder verlässt die Sickerzone als Direktabfluss (Dränageabfluss oder natürlicher Zwischenabfluss) (BLA-GEO, 2004).

Während die Sickerwasserrate sich auf die Untergrenze des durchwurzelten Bodenraumes bezieht, bezeichnet der Begriff der Grundwasserneubildung nach DIN 4049-3 den Zugang von in den Boden infiltriertem Wasser durch den Sickerraum zum Grundwasser. Die eigentliche Grundwasserneubildung, d.h. der Sickerwasseranteil, der den Grundwasserleiter erreicht, findet an der Grundwasseroberfläche des obersten Grundwasserstockwerks statt. Die Sickerwasserrate kann daher im Allgemeinen nicht der Grundwasserneubildung gleichgesetzt werden (vgl. Abb.5-5). Rechnerisch ergibt sich die Sickerwasserrate aus dem Boden aus der Differenz von Niederschlag minus Verdunstung und Oberflächenabfluss. Angegeben wird sie gewöhnlich in mm/a.

Abb. 5-5: Schematische Gegenüberstellung von Sickerwasserbildung und Grundwasserneubildung

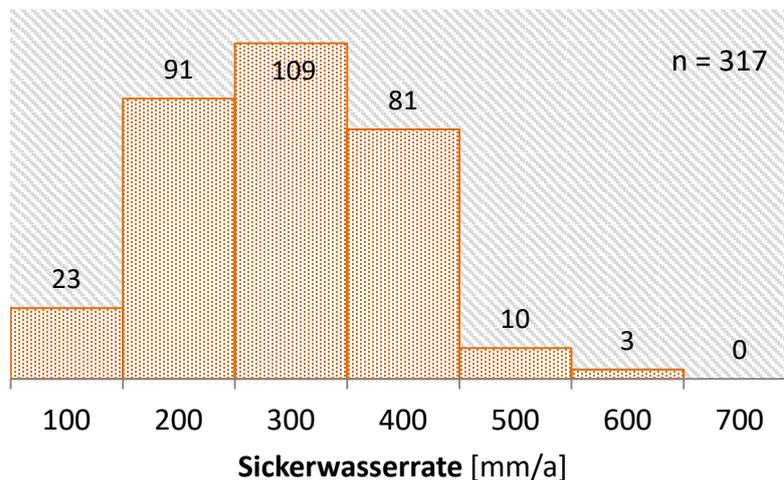


Die Sickerwasserrate ist entscheidend für die Verlagerung und Auswaschung von Nitrat aus dem Boden (FISBo BGR). Die Nitratkonzentration, die das Sickerwasser unterhalb der durchwurzelten Bodenzone aufweist, wird stark von der Sickerwasserhöhe bestimmt. Bei sehr geringen Sickerwasserraten reicht bereits eine geringe auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden aus, damit im Sickerwasser der Schwellenwert von 50 mg/l Nitrat überschritten wird.

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die Sickerwasserrate für alle GWK ermittelt worden ist. Jedoch erfolgte die vorgenommene Abschätzung methodisch nicht einheitlich. Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 5-6) sowie die deutschlandweite Karte Abb. 5-7) zeigen die mittleren langjährigen Sickerwasserraten in Deutschland für die GWK in schlechtem Zustand. Generell zeigen die ausgewiesenen Werte

der Sickerwasserraten aufgrund unterschiedlicher hydrologischer und bodenkundlicher Standortbedingungen eine große Spannweite.

Abb.5-6: Häufigkeitsverteilung der Sickerwasserraten in den GWK in schlechtem Zustand



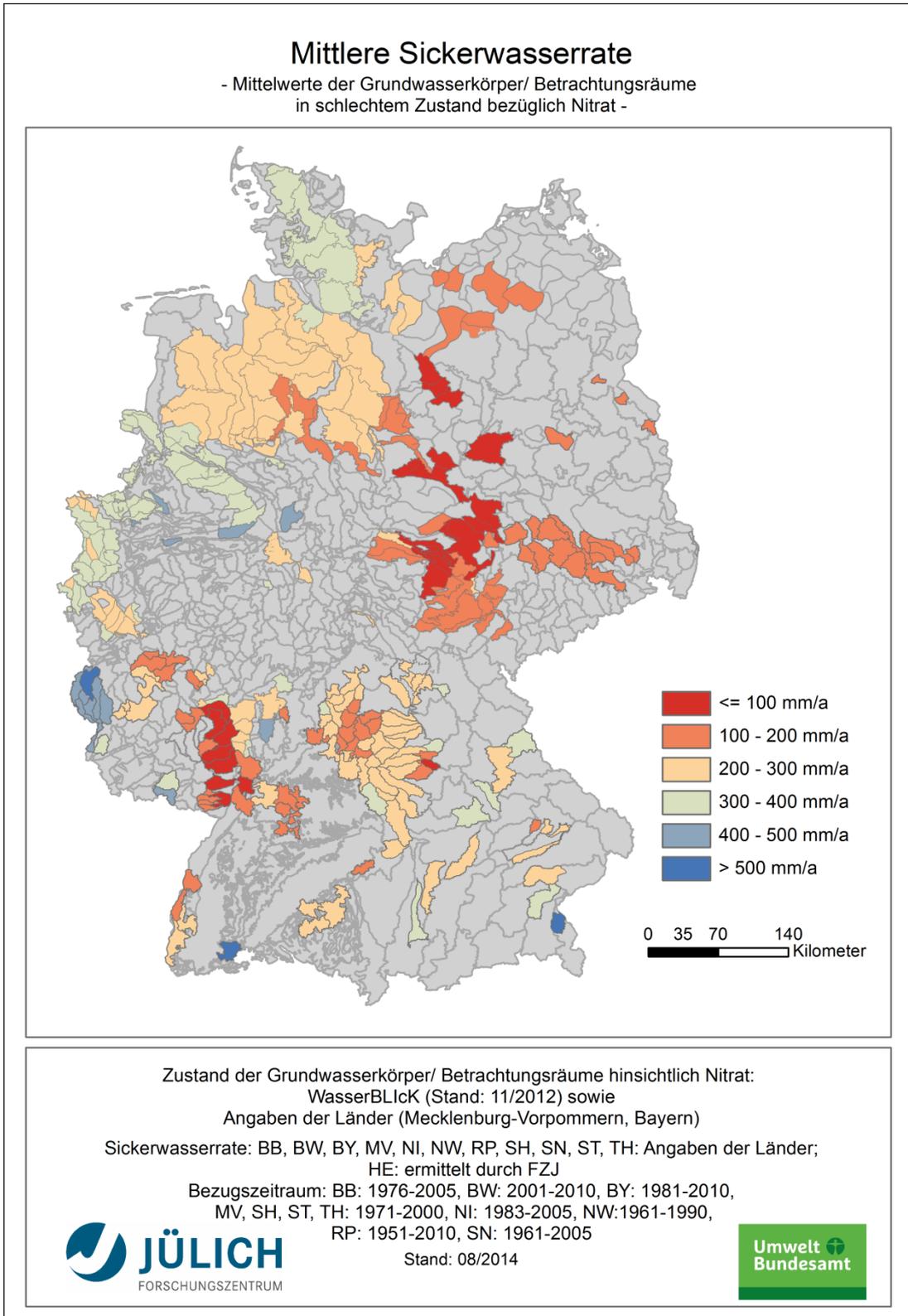
Die in Abb. 5-6 dokumentierten Werte der Sickerwasserraten in den einzelnen GWK liegen zwischen weniger als 100 mm/a und mehr als 600 mm/a. Mit der größten Häufigkeit treten Sickerwasserraten zwischen 200 und 300 mm/a auf. Die deutschlandweite Übersicht der Sickerwasserrate (Abb. 5-7) zeigt, dass Werte von über 400 mm/a nur vereinzelt und vor allem im äußersten Westen Deutschlands auftreten.

Die hohen Werte stehen dort vor allem in Zusammenhang mit der Niederschlagsverteilung. Im Osten liegen die Sickerwasserraten aufgrund des zunehmenden kontinentalen Einflusses selten über 200 mm/a.

Fazit:

Die Sickerwasserhöhe ist bei der Bestimmung der Nitratkonzentration im Sickerwasser bzw. der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden nicht vernachlässigbar. Für die GWK, für die eine Sickerwasserhöhe abgeschätzt wurde, sind die ausgewiesenen Werte aufgrund unterschiedlicher Berechnungsansätze aber nur eingeschränkt vergleichbar. Daher wird ein länderübergreifender Abgleich der Ermittlung der Sickerwasserhöhen empfohlen. Trotz dieser Einschränkung zeigen sich aber bereits große regionale Unterschiede. Vor allem in GWK in den östlichen Bundesländern liegt die Sickerwasserhöhe häufig unter 200 mm/a, während in einigen Mittelgebirgsregionen und im Alpenvorland Sickerwasserhöhen über 500 mm/a auftreten können. In diesen Regionen kann die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden also um ein vielfaches höher sein als in den östlichen Bundesländern, ohne dass die Nitratkonzentration im Sickerwasser 50 mg/l übersteigt.

Abb. 5-7: Mittlere langjährige Sickerwasserrate in den GWK in schlechtem Zustand



Frage 9: Wurden die Fließzeiten im GWK abgeschätzt?

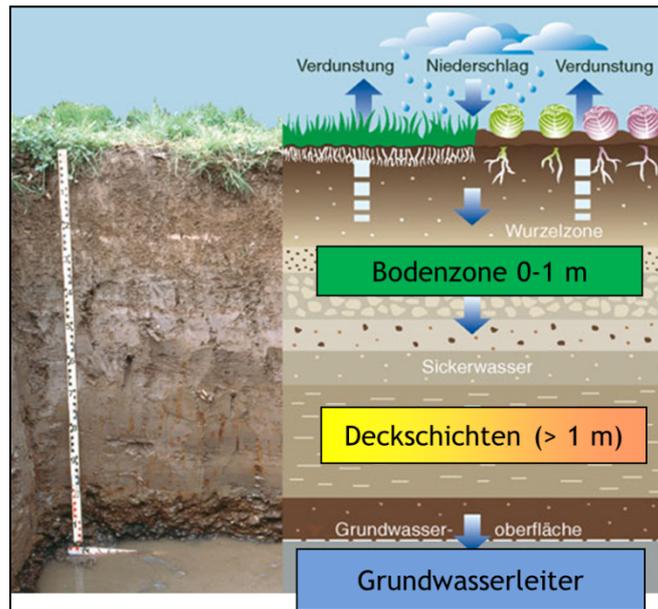
Wenn sich in den letzten Jahren die Nitratgehalte in einem GWK nicht verändert haben, ist dies nicht zwangsläufig ein Beleg dafür, dass die Maßnahmenprogramme unwirksam sind. In der wasserwirtschaftlichen Praxis wird häufig beobachtet, dass Schadstoffgehalte im Grundwasserkörper auch dann noch steigen können, wenn gezielte Maßnahmen zur Verringerung des N-Eintrags schon eingeleitet worden sind.

Ob eine Veränderung der Grundwasserbelastung nach Beginn der Maßnahmen bereits zum jetzigen Zeitpunkt gemessen werden kann, hängt ganz entscheidend von der Fließstrecke und der Fließzeit des Wassers in der durchwurzelten Bodenzone, in den Grundwasserdeckschichten (der gesamte Bereich unterhalb der durchwurzelten Bodenzone bis zur Grundwasseroberfläche) und im Grundwasserleiter ab. Abb. 5-8 verdeutlicht diese Zusammenhänge schematisch.

Die Fließstrecken im durchwurzelten Bodenbereich und in den Grundwasserdeckschichten liegen je nach Mächtigkeit der ungesättigten Zone in der Regel zwischen ca. 1 und 50 m. Je nach den vorherrschenden hydrologischen Standortbedingungen und der Mächtigkeit der ungesättigten Zone können dabei Fließzeiten zwischen Wochen und mehreren Jahren auftreten (Wendland et al., 2004; 2011), bevor der zur Grundwasserneubildung beitragende Anteil der Sickerwasserrate den Grundwasserleiter überhaupt erreicht. Die Fließzeit des Grundwassers bis zur Erreichung eines Vorfluters oder einer Grundwassermessstelle hängt neben hydrogeologischen Standortbedingungen auch von der Fließstrecke im Grundwasserleiter ab. Je nach der Entfernung zur Grundwassermessstelle kann die Fließstrecke dabei bis zu mehrere Kilometer betragen und die entsprechende Fließzeit mehrere Jahrzehnte (Wendland et al., 2011).

Mit Frage 9 sollte vor diesem Hintergrund ermittelt werden, in welcher Größenordnung die Fließzeiten in den einzelnen GWK liegt, wobei sich aus dem oben Aufgeführten ergibt, dass es um die Fließzeiten im Boden, den Grundwasserdeckschichten und im Grundwasserleiter geht. Basierend auf diesen Fließzeiten lässt sich eine Zeitspanne abschätzen, nach welcher erwartet werden kann, dass eine eingeleitete Maßnahme eine positive Auswirkung auf die Grundwasserbeschaffenheit (abnehmende Nitratkonzentration) hat. Darüber hinaus kann über die Fließzeiten ggf. im Einzelfall begründet werden, warum die Erreichung der Ziele der EU- Wasserrahmenrichtlinie trotz eingeleiteter Maßnahmenprogramme innerhalb des ersten oder mehrerer Bewirtschaftungszyklen (bis 2015) nicht möglich sein wird.

Abb. 5 8: Schematische Darstellung der Fließstrecken im durchwurzelten Bodenbereich, den Grundwasserdeckschichten sowie im Grundwasserleiter (Profilschnitt in Anlehnung an http://www.gd.nrw.de/a_pjschg1.htm)



Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass Ermittlungen zur Verweilzeit nicht für alle GWK vorgenommen worden sind. In den Ländern, die solche Ermittlungen vorgenommen haben, erfolgte dies methodisch zudem nicht einheitlich. Von reinen Erfahrungswerten über kleinräumige, isotopengestützte Detailuntersuchungen reichte die Auswahl der angewendeten Verfahren dabei bis hin zu modellgestützten Analysen. In einer Reihe von Bundesländern wurden Fließ- bzw. Verweilzeitenabschätzungen in Zusammenhang mit landesweiten Modellierungen zum reaktiven (verweilzeitabhängigen) Nitrattransport im Boden und Grundwasser vorgenommen. Aber in keinem Bundesland, das Ergebnisse zu Fließzeiten übermittelt hat, erfolgte deren Ermittlung gezielt im Hinblick auf die Prognose von Zeiträumen, bis N-Minderungsmaßnahmen Wirkung zeigen.

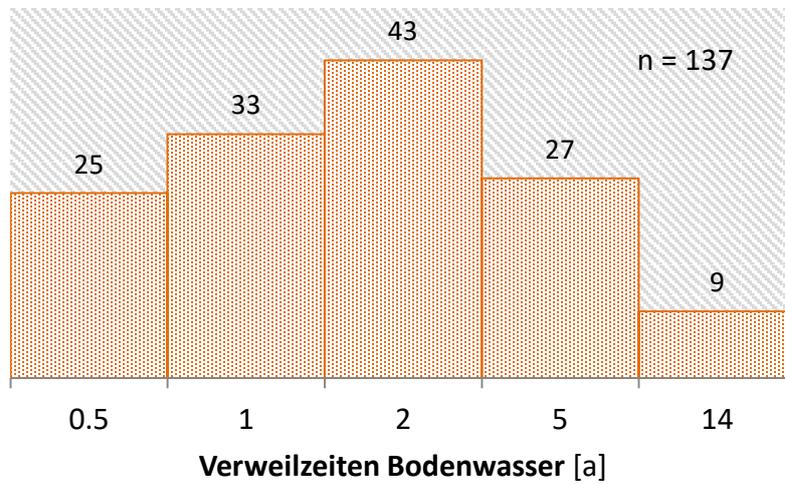
Vor diesem Hintergrund hat kein Bundesland Fließ- bzw. Verweilzeiten für alle drei Kompartimente (Boden, Deckschichten, Grundwasser) zur Verfügung gestellt. Da die Angaben in der Regel zudem entweder nur auf die Bodenzone, oder die Deckschichten oder das Grundwasser bezogen waren, werden die Fließ- bzw. Verweilzeiten im Folgenden separat voneinander dargestellt.

Verweilzeit im durchwurzelten Bodenbereich:

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die Abschätzung der Verweilzeit im Boden nicht von allen Bundesländern vorgenommen worden ist. In den Ländern, die eine solche Abschätzung vorgenommen haben, erfolgte diese modellgestützt basierend auf dem -oder angelehnt an das- Modell DENUZ „Denitrifikation in der ungesättigten Zone“ (Kunkel & Wendland, 2006), vgl. Frage 2.3. In diesem Modell errechnet sich die Verweilzeit im Boden nach der von Hennings (1994) vorgeschlagenen Vorgehensweise, d.h. unter Einbeziehung von Sickerwasserhöhen und der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums. Ermittelt wird auf diese Weise eine mittlere langjährige Verweilzeit, in der die innerjährige Variabilität der Sickerwasserverlagerung nicht berücksichtigt wird.

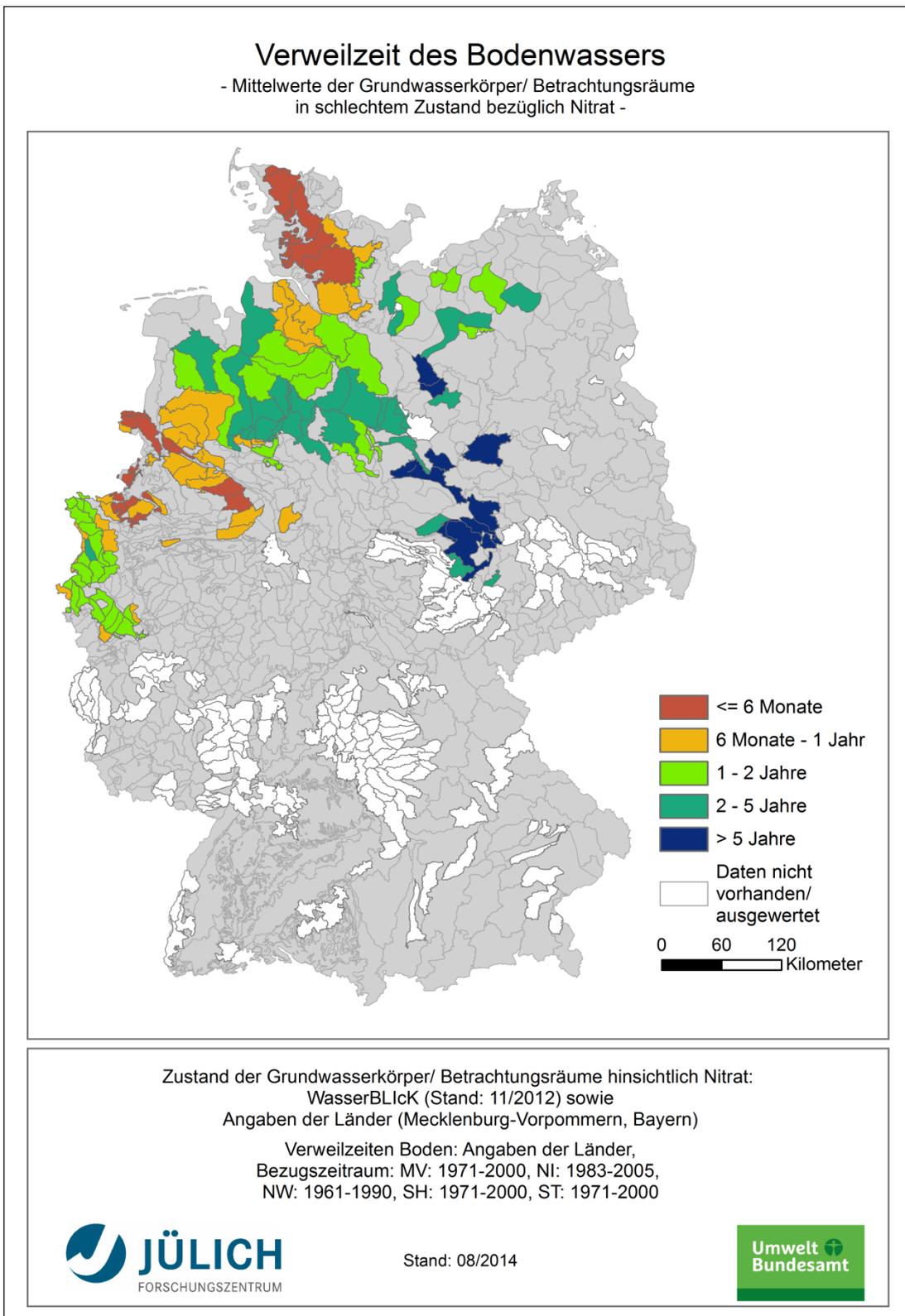
Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 5-9) sowie die deutschlandweite Karte (Abb. 5-10) zeigen die Größenordnung der ausgewiesenen Verweilzeiten im Boden der GWK in schlechtem Zustand. Generell sind die ausgewiesenen Verweilzeiten im Boden der entsprechenden GWK aufgrund der vergleichbaren Modellansätze konsistent zueinander.

Abb. 5-9: Häufigkeitsverteilung der Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich der GWK in schlechtem Zustand



Wie aus Abb. 5-9 und Abb. 5-10 deutlich wird, liegen die Verweilzeiten im durchwurzelten Boden in den meisten Grundwasserkörpern zwischen 1 und 2 Jahren. Vor allem in GWK mit geringer Sickerwasserhöhe und einem Überwiegen von lehmigen Böden liegen die Verweilzeiten meist über 2 Jahre. In GWK, in denen Böden mit geringem Wasserspeichervermögen und hoher Sickerwasserrate auftreten, dominieren dagegen Verweilzeiten unter 6 Monaten. Wenn zusätzlich der Grundwasserflurabstand gering ist, sind diese Standorte sehr nitrat Auswaschungsgefährdet, d.h. es besteht ein hohes Risiko für eine Nitratbelastung des Grundwassers.

Abb. 5 10: Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich der GWK in schlechtem Zustand



Umgekehrt können sich bei solchen Standortbedingungen N-Minderungsmaßnahmen schon nach kurzer Zeit positiv bemerkbar machen und die Nitratkonzentration im Grundwasser verringern. Sollte die Einrichtung eines Monitoring-Netzwerks zum gezielten Effekt-Monitoring von N-Minderungsmaßnahmen in Erwägung gezogen werden, so wären die Standorte mit dem höchsten Nitratauswaschungspotential hierfür sehr geeignet.

Eine relativ lange Verweilzeit im Boden ist dagegen als günstig zu bewerten, weil damit die Möglichkeit besteht, Stickstoff den Pflanzen verfügbar zu machen bzw. Nitrat als Nährstoff für das Pflanzenwachstum nutzen zu können. Die Notwendigkeit, Stickstoff im Überschuss dem Boden zuzufügen um Auswaschungsverluste auszugleichen ist bei langen Verweilzeiten daher geringer.

Verweilzeit in den Grundwasserdeckschichten:

Verweilzeiten in den Grundwasserdeckschichten wurden für eine nur sehr begrenzte Anzahl von GWK zur Verfügung gestellt, weshalb auf Häufigkeitsdarstellungen und eine kartografische Darstellung verzichtet wird. Für die GWK, für die eine entsprechende Berechnung durchgeführt worden ist, erfolgte diese basierend auf dem Schätzverfahren von Hölting et al. (1995) zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. In der Regel wird hierbei zudem keine Unterscheidung in den durchwurzelten Bodenbereich und die eigentlichen Grundwasserdeckschichten vorgenommen. Die folgenden zusammenfassenden und generalisierenden Werte sind vor diesem Hintergrund zu interpretieren.

Die über das Verfahren von Hölting et al. (1995) ausgewiesenen Fließzeiten sind vor allem für grundwasserferne Standorte (Flurabstand > 2 m) relevant, in denen die Mächtigkeit der Deckschichten allerdings mehrere 10er – Meter betragen kann. Die übermittelten Verweilzeiten in den Deckschichten überdecken einen Wertebereich von weniger als 1 Jahr bis zum Teil deutlich mehr als 10 Jahre. Hohe Verweilzeiten von über 5 Jahren ergeben sich dabei vor allem für grundwasserferne Lockergesteinsregionen, während sich in Festgesteinsregionen meist weitaus niedrigere Verweilzeiten ergeben.

Aber auch hier spielt die regionale Wasserhaushaltssituation eine große Rolle. Bei gleicher Mächtigkeit und bei gleicher Schichtung (bzw. Gesteinseinheit) ergeben sich durch die geringeren Sickerwasserraten vor allem in den östlichen Bundesländern höhere Verweilzeiten in den Grundwasserdeckschichten als bei einer vergleichbaren Standortsituation in den westlichen Bundesländern.

Das Ergebnis dieser, aufgrund der verfügbaren Daten nur sehr rudimentär möglichen Auswertung, dokumentiert die Bedeutung einer GWK-bezogenen Ermittlung der Verweilzeiten in den Grundwasserdeckschichten. Alleine die Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich und den Grundwasserdeckschichten können folglich dazu führen, dass Schadstoffe erst mit einer u.U. erheblichen Zeitverzögerung im Grundwasserleiter ankommen. Die gleiche Zeitverzögerung muss folglich veranschlagt werden um abzuschätzen, wann sich N-Minderungsmaßnahmen an der Grundwasser Oberfläche bemerkbar machen. Vor diesem Hintergrund wird eine GWK-bezogene Ermittlung der Verweilzeiten im Boden und den Grundwasserdeckschichten empfohlen.

Fließzeit im Grundwasserleiter:

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die Abschätzung der Fließzeit im Grundwasserleiter auf Ebene der Grundwasserkörper nicht von allen Bundesländern vorgenommen worden ist. Einige Länder ermittelten die Fließzeiten für lithostratigraphische Einheiten oder für einzelne Messstellen, so dass eine GWK-bezogene Darstellung nicht möglich ist. Andere gaben Spannweiten von bis zu 100 Jahren an oder bemerkten, dass die Daten zum Zeitpunkt der Befragung noch nicht verfügbar seien.

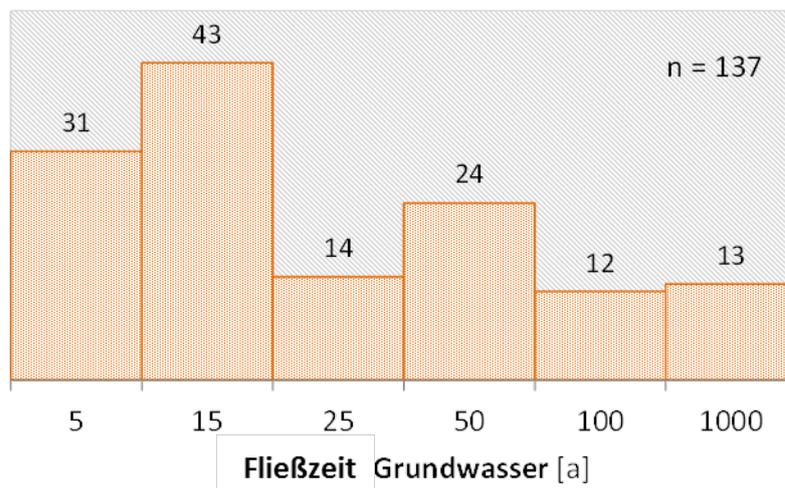
In die folgenden Auswertungen einbezogen sind nur Fließzeiten, welche auf Ebene der Grundwasserkörper übermittelt wurden. In den Ländern, die solche Daten zur Verfügung gestellt haben, erfolgte die Berechnung der Fließzeiten modellgestützt basierend auf dem -oder angelehnt an das- Modell WEKU (Kunkel & Wendland, 1997). Das WEKU-Modell bietet die Möglichkeit, unter Berücksichtigung zweidimensionaler Datengrundlagen eine Abbildung des Weg-/Zeitverhaltens der grundwasserbürtigen Abflusskomponenten zu liefern. Es basiert auf einem analytischen zweidimensionalen, rasterbasierten Ansatz, mit dem abgeschätzt werden kann, welche Zeiträume das in den Aquifer eingesickerte Wasser benötigt, um nach der Passage des obersten Grundwasserleiters eine Grundwassermessstelle, die in der Strömungsrichtung des Grundwassers liegt, zu erreichen (Kuhr et al., 2011). Die hierzu benötigten

Informationen können durch Grundwassergleichenpläne und hydrogeologische Übersichtskarten zur Verfügung gestellt werden.

Dort, wo das WEKU-Modell zum Einsatz gekommen ist, erfolgten die WEKU-Modellierungen bislang in der Regel in Zusammenhang mit landesweiten Modellierungen zum reaktiven (fließzeitabhängigen) Nitrattransport im Grundwasser. In allen diesen Anwendungen wurden jedoch nur die Fließzeiten des Grundwassers bis zum Austritt in einen Vorfluter bestimmt. Fließzeiten des Grundwassers bis zu Grundwassermessstellen wurden nicht vorgenommen, so dass die im Folgenden zusammengefassten Ergebnisse im eigentlichen Sinne eine nur sehr eingeschränkte Gültigkeit im Hinblick auf die Prognose von Zeiträumen haben, bis N-Minderungsmaßnahmen an Grundwassermessstellen Wirkung zeigen.

Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 5-11) sowie die deutschlandweite Karte (Abb. 5-12) zeigen die Größenordnung der ausgewiesenen Fließzeiten in den Grundwasserleitern der GWK in schlechtem Zustand. Generell sind die ausgewiesenen Fließzeiten der entsprechenden GWK aufgrund der vergleichbaren Modellansätze zwar konsistent zueinander, aber auf den Vorfluter bezogen.

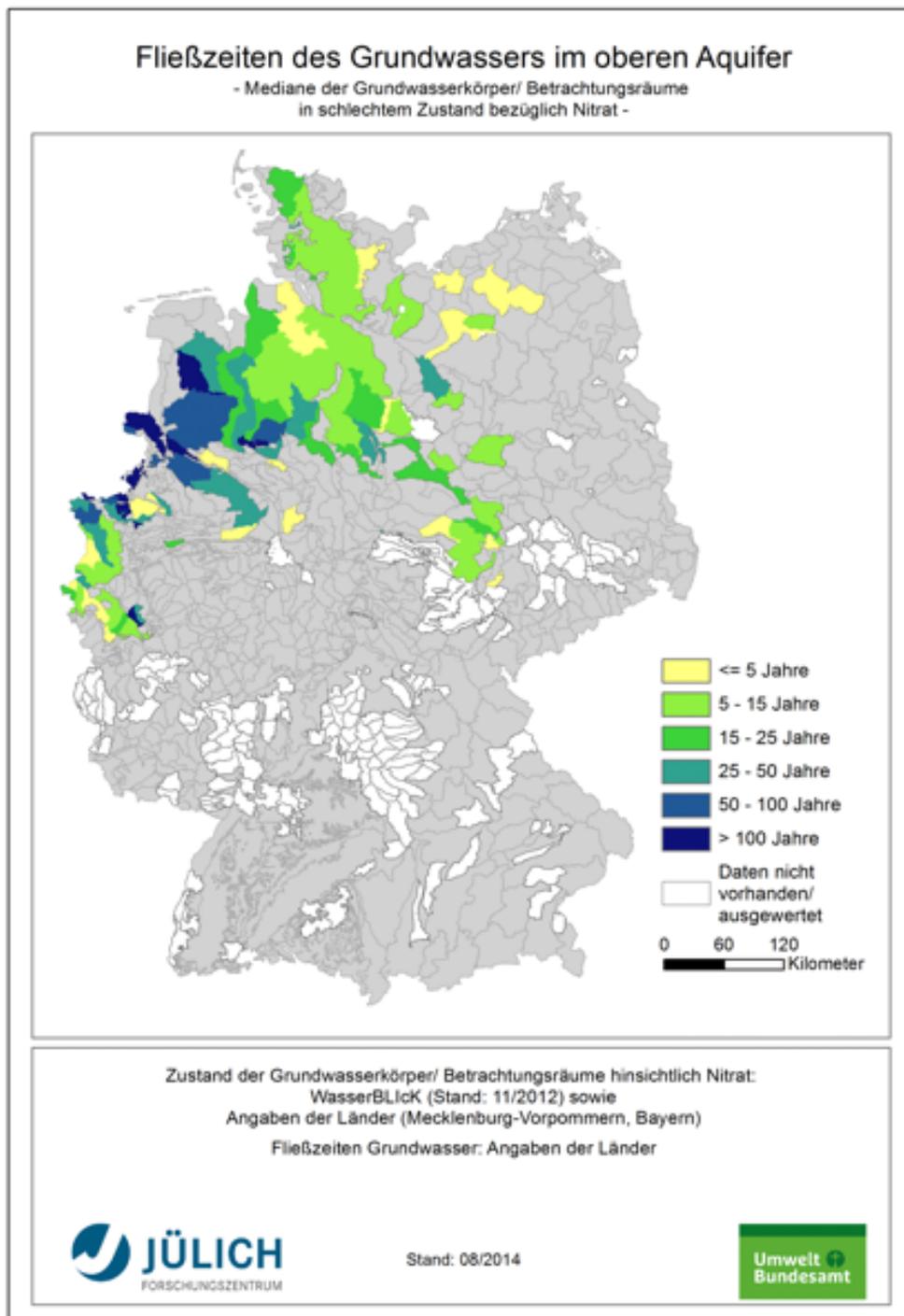
Abb. 5-11: Häufigkeitsverteilung der Fließzeiten im Grundwasser bis Vorflutereintritt für die GWK in schlechtem Zustand



Wie aus Abb. 5-11 und Abb. 5-12 deutlich wird, liegen die Fließzeiten im Grundwasser in den Grundwasserkörpern am Häufigsten zwischen 5 und 15 Jahren. GWK mit deutlich höheren Fließzeiten treten jedoch auf, vor allem dort, wo die GWK ein geringes Grundwassergefälle aufweisen.

Alleine die ermittelten Fließzeiten im Grundwasser sind ein Hinweis darauf, dass N-Minderungsmaßnahmen sich in vielen GWK erst nach 1 bis 2 Bewirtschaftungszyklen, zum Teil aber auch erst nach 3 Bewirtschaftungszyklen gemäß EG-WRRRL, positiv bemerkbar machen und die Nitratkonzentration im Grundwasser verringern werden. Zum gezielten Effekt-Monitoring von N-Minderungsmaßnahmen wären dementsprechend vor allem die GWK mit geringen Fließzeiten am geeignetsten.

Abb. 5-12: Fließzeiten des Grundwassers bis zum Eintritt in den Vorfluter in den GWK im schlechten Zustand



An dieser Stelle sei noch einmal explizit darauf hingewiesen, dass sich die mit dem WEKU-Modell ermittelten Fließzeiten des Grundwassers auf den Eintritt in den Vorfluter beziehen. Dementsprechend liefern die in Abb. 5-12 dargestellten Werte für die hier zu beantwortende Fragestellung nur grobe Richtwerte.

Eine bundesweite, messstellenbezogene Ermittlung der Fließzeiten im Grundwasserleiter der GWK im schlechten Zustand wegen Nitrat analog zur bereits im UBA-Projekt „Bewertung und Optimierung von

Grundwasserschutzmaßnahmen nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie“ (UFOPLAN 3707 28 200) vorgeschlagenen Vorgehensweise (Kuhr et al. 2011) wird empfohlen. Streng genommen ist es erst basierend auf einer solchen messstellenbezogenen Ausweisung von Grundwasserfließzeiten möglich, Wirkungszeiträume zwischen Anwendung einer Maßnahme und deren Auswirkung im Hinblick auf den Zustand des Grundwassers abzuschätzen. Folglich ist damit erst eine messstellenbezogene Fließanalyse eine fachlich abgesicherte Entscheidungsgrundlage, auf deren Basis gegenüber der EU-Kommission stichhaltig begründet werden kann, warum die Ziele der EU-WRRL nicht erreicht wurden und ggf. eine Fristverlängerung beantragt wird.

Fazit:

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass Ermittlungen zur Verweil- bzw. Fließzeit nicht für alle GWK vorgenommen worden sind. In den Ländern, die solche Ermittlungen vorgenommen haben, erfolgte dies methodisch zudem nicht einheitlich. In einer Reihe von Bundesländern wurden Fließ- bzw. Verweilzeitenabschätzungen in Zusammenhang mit landesweiten Modellierungen zum reaktiven (verweilzeitabhängigen) Nitrattransport im Boden und Grundwasser vorgenommen. Aber in keinem Bundesland, das Ergebnisse zu Verweil- bzw. Fließzeiten übermittelt hat, erfolgte deren Ermittlung gezielt im Hinblick auf die Prognose von Zeiträumen, bis N-Minderungsmaßnahmen Wirkung zeigen. Kein Bundesland hat zudem Verweil- bzw. Fließzeiten für alle drei Kompartimente (Boden, Deckschichten, Grundwasser), die vom Wasser durchflossen werden, zur Verfügung gestellt.

Alleine die mittleren Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich und den Grundwasserdeckschichten liegen für einige der GWK im schlechten Zustand bei mehr als 10 Jahren. Dies kann dazu führen, dass aus dem Boden ausgewaschenes Nitrat u.U. erst mit einer erheblichen Zeitverzögerung im Grundwasserleiter ankommt. Weitere 5 – >100 Jahre sind für die Fließzeiten im Grundwasserleiter der GWK im schlechten Zustand zu veranschlagen. Die ermittelten Verweil- und Fließzeiten sind ein Hinweis darauf, dass N-Minderungsmaßnahmen sich in vielen GWK mit einem Zeitverzug von 1 bis 2, zum Teil aber auch erst nach 3 oder mehr, Bewirtschaftungszyklen gemäß EG-WRRL positiv bemerkbar machen und die Nitratkonzentration im Grundwasser verringern werden.

Es wird empfohlen, die hier dargestellten Fließzeiten des Grundwassers bis zum Erreichen des Vorfluters durch messstellenbezogene Grundwasserfließzeiten zu ergänzen. Diese könnten analog zum bereits im UBA-Projekt „Bewertung und Optimierung von Grundwasserschutzmaßnahmen nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie“ (UFOPLAN 3707 28 200) gewählten Vorgehen (Kuhr et al. 2011) ermittelt werden. Als Ergebnis einer solchen Ergänzung lägen Fließ- bzw. Reaktionszeiten für die Messstellen vor, die für die Bewertung der Zielerreichung (Nitrat/WRRL-Berichte oder Bewertung des chemischen Zustandes eines GWK) verwendet werden. Erst dann ist es möglich abzuschätzen, mit welchen Zeiträumen zwischen der Anwendung einer Maßnahme und deren messbaren Wirksamkeit im Hinblick auf den Zustand des Grundwassers mindestens gerechnet werden muss. Auf Basis dieser Informationen kann dann gegenüber der EU-Kommission stichhaltig begründet werden kann, warum die Ziele der EU-WRRL nicht erreicht werden konnten und ggf. eine Fristverlängerung beantragt wird.

6 Zulässige (auswaschungsgefährdete) N-Mengen:

Frage 3: Wie hoch ist die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden bzw. der N-Minderungsbedarf zur Gewährleistung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l?

Unabhängig von der Höhe des Nitrateintrags in den Grundwasserleiter nennt die EG-WRRL einen Nitratgehalt von 50 mg/l als Schwellenwert für das Grundwasser. Während die Nitratkonzentration in oxidierten Grundwasserleitern häufig in einem direkten Zusammenhang zur Höhe des Nitrateintrags mit dem Sickerwasser steht, so fehlt dieser Bezug bei reduzierten Grundwasserleitern häufig.

Reduzierte Grundwasserleiter weisen nämlich trotz oftmals hoher Stickstoffeinträge mit dem Sickerwasser in der Regel nur geringe Nitratkonzentrationen im Grundwasser auf. Aufgrund von Denitrifikationsprozessen im Grundwasserleiter kommt es in solchen Grundwasserleitern in Abwesenheit von Sauerstoff und der Anwesenheit von organischem Kohlenstoff und/oder Pyritverbindungen bei genügend langer Verweilzeit zu einer signifikanten Reduzierung der ins Grundwasser eingetragenen Nitratmengen. Der Nitratabbau im Grundwasser ist jedoch mit einem irreversiblen Verbrauch des reduzierenden Inventars des Aquifers (organischer Kohlenstoff, Pyrit) verbunden. Sind diese Stoffe verbraucht, ist ein Nitratabbau nicht mehr möglich. In der Folge können die Nitratkonzentrationen im Grundwasser stark ansteigen, was schon seit langem für verschiedene Regionen dokumentiert wird (vgl. z.B. Rohmann und Sontheimer, 1985).

Vor diesem Hintergrund ist es aus Sicht eines vorsorgenden Grundwasserschutzes nicht zielführend für reduzierte Grundwasserleiter höhere N-Einträge in das Grundwasser zuzulassen als für oxidierte Grundwasserleiter, obwohl die Nitratkonzentrationen häufig noch unterhalb von 50 mg/l liegen.

Damit die Nitratkonzentration im Grundwasser oxidierter Grundwasserleiter dauerhaft unter 50 mg/l gesenkt werden kann und das (natürliche) Denitrifikationspotential reduzierter Grundwasserleiter über einen möglichst langen Zeitraum erhalten bleibt, sollte bereits die Nitratkonzentration des Wassers, das ins Grundwasser eintragen wird, einen Wert von < 50 mg/l aufweisen. Als ein Maß hierfür kann in erster Näherung die Nitratkonzentration im Sickerwasser dienen. Wenn sichergestellt ist, dass die Nitratkonzentration im Sickerwasser 50 mg/l nicht übersteigt, kann davon ausgegangen werden, dass der Grundwasserschwellenwert von 50 mg/l Nitrat langfristig nicht (mehr) überschritten wird.

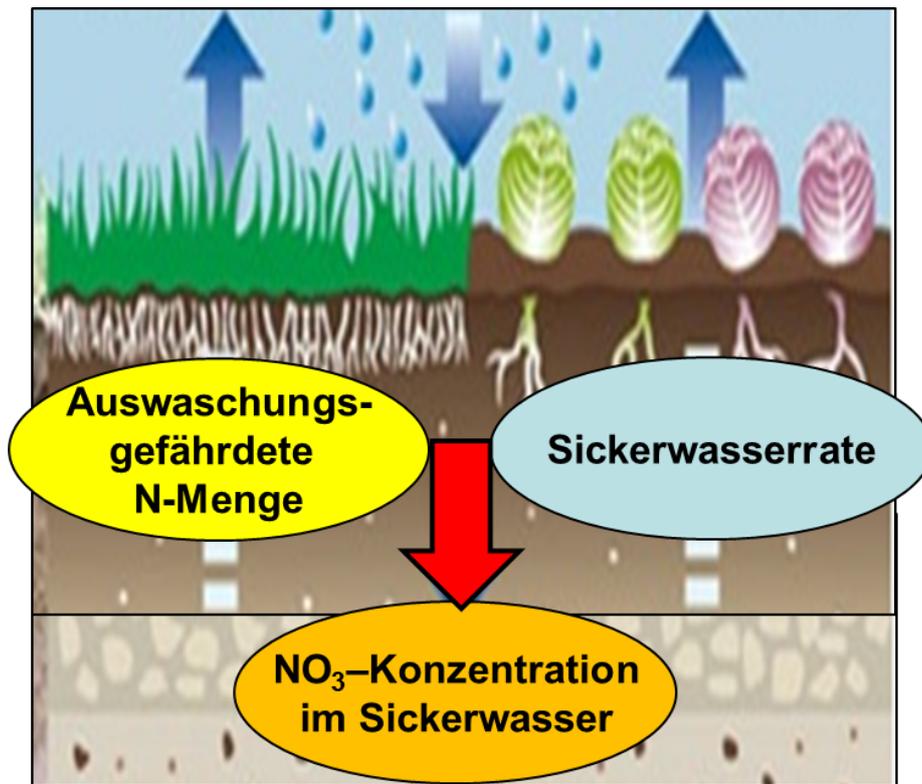
Unabhängig von der Verteilung der N-Frachten auf die Komponenten des Direktabflusses (Zwischenabfluss, Dränabfluss) und die Grundwasserneubildung, ist die Nitratkonzentration im Sickerwasser also ein entscheidender Parameter zur Beurteilung der Nitratbelastung des Grundwassers. Wenn die Nitratkonzentration im Sickerwasser über 50 mg/l liegt, ist davon auszugehen, dass auch die Nitratkonzentration des neugebildeten Grundwassers, d.h. des Sickerwasseranteils, der den obersten Grundwasserleiter erreicht, über 50 mg/l liegt. In diesem Fall besteht die Gefahr, dass die Nitratkonzentration im Grundwasser langfristig steigt bzw. auf einem Wert über 50 mg/l bleiben wird. Bei den GWK im schlechten Zustand ist davon auszugehen, dass die Nitratkonzentration im Sickerwasser (bzw. im neugebildeten Grundwasser) seit längerem über 50 mg/l gelegen hat (bzw. liegt).

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser (C_{NO_3}) berechnet sich durch Kombination der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden mit der Sickerwasserrate (vgl. auch Abb. 6-1):

$$c_{NO_3} = \frac{433 \cdot N}{Q_{SW}}$$

c_{NO_3}	Nitratkonzentration im Sickerwasser	[mg/l]
N	auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden	[kg N/(ha·a)]
Q_{SW}	Sickerwasserrate	[mm/a]

Abb. 6-1: Parameter zur Ermittlung der Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone



Unter der Prämisse einer konstanten mittleren Sickerwasserrate und eines konstanten Denitrifikationspotenzials im Boden bzw. einer Konstanz im Hinblick auf die weiteren N-Umwandlungsprozesse im Boden, ist die Nitratkonzentration im Sickerwasser damit direkt durch die Höhe der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden bestimmt (Kunkel et al., 2008).

Vor diesem Hintergrund sollte für jeden Grundwasserkörper im schlechten Zustand wegen Nitrat zusammengestellt werden, wie groß nach Einschätzung der Länder die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden maximal sein darf, um bereits im Sickerwasser eine Konzentration von < 50 mg/l zu erreichen. Unter den o.a. Prämissen ist es durch eine "Rückwärtsrechnung" dann möglich, die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden zu berechnen, die zu einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l führen würde.

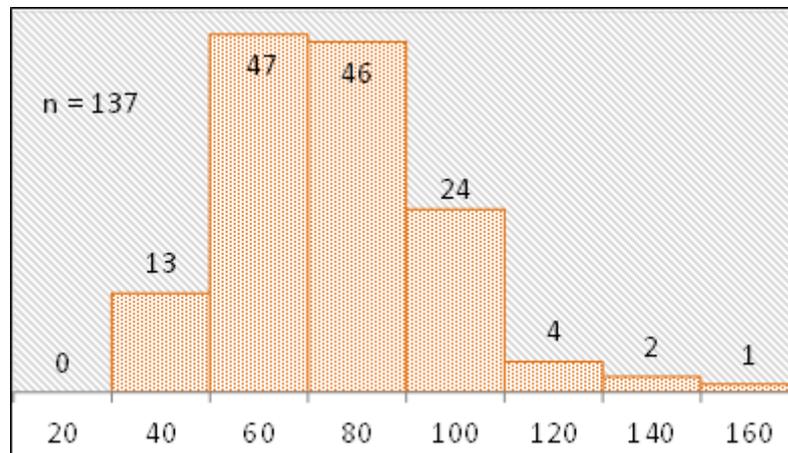
Der diesbezügliche Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden zur Gewährleistung einer Nitratkonzentration im Grundwasser von weniger als 50 mg/l nicht für alle GWK vorgenommen worden ist. In den Ländern, die eine solche Abschätzung vorgenommen haben, erfolgte dies methodisch aber recht einheitlich, so dass die ausgewiesenen Werte der entsprechenden GWK vergleichbar sind.

Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 6-2) sowie die deutschlandweite Karte (Abb. 6-3) zeigen die Größenordnung der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden für die landwirtschaftlichen Flächen der GWK in schlechtem Zustand.

In die Ausweisung der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden sind die für die landwirtschaftlichen Flächen mit Minderungsbedarf berechneten Werte eingegangen. Für die landwirtschaftlich genutzten Flächen ohne Minderungsbedarf wurden die Werte der aktuellen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden auf Basis der aktuellen landwirtschaftlichen N-Überschüsse

(siehe Frage 2.1) angesetzt, da auf diese Weise dem nach EG-WRRL geltenden Verschlechterungsverbot Rechnung getragen wird.

Abb. 6-2: Häufigkeitsverteilung der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Mengen in den Böden der GWK in schlechtem Zustand



Die dokumentierten Werte der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden für die landwirtschaftlichen Flächen der einzelnen GWK liegen zwischen weniger als 40 und mehr als 140 kg/(ha·a). Die überwiegende Mehrheit der GWK weist maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Mengen im Boden zwischen 40 und 80 kg/(ha·a) auf.

Die deutschlandweite Übersicht (Abb. 6-3) zeigt, dass die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden nach Süden und nach Osten abnimmt und dort selten 50 kg/(ha·a) übersteigt. Dies steht in Zusammenhang mit der Zunahme an Ackerstandorten und an Böden mit weniger guten Nitratabbaubedingungen. Einen gewissen Einfluss auf die räumliche Verteilung der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden übt auch die atmosphärische N-Deposition aus, welche von Nordwesten nach Südosten abnimmt (vgl. Abb. 4-5).

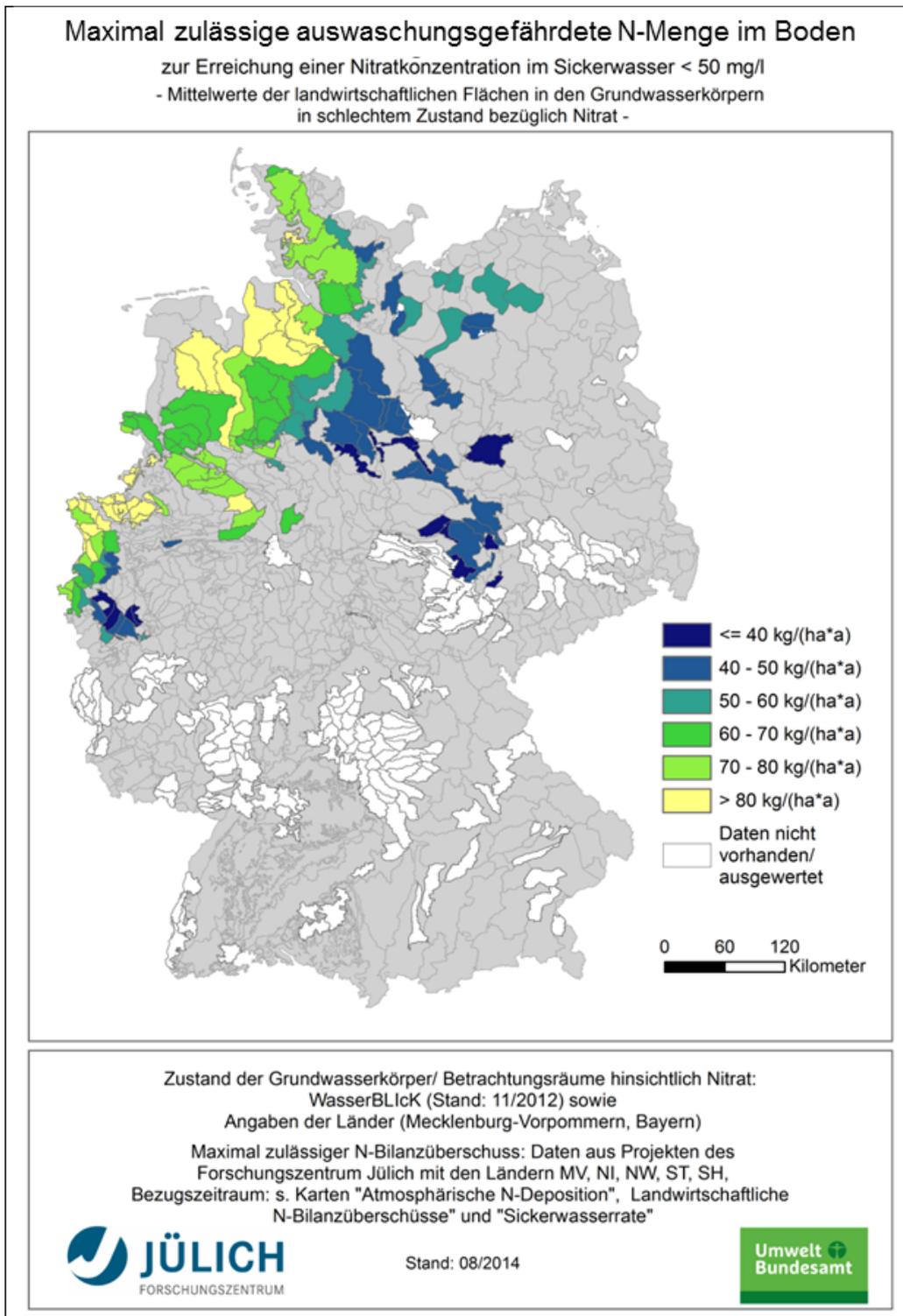
Wenn man einerseits unterstellt, dass die Landwirtschaft der Hauptverursacher der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden und einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von über 50 mg/l und folglich auch für eine Nitratbelastung im Grundwasser von über 50 mg/l ist, und man andererseits davon ausgeht, dass die landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse die einzig sinnvolle Steuergröße zur Reduktion der auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden und damit der Nitratbelastung des Grundwassers darstellen, dann zeigen die maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden bzw. der N-Minderungsbedarf die Größenordnung der N-Minderung auf, die von der Landwirtschaft über N-Minderungsmaßnahmen erbracht werden muss.

Durch einen Vergleich zwischen der ausgewiesenen aktuellen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden und der genannten „maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden“ ergibt sich dann der N-Minderungsbedarf als regionaler Orientierungswert im Sinne eines Reduktionsziels (vgl. Kuhr et al., 2011; 2012). Ist eine Nitratkonzentration von 50 mg/l im Sickerwasser die angestrebte Zielgröße für alle N-Minderungsmaßnahmen, kann damit sichergestellt werden, dass auch der Nitratschwellenwert von 50 mg/l im Grundwasser sicher eingehalten werden kann, auch wenn im tieferen Untergrund bzw. im Grundwasserleiter selbst kein weiterer Nitratabbau stattfinden sollte.

Grundsätzlich ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass unterschiedliche Gebietskulissen enorme Auswirkungen auf die Höhe des zu erbringenden N-Minderungsbedarfs haben können. In Tab. 6-1 wird dieser Effekt exemplarisch für vier anonymisierte GWK im schlechten Zustand, die in die Auswertung eingeflossen sind, aufgezeigt. Betrachtet wurde hierbei der Effekt einer Mittelwertbildung, in die nur die landwirtschaftlich genutzten Flächen in den GWKs mit N-Minderungsbedarf einbezogen

worden sind (linke Spalte). Daneben wurde analysiert, welche Auswirkung eine Mittelwertbildung zur Folge hat, in die alle landwirtschaftlich genutzten Flächen in den GWKs einbezogen wurden (rechte Spalte). In diesem Falle wirken landwirtschaftlich genutzte Flächen ohne N-Minderungsbedarf als „Verdünnungsflächen“.

Abb. 6-3: Maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden zur Gewährleistung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von < 50 mg/l in den GWK in schlechtem Zustand



Tab. 6-1: Effekt unterschiedlicher Gebietskulissen auf die Höhe des ausgewiesenen N-Minderungsbedarfs zur Sicherstellung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l

Mittel der Flächen mit Minderungsbedarf [kg/(ha·a)]	Mittel der landwirtschaftlich genutzten Flächen [kg/(ha·a)]
96	64
91	88
72	37
20	4

Wie zu erwarten ist der ausgewiesene N-Minderungsbedarf dann geringer, wenn die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche eines GWK in die Mittelwertbildung eingeht, da landwirtschaftliche Flächen ohne Minderungsbedarf als „Verdünnungsflächen“ einbezogen werden. Der sich ergebende N-Minderungsbedarf eines GWK nimmt dabei mit zunehmendem Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen ohne Minderungsbedarf ab. Im Hinblick auf die Erreichung des Grundwasserschutzziels ist die Effizienz von N-Minderungsmaßnahmen in GWK mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen ohne Minderungsbedarf genau aus diesem Grunde fraglich. Erfolgt die Mittelung dagegen über die Flächen eines GWK, für die überhaupt ein N-Minderungsbedarf bestimmt wurde, so ist der sich ergebende N-Minderungsbedarf unter Umständen bedeutend höher (siehe Tab. 6-1).

Im Projekt begleitenden Arbeitskreis hat man sich vor diesem Hintergrund darauf verständigt, in die Mittelwertbildung alle landwirtschaftlich genutzten Flächen eines GWK einzubeziehen. Als „Verdünnungsflächen“ werden in diesem Falle nur die landwirtschaftlich genutzten Flächen ohne N-Minderungsbedarf in die Ermittlung des N-Minderungsbedarfs für den GWK einbezogen. Eine verbindliche länderübergreifende Vereinbarung im Hinblick auf die grundlegende Gebietskulisse zur Ausweisung eines N-Minderungsbedarfs wird dringend empfohlen.

Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 6-4) sowie die deutschlandweite Karte (Abb. 6-5) zeigen vor diesem Hintergrund die Größenordnung des N-Minderungsbedarfs in den GWK in schlechtem Zustand. Die Mittelwertbildung erfolgte bei diesen Auswertungen über alle landwirtschaftlich genutzten Flächen der GWK. Generell sind die ausgewiesenen Werte der entsprechenden GWK aufgrund der konsistenten Berechnungsmethode vergleichbar.

Abb. 6-4: Häufigkeitsverteilung des N-Minderungsbedarfs in den Böden der GWK in schlechtem Zustand

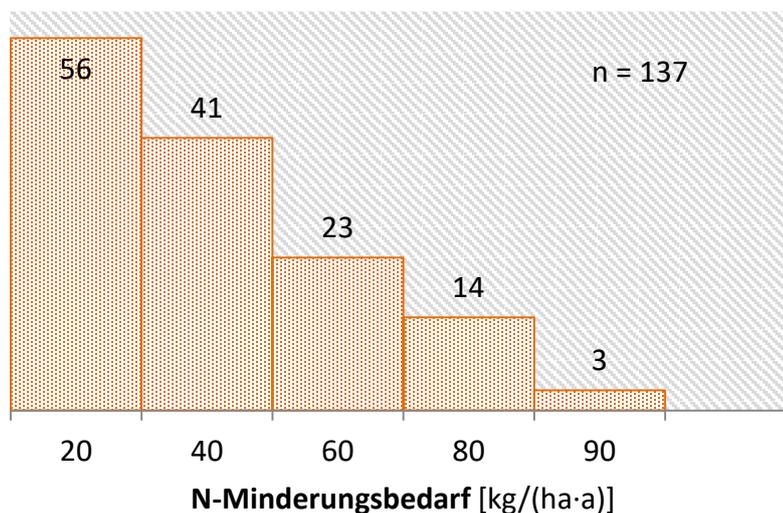
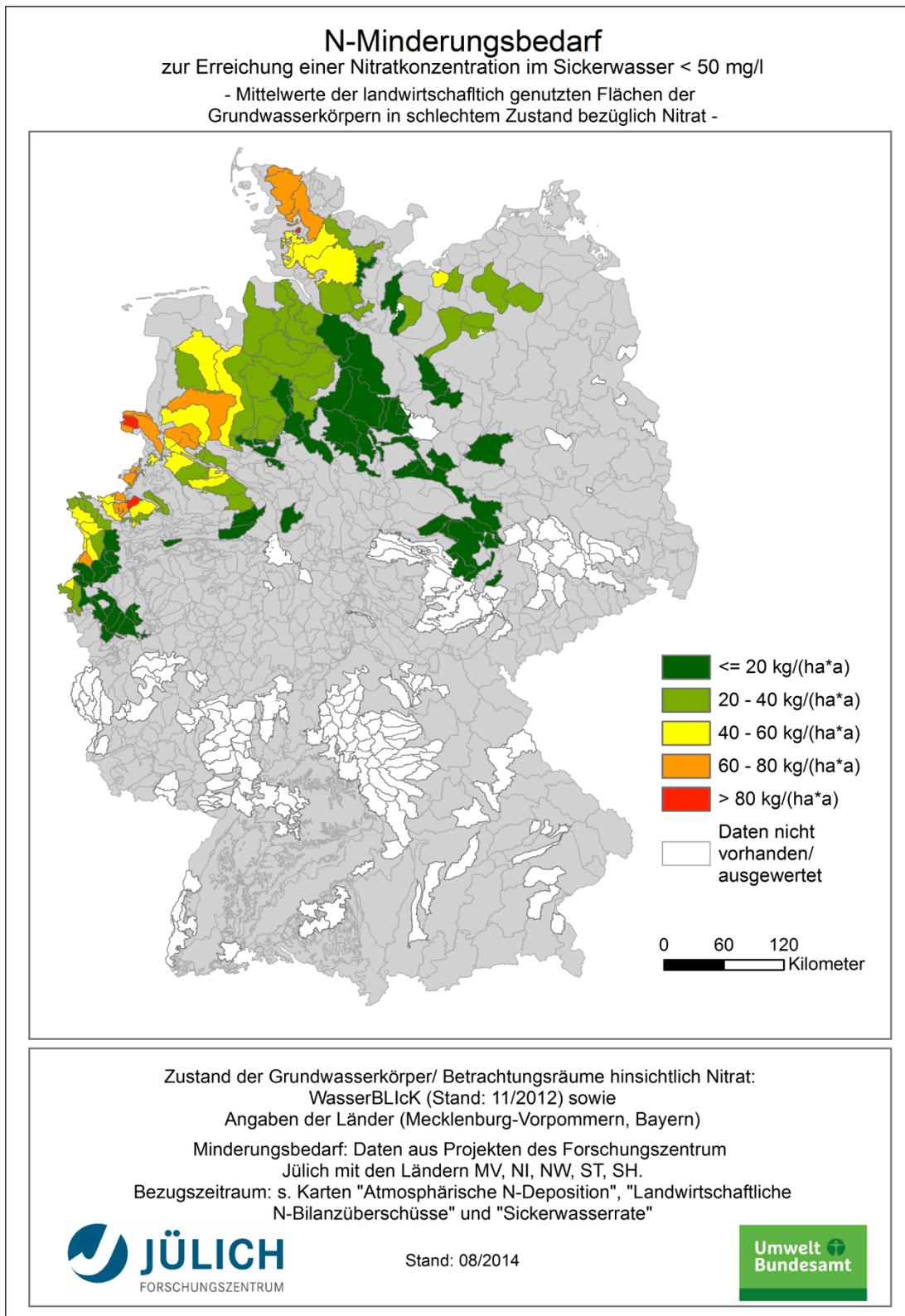


Abb. 6-5: N-Minderungsbedarf in den Böden der GWK in schlechtem Zustand wegen Nitrat zur Erreichung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von < 50 mg/l



Die in Abb. 6-4 dokumentierten Werte des N-Minderungsbedarfs im Boden der einzelnen GWK liegen zwischen 0 und 90 kg/(ha·a). Mit der größten Häufigkeit tritt ein N-Minderungsbedarfs kleiner 20 kg/(ha·a) auf. Wie die deutschlandweite Übersicht des N-Minderungsbedarfs im Boden (Abb. 6-5)

zeigt, treten Werte von über 60 kg/(ha·a) vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auf. Die hohen Werte stehen dort vor allem in Zusammenhang mit einer Kombination aus hohen landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüssen (Abb. 4-3), zum Teil hohen Einträgen durch die atmosphärische Deposition (Abb. 4-5) und geringen Denitrifikationspotenzialen im Boden (Abb. 5-2).

Unbedingt zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang aber auch die hydrologische Standortsituation. Aufgrund der Niederschlagsarmut kommt es in vielen Regionen Ostdeutschlands zu einer nur geringen Sickerwasserbildung (Abb. 5-7). Bei geringen Sickerwasserhöhen können schon geringe Unterschiede bei der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden, z.B. in der Größenordnung von 5 kg/(ha·a), zu großen Änderungen der Nitratkonzentration im Sickerwasser führen. Tab. 6 2 verdeutlicht, wie stark die Nitratkonzentration im Sickerwasser durch die Sickerwasserhöhe beeinflusst wird. Hierfür wurden in Deutschland typischerweise auftretende Sickerwasserhöhen zwischen 50 mm/a und 500 mm/a zugrunde gelegt.

Tab. 6-2: Beispiel für die Sensitivität der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von der Sickerwasserhöhe

Sickerwasserhöhe mm/a	Auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden kg /(ha·a)	Nitratkonzentration im Sickerwasser mg/l
500	55	49
400	45	49
300	34	50
200	29	49
100	11	49
50	5	44

Tab. 6-2 zeigt, dass die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden bei einer Sickerwasserhöhe von 100 mm/a, die für weite Teile z.B. der Magdeburger Börde typisch ist, 10 kg/(ha·a) nicht wesentlich überschreiten sollten, um eine Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l zu gewährleisten. Bei diesen hydrologischen Standortbedingungen führen schon geringfügige, im Unsicherheitsbereich der Datenerhebung liegende Unterschiede bei den auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden zu vollkommen anderen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bzw. zu einem vollkommen anderen N-Minderungsbedarf. In Regionen mit hohen Sickerwasserraten können die auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden dagegen deutlich höher sein, ohne dass die 50 mg/l im Sickerwasser überschritten würden.

Fazit:

Die Rückläufe aus den Bundesländern zeigen, dass die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden bzw. der N-Minderungsbedarf zur Gewährleistung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l nicht für alle GWK in schlechtem Zustand ermittelt wurde. Diese Größe ist aber wesentlich, um geeignete Maßnahmen auswählen zu können, mit denen die notwendige N-Eintragsminderung erreicht werden kann. Um hierbei eine bundesweite Konsistenz zu gewährleisten, wird ein länderübergreifender Abgleich der Berechnungsansätze und Gebietskulissen empfohlen.

Für die GWK, bei denen die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden bzw. der N-Minderungsbedarf zur Gewährleistung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l ermittelt wurde, erfolgte die Mittelwertbildung über alle landwirtschaftlich genutzten Flächen der GWK als eine vom Projekt begleitenden Arbeitskreis praktikabel eingeschätzte Gebietskulisse. Hierbei werden landwirtschaftlich genutzte Flächen ohne N-Minderungsbedarf als „Verdünnungsflächen“ einbezogen.

Für die GWK im schlechten Zustand, für die die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden auf diese Weise abgeschätzt wurde, zeigte sich, dass im Nordwestteil Deutschlands N-Mengen im Boden von zum Teil über 60 kg/(ha·a) möglich sind, während nach weiter Osten dagegen in der Regel erst N-Mengen im Boden von weniger als 40 kg/(ha·a) dazu führen, dass die Nitratkonzentration im Sickerwasser 50 mg/l nicht übersteigt. Der entsprechende N-Minderungsbedarf, der in den GWK hierfür zu erbringen ist, weist ebenfalls regional große Unterschiede auf. In vielen GWK Mittel- und Ostdeutschlands überwiegt ein N-Minderungsbedarf im Bereich unterhalb von 20 kg/(ha·a), während Werte von über 60 kg/(ha·a) vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auftreten.

7 Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verminderung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse

Frage 4: Welche konkreten Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verminderung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse im Boden wurden oder werden durchgeführt?

Frage 5: Bitte geben Sie an, welche der genannten Maßnahmen in den einzelnen GWK durchgeführt wurde?

Die WRRL schreibt vor, dass für die Grundwasserkörper, die im schlechten Zustand sind, Maßnahmenprogramme zur Verminderung der Belastung durchgeführt werden müssen. Die Maßnahmen müssen prinzipiell geeignet sein, um die Einträge in den Boden bzw. die Stickstoffmengen, die ins Grundwasser verlagert werden, in ausreichendem Umfang zu vermindern. Ausreichend heißt in diesem Fall, dass die Maßnahmen geeignet sein müssen, die N-Einträge so weit zu senken, dass die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden nicht überschritten wird. Da die Fragen 4. und 5. eng zusammenhängen, werden sie an dieser Stelle gemeinsam beantwortet.

Mit Frage 4 des Fragebogens wurde abgefragt, welche konkreten Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verminderung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse durchgeführt wurden bzw. durchgeführt werden. Um die Beantwortung der Frage zu erleichtern wurde eine Liste mit den acht Maßnahmen zusammengestellt, die von Osterburg & Runge (2007) als am wichtigsten angesehen wurden, um eine Verminderung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse zu bewirken (vgl. Tab. 7 1). In diesem Zusammenhang sollte eine Einschätzung abgegeben werden, ob sich die in Osterburg & Runge (2007) ausgewiesenen N-Minderungspotentiale (kg/ha) in der Praxis bestätigt haben oder ob andere Erfahrungen gemacht wurden. Darüber hinaus wurde abgefragt, ob weitere konkrete Bewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt wurden, die nicht in Tab. 7 1 aufgeführt sind. In Frage 5 des Fragebogens wurde schließlich darum gebeten, die in den einzelnen GWK umgesetzten Maßnahmen konkret zu benennen.

Tab. 7 1 zeigt dementsprechend die acht wichtigsten Maßnahmen zur Verminderung der N-Einträge nach Osterburg & Runge (2007), deren erwartetes N-Reduzierungspotenzial sowie die Anzahl der GWK, in denen die Maßnahmen konkret umgesetzt wurden. Zusätzliche, oftmals länderspezifische Maßnahmen werden hier nicht explizit ausgewiesen, sondern nur summarisch dargestellt.

Die Auswertungen haben gezeigt, dass vor allem 5 der 8 Maßnahmen des LAWA-Maßnahmenkatalogs länderübergreifend in den GWK im schlechten Zustand zur Anwendung gekommen sind. Dies sind Zwischenfruchtanbau mit spätem Umbruch, Einsatz grundwasserschonender Ausbringungstechnik für Gülle und Gärsubstrate, Grünlandextensivierung, Förderung von Extensivkulturen und Öko-Landbau. Die Maßnahmen wurden dabei in den GWK einzeln oder in Kombination durchgeführt. Für viele GWK im schlechten Zustand wegen Nitrat wurden außerdem zusätzliche Maßnahmen (bis zu 17!) umgesetzt.

Die große Spannbreite der angegebenen Minderungspotenziale (vor allem beim Öko-Landbau, siehe Tab. 7 1) wurde von den Bundesländern bestätigt und hat zur Konsequenz, dass eine pauschale Aussage im Hinblick auf die Effizienz der Maßnahme für die mögliche Zielerreichung in einem GWK nicht möglich ist. Generell ist hierfür eine GWK-spezifische Abschätzung, die auch die Standortbedingungen des GWK berücksichtigt, erforderlich. Zusätzlich muss die notwendige N-Minderungsmenge als Zielgröße für den Grundwasserschutz (vgl. Kap. 6) bekannt sein, sowie der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche in einem GWK, auf den die Maßnahmen zur Anwendung gekommen sind („Umsetzungsgrad“ der Maßnahmen, siehe Frage 10 in diesem Kapitel).

Tab. 7-1: Die acht wichtigsten N-Minderungsmaßnahmen nach Osterburg & Runge (2007), deren N-Minderungspotential und Anzahl der GWK im schlechten Zustand, in denen die Maßnahmen umgesetzt worden ist

Maßnahme nach „LAWA-Maßnahmenkatalog“	Minderungs-Potential des N-Saldos kg/(ha·a)	Maßnahme umgesetzt in GWK/BTRs
1 Verzicht auf Wirtschaftsdünger nach Ernte, wenn keine Zwischenfrucht angebaut wird	20 – 40	22
2 Zwischenfrucht mit frühem Umbruch	0 - 40	22
3 Zwischenfrucht mit spätem Umbruch	0 - 40	144
4 Einsatz grundwasserschonender Ausbringungstechnik für Gülle und Gärsubstrate	10 - 40	153
5 Grünlandextensivierung	10 - 30	161
6 Förderung von Extensivkulturen	20 - 60	109
7 Reduzierte N-Mineraldüngung (Acker) inkl. Verzicht auf Spätgabe bei Getreide	20 - 40	29
8 Öko-Landbau	30 - 120	180
Zwischen 2 und 17 weitere Maßnahmen je nach BL		

Fazit:

Die Rückläufe aus den Bundesländern haben gezeigt, dass es eine Reihe von Maßnahmen aus Osterburg & Runge (2007) gibt, die länderübergreifend in den GWK im schlechten Zustand wegen Nitrat eingesetzt worden sind. Die Maßnahmen wurden dabei in den GWK einzeln oder in Kombination durchgeführt, wobei auch zusätzliche, in der Regel länderspezifische, Maßnahmen umgesetzt wurden.

Die große Spannweite der angegebenen Minderungspotenziale (vor allem beim Öko-Landbau, siehe Tab. 7-1) wurde von den Bundesländern bestätigt und hat zur Konsequenz, dass eine pauschale Aussage im Hinblick auf die Effizienz der Maßnahme für die mögliche Zielerreichung in einem GWK nicht möglich ist. Generell ist hierfür eine GWK-spezifische Abschätzung, die die Standortbedingungen des GWK sowie die notwendige N-Minderungsmenge als Zielgröße für den Grundwasserschutz berücksichtigt, erforderlich.

Frage 6: Haben die eingeleiteten Bewirtschaftungsmaßnahmen dazu geführt, dass GWK wieder einen guten chemischen Zustand erreicht haben (Stand: 31.12.2012) oder bis Ende 2015 erreichen werden?

Frage 7: Haben die eingeleiteten Bewirtschaftungsmaßnahmen dazu geführt, dass die Nitratkonzentrationen im Grundwasser sinken (Trendumkehr)?

Da die Fragen 6 und 7 ebenfalls eng zusammenhängen werden auch diese an dieser Stelle gemeinsam beantwortet. Durch die Frage 6 sollte ermittelt werden, in welchen GWK im schlechten Zustand die in Tab. 7-1 spezifizierten Maßnahmen dazu geführt haben, dass der Übergang vom schlechten in den guten chemischen Zustand erreicht wurde. Durch die Frage 7 sollte zusätzlich ermittelt werden, in welchen GWK die o.g. Maßnahmen dazu geführt haben, dass zumindest eine Trendumkehr erreicht wurde.

Die Auswertung der Antworten auf Frage 6 ergab, dass 19 GWK wieder einen guten chemischen Zustand erreicht haben oder bis Ende 2015 erreichen werden. Für 116 GWK wurde dies verneint. Für die übrigen GWK wurden entweder keine Angaben gemacht oder es wurde konstatiert, dass die Wirksamkeit der Maßnahmen in Hinblick auf eine Veränderung des Zustands der GWK schwer abschätzbar sei.

Die Antworten auf Frage 7 zeigten, dass nur für 6 der 116 GWK, für die der Übergang vom schlechten in den guten chemischen Zustand nicht erreicht wurde, ein fallender Trend ausgewiesen werden konnte. Allerdings wurden für die überwiegende Mehrheit der GWK keine Angaben durch die Länder gemacht (161 GWK). Für 5 GWK wurden steigende Trends festgestellt; zu den übrigen GWK wurden entweder qualitative Einschätzungen abgegeben (z.B. „überwiegend fallende Trends“) oder „uneinheitliche Trends“ ausgewiesen. Eine konsistente Beurteilung der vorhandenen Daten wird dadurch erschwert, dass die zur Trendbestimmung verwendeten Methoden nicht abgefragt und somit nur vereinzelt übermittelt wurden.

Fazit:

Die eingeleiteten Bewirtschaftungsmaßnahmen haben bislang nur in wenigen GW dazu geführt, dass wieder ein guter chemischer Zustand erreicht wurde. Eine zusammenfassende Beurteilung des Trendverhaltens bezüglich der Nitratkonzentrationen im Grundwasser ist auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht möglich. Zu groß ist die Anzahl fehlender Werte und qualitativer Aussagen. Eine konsistente Beurteilung der vorhandenen Daten wird dadurch erschwert, dass die zur Trendbestimmung verwendeten Methoden nicht abgefragt und somit nur vereinzelt übermittelt wurden.

Frage 8: Ist für die GWK ohne Änderung der Nitratkonzentration im Grundwasser eine Veränderung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse seit 2009 erkennbar?

Mit Frage 8 sollte ermittelt werden, ob sich die N-Bilanzüberschüsse aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kg/(ha·a) seit Beginn der Maßnahmenprogramme verändert haben. Zusätzlich wurde die Gebietskulisse abgefragt, für die die Entwicklung der N-Bilanzüberschüsse aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung dokumentiert wird.

Es zeigte sich, dass sich die Effekte der Maßnahmen methodenbedingt nicht auf die regionalen landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse auswirken können. Die meisten Maßnahmen zielen auf eine Steigerung der Effizienz beim Einsatz organischer Wirtschaftsdünger und somit Einsparung von Mineraldünger ab. Veränderungen der auf GWK bezogenen N-Bilanzüberschüsse können daher (aufgrund der fehlenden regionalisierten Daten für den Mineraldüngereinsatz) nicht die Wirkung dieser Maßnahmen abbilden. Dazu müssen einzelbetriebliche Bilanzen ausgewertet und zusammengefasst werden.

Eine zentrale Erfassung und Auswertung der nach Düngeverordnung zu erstellenden einzelbetrieblichen Bilanzen und Zusammenfassung zu regionalisierten Bilanzen als Grundlage einer Dokumentation

der (regionalen) landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse ist zu empfehlen, um bundesweit den jeweiligen Ausgangszustand bzgl. des Nitratreintrags zu dokumentieren. Dies muss dann verknüpft werden mit den dokumentierten Maßnahmenwirkungen. Zum Zwecke des Effektmonitorings wird eine Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen und der entsprechenden Flächen, sowie eine langfristige Dokumentation der betrieblichen N-Überschüsse (Maßnahmenbetriebe) benötigt.

Um aus Veränderungen bei den N-Überschüssen der Landwirtschaft auf Änderungen in der Nitratkonzentration im Grundwasser rückschließen zu können, reicht es aber nicht, ein einzelnes Bilanzjahr heranzuziehen. Um aussagekräftige Trends zu ermitteln, müssen längere Zeiträume (mindestens 5-10 Jahre) betrachtet werden. Nur dadurch lassen sich Änderungen des N-Bilanzüberschusses durch die Fruchtfolge oder Klimaschwankungen weitgehend ausschließen.

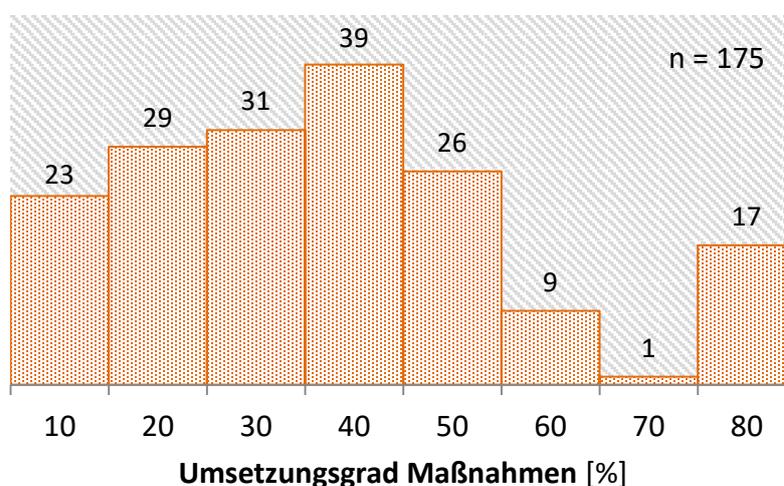
Frage 10: Wie hoch ist im Jahr 2012 der Umsetzungsgrad der eingeleiteten ergänzenden Maßnahmen (entsprechend Frage 4 bzw. 5) zur Verminderung des landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschusses in den einzelnen GWK?

Frage 11: Wenn der Umsetzungsgrad sehr gering ist: Welches sind die vermutlichen Gründe hierfür?

Durch die Fragen 4 und 5 wurde ermittelt, welche Maßnahmen in den einzelnen GWK durchgeführt werden oder vorgesehen sind. Ob und in welchem Umfang die Maßnahmen aber wirksam sind, hängt auch davon ab, in welchem Umfang die vorgesehenen Maßnahmen tatsächlich umgesetzt werden. Mit Frage 10 sollte deswegen ermittelt werden, wie hoch der Umsetzungsgrad und damit in gewissem Umfang die Wirksamkeit der vorgesehenen Maßnahmen ist. Sollte es Hinweise darauf geben, dass der Umsetzungsgrad der Maßnahmenprogramme gering ist, sollten mit Frage 11 die Gründe hierfür ermittelt werden.

Abb. 7 1 zeigt den Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den GWK, auf dem die Maßnahmen zur Anwendung gekommen sind (Umsetzungsgrad der eingeleiteten Maßnahmen entsprechend Frage 4 bzw. 5 zur Verminderung des landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschusses in den einzelnen GWK.)

Abb. 7-1: Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den GWK, auf dem die Maßnahmen zur Anwendung gekommen sind



Wie Abb. 7 1 zeigt, liegt der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den GWK, auf den die Maßnahmen zur Anwendung gekommen sind (d.h. der „Umsetzungsgrad“), zwischen weniger als 10% und

80%. Am häufigsten wurde ein Umsetzungsgrad zwischen 30 und 40 % genannt, jedoch fehlt eine nach einheitlichen Kriterien aufgebaute Dokumentationsgrundlage.

Konsequenterweise ist es gegenwärtig nicht möglich, die Effizienz der Maßnahmen für die mögliche Zielerreichung in einem GWK abzuschätzen. Es ist jedoch zu vermuten, dass die sich in einer Verminderung der Nitratbelastung des Grundwassers zeigende Wirksamkeit von Maßnahmen mit sinkendem Umsetzungsgrad abnimmt. Als wichtigste Gründe für einen geringen Umsetzungsgrad wurden genannt:

- ▶ Ein zu geringer finanzieller Anreiz
- ▶ Die Freiwilligkeit der Maßnahmen
- ▶ Informations-, Umsetzungs- oder Regelungsdefizite.

Es wurde deutlich, dass weniger das Angebot an Maßnahmen als das eigentliche Problem angesehen wird, als vielmehr die mangelhafte Umsetzung der Maßnahmen.

Fazit:

Der Aufbau einer Dokumentationsgrundlage zur länderübergreifend konsistenten Erfassung der umgesetzten Maßnahmen und deren Umsetzungsgrad in den einzelnen GWK wurde als zielführender erster Schritt einer Erfolgskontrolle angesehen. Erst basierend auf einer solchen Dokumentationsgrundlage kann in nachfolgenden Auswertungen dann z.B. die Frage beantwortet werden, ob und in welchen GWK im nächsten Bewirtschaftungsplan grundlegend neue bzw. zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, oder ob zunächst „nur“ der Umsetzungsgrad der bisherigen Maßnahmen erhöht werden muss.

Frage 12: Wird erwartet, dass die laufenden Maßnahmen zur Reduzierung des landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschusses langfristig zu einer Nitratkonzentration von < 50 mg/l im Grundwasser führen?

Frage 13: Gibt es Änderungsbedarf beim landwirtschaftlichen Fachrecht, z.B. der Düngeverordnung, oder der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)?

Mit Frage 12 sollte ein Meinungsbild eingeholt werden, ob die Wirksamkeit der Maßnahmen im Hinblick auf die Erreichung des guten chemischen Zustands so eingeschätzt wird, dass damit langfristig eine Nitratkonzentration von < 50 mg/l im Grundwasser erreicht werden kann. Länderübergreifend wird infolge der Maßnahmenumsetzung grundsätzlich eine Abnahme von Nitratkonzentrationen erwartet. Es wird aber nicht erwartet, dass dadurch langfristig überall eine Nitratkonzentration < 50 mg/l im Grundwasser erreicht werden kann, da die Umsetzung der Maßnahmen in der Regel nicht auf die gesamte landwirtschaftliche Fläche bezogen ist (vgl. Frage 11).

Ebenso wurde länderübergreifend auf natürliche Standortbedingungen hingewiesen, die das Erreichen einer Nitratkonzentration von < 50 mg/l im Grundwasser erschweren können. Nach Einschätzung einiger Länderexperten machen geringe Sickerwasserhöhen selbst bei sehr geringen N-Bilanzüberschüssen und damit hoher N-Effizienz auch langfristig eine Erreichung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser < 50mg/l unmöglich. In diesem Zusammenhang wurde darauf hingewiesen, dass die N-Bilanz der Landwirtschaft unabhängig von der Nitratkonzentration im Sickerwasser teilweise schon heutzutage nicht weiter abgesenkt werden können, ohne langfristig die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen zu gefährden. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass Nitratkonzentrationen unterhalb von 50 mg/l in GWK ohne natürliches Schutzpotenzial (keine oder lückenhafte Deckschichten, reine Sandböden, geringe Denitrifikationskapazitäten in Boden und Grundwasser) generell nur schwer erreicht werden können, d.h. selbst wenn die vermeidbaren N-Bilanzüberschüsse spürbar zurück gehen sollten.

Darüber hinaus wurde vielfach auf die hydrogeologischen Standortbedingungen, wie z.B. die Sickerwasserfließzeiten bis zum Erreichen des oberen Aquifers sowie die Grundwasserfließzeiten im oberen Aquifer, hingewiesen. Lange Fließzeiten werden in diesem Zusammenhang ein Grund angesehen, aus dem die positiven Effekte der Maßnahmen eher mittel- und längerfristig dazu beitragen können die Ziele der WRRL zu erreichen. Es wurde eingeschätzt, dass die Zielerreichung je nach Standortsituation unter Umständen erst nach mehreren Bewirtschaftungszeiträumen erreicht werden kann.

Mit Frage 13 sollte ermittelt werden, ob die bestehenden rechtlichen Vorgaben, die z.B. von der Düngeverordnung und anderen rechtlichen Regelungen vorgegeben werden, zum Schutz des Grundwassers ausreichen oder ob es aus Sicht des Grundwasserschutzes Änderungsbedarf gibt. Die Ergebnisse sollten dazu beitragen, die jetzt nach Vorliegen des Evaluierungsberichts eingeleitete Diskussion über die notwendige Anpassung des landwirtschaftlichen Fachrechts mit weiteren fachlichen Argumenten zu unterstützen. Um langfristig die Ziele der WRRL zu erreichen wurde explizit eine verbesserte Umsetzung des Ordnungsrechtes empfohlen. Parallel wurde vielfach eine Erweiterung und Anpassung des Umfangs und des Inhalts der Agrar-Umwelt-Maßnahmen in der künftigen Förderperiode empfohlen, ebenso eine weitere Novellierung der Düngeverordnung.

Die meisten Länder vertraten diesbezüglich die Auffassung, dass die bisherigen Regelungen in der Düngeverordnung mit derzeit maximal zulässigen N-Überschüssen von 60 kg/(ha·a) für eine an die Anforderungen des Grundwasserschutzes angepasste Düngung und Bewirtschaftung in der Landwirtschaft nicht ausreichend sind.

Eine von der LAWA-Kleingruppe „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“ erarbeitete Prognose zu den Auswirkungen einer nach Gewässerschutzaspekten novellierten Düngeverordnung auf die Qualität der Oberflächengewässer und des Grundwassers in Deutschland (LAWA, 2014) kommt zu dem Ergebnis, dass die novellierte Düngeverordnung einen wichtigen Beitrag zur Minderung der Stickstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer leisten kann, wenn die dort festgeschriebenen Regeln an Düngeplanung und Nährstoffmanagement auch wirklich eingehalten werden. Von der LAWA-Kleingruppe „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“ wurden in diesem Zusammenhang auch mögliche weitere Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft zur Erreichung des Grundwasserschutzziels aufgezeigt.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Entsprechend den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000) wurden für Grundwasserkörper (GWK), die sich in einem schlechten Zustand befinden oder bei denen die Gefahr besteht, dass sie im Jahr 2015 nicht im guten Zustand sind, bis 2009 Maßnahmenprogramme entwickelt. Nach gegenwärtigem Stand wurde seit der Einleitung der Maßnahmen in 19 von 267 Grundwasserkörpern der Übergang vom schlechten in den guten chemischen Zustand erreicht. Zudem gibt es erste Hinweise, dass die Maßnahmen bei einer Reihe von GWK zu einer Trendumkehr geführt haben. Die Wirksamkeit der eingeleiteten Maßnahmen deutet sich damit zwar an, aber die Anzahl der GWK in einem schlechten chemischen Zustand wird auch nach Ende des ersten Bewirtschaftungszyklus (2015) noch sehr hoch sein.

Das Projekt war daher ausgerichtet auf die Grundwasserkörper in Deutschland, für die zu erwarten ist, dass der gute chemische Zustand nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (EG, 2000) bis zum Ende des ersten Bewirtschaftungszyklus (2015) aufgrund von Nitratgehalten im Grundwasser $> 50 \text{ mg/l}$ nicht erreicht wird. Für diese Grundwasserkörper wurden von den Bundesländern Ausnahmeregelungen (Fristverlängerungen bis zur Erreichung des guten Zustandes) in Anspruch genommen. Im nächsten Bewirtschaftungszeitraum (2016–2021) der EU-Wasserrahmenrichtlinie sind die Mitgliedstaaten der EU weiterhin aufgefordert, den guten Zustand zu erreichen.

Wenn Deutschland erneut die Derogation in Anspruch nehmen will, wird die EU-Kommission vor einer erneuten Bewilligung den Zustand des Grundwassers im Hinblick auf die Entwicklung der Nitratbelastung bzw. die eingeleiteten Maßnahmen zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie und der EU-Wasserrahmenrichtlinie besonders kritisch prüfen. Es ist damit zu rechnen, dass insbesondere die Gründe für die „Zielverfehlung“ aufzuzeigen sind, d.h. warum die bisherigen Programme nicht zu einer Verbesserung des Grundwasserzustandes geführt haben. Zudem werden die Fortschritte bei der Erreichung des guten chemischen Zustands darzustellen sein.

Vor diesem Hintergrund wurde ausgehend von in den Bundesländern vorliegenden und zur Verfügung gestellten Daten und Informationen eine länderübergreifende Analyse und systematische Zusammenstellung der Gründe für die Zielverfehlung für die betreffenden Grundwasserkörper vorgenommen. Um zu diesem Zweck länderübergreifend vergleichbare Daten und Informationen zu erhalten, wurde ein auf einer wissenschaftlich begründeten Systematik beruhendes Abfragewerkzeug mit Schlüsselfragen entwickelt, das an alle Bundesländer verschickt wurde. Der Rücklauf des Fragebogens zeigte, dass lediglich 13 der 16 Bundesländer GWK im schlechten Zustand wegen Nitrat aufweisen, so dass in die Auswertungen nur Daten und Informationen aus 13 Bundesländern eingeflossen sind.

Es wurde davon ausgegangen, dass die **auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden** die Hauptursache der Nitratbelastung des Grundwassers darstellt, und dass speziell der N-Bilanzüberschuss der Landwirtschaft großen Anteil hieran hat. Zusätzlich wurde unterstellt, dass die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden nicht dem landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschuss gleichgesetzt werden darf. Da auch andere Größen und Prozesse, wie z.B. die atmosphärische N-Deposition sowie N-Umwandlungs- und Denitrifikationsprozesse im Boden, einen Einfluss auf die Höhe der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden haben, wurden diese Parameter bei der Abfrage zur Ermittlung und Beurteilung der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden einbezogen.

Die Rückläufe aus den Bundesländern zeigten das folgende Bild im Hinblick auf die auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden:

- ▶ **Landwirtschaftliche N-Bilanzüberschüsse** wurden in der Regel basierend auf der N-Flächenbilanzmethode ermittelt. Dennoch waren diesbezügliche Informationen nicht für alle GWK in schlechtem Zustand verfügbar bzw. ableitbar, da die übermittelten Zahlenwerte teilweise nicht auf GWK, sondern auf Flussgebiete oder Verwaltungseinheiten bezogen waren. Hinzu kamen unterschiedliche Bezugszeiträume.

- ▶ Bei der **atmosphärischen N-Deposition** wurden überwiegend Werte nach Gauger (2002) für den Zeitraum 2004 – 2007 berücksichtigt, zum Teil aber auch Daten früherer Perioden sowie EMEP-Daten. Aus diesem Grunde sind die ausgewiesenen Werte zum Teil nicht konsistent zueinander.
- ▶ Im Hinblick auf die Abschätzung der **Denitrifikationspotentiale** und weiterer **N-Umwandlungsprozesse** im Boden zeigte sich, dass für eine Reihe von GWK bislang keine diesbezüglichen Abschätzungen vorgenommen worden sind. Für die GWK, für die diese Prozesse abgeschätzt wurden, sind die ausgewiesenen Werte aufgrund unterschiedlicher Berechnungsansätze nur eingeschränkt vergleichbar.

Damit die ausgewiesenen Werte der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden zukünftig bundesweit konsistent zueinander sind, wird eine länderübergreifende Harmonisierung bei der Ermittlung landwirtschaftlicher N-Bilanzüberschüsse im Hinblick auf den Bezugszeitraum und die räumliche Bezugseinheit (GWK) empfohlen. Für die Ermittlung der N-Depositionsraten wird eine Harmonisierung im Hinblick auf den Bezugszeitraum empfohlen, für die Abschätzung der Denitrifikation und der zusätzlichen N-Umwandlung im Boden wird vor allem ein länderübergreifender Abgleich der Definitionen bzw. der Berechnungsansätze empfohlen.

Im Hinblick auf die richtige Bemessung der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden bzw. des hiermit in Zusammenhang stehenden N-Minderungsbedarfs der Landwirtschaft basierte das Konzept des Abfragewerkzeugs auf der grundlegenden Annahme, dass nur in dem Fall, dass bereits die Nitratkonzentration im Sickerwasser 50 mg/l nicht übersteigt, sichergestellt ist, dass der Grenzwert für Nitrat im Grundwasser (50 mg/l) in den entsprechenden GWK langfristig erreicht werden kann. Die **Nitratkonzentration im Sickerwasser** ist damit die Referenzgröße zur Überprüfung, ob eingeleitete N-Minderungsmaßnahmen langfristig den erwünschten Erfolg haben können.

Die Nitratkonzentration, die das Sickerwasser unterhalb der durchwurzelten Bodenzone aufweist, wird stark von der **Sickerwasserhöhe** bestimmt. Zwar sind geringe Sickerwasserhöhen einerseits oft mit langen Verweilzeiten des Sickerwassers in der durchwurzelten Bodenzone verbunden, so dass im Boden befindliches Nitrat weniger leicht ausgewaschen wird, längerer pflanzenverfügbar bleibt und in größerem Umfang denitrifiziert werden kann, andererseits reicht bei sehr geringen Sickerwasserraten bereits eine geringe N-Menge im Boden aus, damit im Sickerwasser der Schwellenwert von 50 mg/l Nitrat überschritten wird. Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die Sickerwasserrate zwar für alle GWK ermittelt worden ist, dabei jedoch unterschiedliche Berechnungsmethoden eingesetzt wurden, so dass die ausgewiesenen Werte nicht GWK-übergreifend vergleichbar sind. Ein länderübergreifender Abgleich der Berechnungsansätze zur Ermittlung der Sickerwasserrate wird dementsprechend auch diesbezüglich empfohlen.

Trotz dieser Einschränkung zeigen sich aber bereits aus den vorliegenden Daten mit Sickerwasserraten zwischen < 100 mm/a und > 500 mm/a große räumliche Unterschiede. Geringe Sickerwasserhöhen können selbst bei sehr geringen N-Bilanzüberschüssen auch langfristig eine Erreichung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser < 50 mg/l erschweren. Geringe Sickerwasserhöhen auf Grund von Niederschlagsarmut sind daher in einigen GWK die Begründung dafür, warum die Ziele der WRRL im Grundwasser trotz eingeleiteter - und durchaus zielführender - Stickstoff-Minderungsmaßnahmen möglicherweise auch langfristig nur schwer erreichbar sind. Umgekehrt kann die N-Menge im Boden in GWK mit hoher Sickerwasserrate um ein vielfaches höher sein, ohne dass die Nitratkonzentration im Sickerwasser 50 mg/l übersteigt.

Unter der Prämisse einer konstanten mittleren Sickerwasserrate und eines konstanten Denitrifikationspotenzials im Boden bzw. einer Konstanz im Hinblick auf die weiteren N-Umwandlungsprozesse im Boden, ist die Nitratkonzentration im Sickerwasser direkt durch die Höhe der auswaschungsge-

fährdeten N-Menge im Boden bestimmt. Durch eine "Rückwärtsrechnung" ist es dann möglich, die maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden zu berechnen, die zu einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l führen würde und damit langfristig auch zur Überführung eines GWK vom schlechten in den guten chemischen Zustand.

Der diesbezügliche Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass die **maximal zulässige auswaschungsgefährdete N-Menge im Boden** nicht für alle GWK bestimmt worden ist. In den Ländern, die eine solche Abschätzung vorgenommen haben, erfolgte dies methodisch aber recht einheitlich. Die Spannweite der maximal zulässigen auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden in den GWK im schlechten Zustand lag zwischen 27 und 143 kg/(ha·a).

Aus der Differenz zwischen der aktuellen auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden und der maximal zulässigen N-Menge im Boden lässt sich dann zusätzlich der **N-Minderungsbedarf als regionaler Orientierungswert im Sinne eines Reduktionsziels** (vgl. Kuhr et al., 2011; 2012) angeben. In den Ländern, die eine solche Abschätzung des N-Minderungsbedarfs vorgenommen haben, erfolgte dies methodisch ebenfalls recht einheitlich.

Wenn man einerseits unterstellt, dass die Landwirtschaft der Hauptverursacher der auswaschungsgefährdeten N-Menge im Boden und einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von über 50 mg/l und folglich auch für eine Nitratbelastung im Grundwasser von über 50 mg/l ist, und man andererseits davon ausgeht, dass die landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse die einzig sinnvolle Steuergröße zur Reduktion der auswaschungsgefährdeten N-Mengen im Boden und damit der Nitratbelastung des Grundwassers darstellt, dann zeigt der N-Minderungsbedarf die Größenordnung der N-Minderung auf, die von der Landwirtschaft über N-Minderungsmaßnahmen erbracht werden muss.

Werte von über 60 kg/(ha·a) treten vor allem in GWK im Nordwestteil Deutschlands auf und stehen dort vor allem in Zusammenhang mit einer Kombination aus hohen landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüssen, zum Teil hohen Einträgen durch die atmosphärische Deposition und geringen Denitrifikationspotenzialen. Viele GWK im Süden und Osten weisen eine günstigere Kombination dieser Einflussgrößen auf, so dass der N-Minderungsbedarfs im Boden dort selten 20 kg/(ha·a) übersteigt.

Für die Auswahl geeigneter Maßnahmen ist der N-Minderungsbedarfs im Boden ein sehr wichtiges Kriterium. Um hierbei ein bundesweit vergleichbares Vorgehen zu gewährleisten, wird ein länderübergreifender Abgleich der Berechnungsansätze und Gebietskulissen empfohlen.

Über einen Vergleich des N-Minderungsbedarfs im Boden mit **dem N-Minderungspotential der eingeleiteten Maßnahmen** sowie deren **Umsetzungsgrad im Grundwasserkörper** sollte für die GWK im schlechten Zustand überschlagsmäßig abgeschätzt werden, ob das gewünschte Ziel, nämlich die Grundwasserbelastung in den betroffenen GWK auf unter 50 mg/l zu senken, erreicht werden kann.

Die Rückläufe aus den Bundesländern haben gezeigt, dass es eine Vielzahl von Maßnahmen gibt, die länderübergreifend eingesetzt worden sind. Die Maßnahmen wurden dabei in den GWK einzeln oder in Kombination durchgeführt, wobei auch zusätzliche, in der Regel länderspezifische Maßnahmen umgesetzt wurden. Eine Aussage bezüglich der Effizienz der umgesetzten Maßnahmen im Hinblick auf die Zielerreichung in einem GWK war jedoch nicht möglich, da der Einfluss der Standortbedingungen (Boden, Witterung etc.) auf die Höhe der N-Minderung in der Regel nicht pauschal prognostiziert werden kann.

Um die **Verminderung der landwirtschaftlichen N-Überschüsse** zu dokumentieren wird eine zentrale Erfassung und Auswertung der nach Düngeverordnung zu erstellenden einzelbetrieblichen Bilanzen und deren Zusammenfassung zu regionalisierten Bilanzen empfohlen. Dies muss dann verknüpft werden mit den dokumentierten Maßnahmenwirkungen. Zum Zwecke des Effektmonitorings wird

eine Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen und der entsprechenden Flächen, sowie eine langfristige Dokumentation der betrieblichen N-Überschüsse (Maßnahmenbetriebe) benötigt.

Um aus Veränderungen bei den N-Überschüssen der Landwirtschaft auf Änderungen in der Nitratkonzentration im Grundwasser rückschließen zu können, reicht es aber nicht, ein einzelnes Bilanzjahr heranzuziehen. Um aussagekräftige Trends zu ermitteln, müssen längere Zeiträume (mindestens 5-10 Jahre) betrachtet werden. Nur dadurch lassen sich Änderungen des N-Bilanzüberschusses durch die Fruchtfolge oder Klimaschwankungen weitgehend ausschließen.

Ob eine Veränderung der Grundwasserbelastung nach Beginn der Maßnahmen bereits zum jetzigen Zeitpunkt gemessen werden kann, hängt ganz entscheidend von der Fließstrecke und der **Verweilzeit** des Wassers in der durchwurzelten Bodenzone und in den Grundwasserdeckschichten (der gesamte Bereich unterhalb der durchwurzelten Bodenzone bis zur Grundwasseroberfläche) und der **Fließzeit** im Grundwasserleiter ab.

Vor diesem Hintergrund sollte ermittelt werden, in welcher Größenordnung die Fließzeiten in den einzelnen GWK liegt, um hieraus eine Zeitspanne abschätzen, nach welcher erwartet werden kann, dass eine eingeleitete Maßnahme eine positive Auswirkung auf die Grundwasserbeschaffenheit (abnehmende Nitratkonzentration) hat. Darüber hinaus kann über die Fließzeiten für jeden einzelnen GWK begründet werden, warum die Erreichung der Ziele der EU- Wasserrahmenrichtlinie trotz eingeleiteter Maßnahmenprogramme innerhalb des ersten Bewirtschaftungszyklus (bis 2015) unwahrscheinlich ist.

Der Rücklauf der Fragebögen zeigte, dass Ermittlungen zur Verweilzeit nicht für alle GWK vorgenommen worden sind. In den Ländern, die solche Ermittlungen vorgenommen haben, erfolgte dies methodisch zudem nicht einheitlich. In einer Reihe von Bundesländern wurden Fließ- bzw. Verweilzeitenabschätzungen in Zusammenhang mit landesweiten Modellierungen zum reaktiven (verweilzeitabhängigen) Nitrattransport im Boden und Grundwasser vorgenommen. Aber in keinem Bundesland, das Ergebnisse zu Fließzeiten übermittelt hat, erfolgte deren Ermittlung gezielt im Hinblick auf die Prognose, ab wann die eingeleiteten N-Minderungsmaßnahmen Auswirkungen auf den Nitratgehalt des Grundwassers haben müssten. Kein Bundesland konnte zudem Fließ- bzw. Verweilzeiten für alle drei Kompartimente (Boden, Deckschichten, Grundwasser), die vom Wasser durchflossen werden, zur Verfügung stellen.

Alleine die mittleren Verweilzeiten im durchwurzelten Bodenbereich und in den Grundwasserdeckschichten liegen für einige der GWK im schlechten Zustand bei mehr als 10 Jahren. Dies kann dazu führen, dass aus dem Boden ausgewaschenes Nitrat u.U. erst mit einer erheblichen Zeitverzögerung die Grundwasseroberfläche erreicht. Weitere 5 bis > 100 Jahre sind für die Fließzeiten im Grundwasserleiter der GWK im schlechten Zustand zu veranschlagen. Die ermittelten Fließ- bzw. Verweilzeiten sind ein Hinweis darauf, dass N-Minderungsmaßnahmen sich in vielen GWK mit einem Zeitverzug von 1 bis 2, zum Teil aber auch erst nach 3 oder mehr, Bewirtschaftungszyklen gemäß EG-WRRRL positiv bemerkbar machen und sich die Nitratkonzentration im Grundwasser verringern werden.

An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass sich die bislang vorliegenden Fließzeiten in der Mehrzahl aller Fälle auf die Fließzeiten des Grundwassers im Grundwasserleiter bis zum Vorflutereintritt beziehen. Eine bundesweite, messstellenbezogene Ermittlung der Grundwasserfließzeiten in den GWK im schlechten Zustand analog zur bereits im UBA-Projekt „Bewertung und Optimierung von Grundwasserschutzmaßnahmen nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie“ (UFOPLAN 3707 28 200) vorgeschlagenen Vorgehensweise (Kuhr et al. 2012) wird empfohlen.

Streng genommen ist es erst basierend auf einer solchen, messstellenbezogenen Ausweisung von Grundwasserfließzeiten möglich, Wirkungszeiträume zwischen Anwendung einer Maßnahme und deren Auswirkung im Hinblick auf den Zustand des Grundwassers abzuschätzen. Folglich ist damit erst eine messstellenbezogene Fließzeitenanalyse eine fachlich abgesicherte Argumentationsgrundlage, auf deren Basis gegenüber der EU-Kommission stichhaltig begründet werden kann, warum die Ziele der EU-WRRL nicht erreicht werden konnten und ggf. eine Fristverlängerung beantragt wird.

Es ist davon auszugehen, dass die EU-Kommission auch weiterhin eine Dokumentation der Fortschritte bei der Erreichung des guten chemischen Grundwasserzustands einfordern wird. Daher wird eine **kontinuierliche Weiterführung** und ggf. Weiterentwicklung des zugrunde liegenden Abfragewerkzeugs empfohlen. Aus Sicht vieler Länder ergibt sich hieraus der Bedarf, die hier erfassten Informationen länderübergreifend zu erfassen und regelmäßig fortzuschreiben. Ein bundesweit einheitlicher Erhebungszeitraum und eine einheitliche Erhebungsmethode sind in diesem Zusammenhang eine Voraussetzung, um auf bundesweit konsistenter Grundlage mögliche Fortschritte bei der Zielerreichung im zweiten Bewirtschaftungszeitraum (bis Ende 2021) zu dokumentieren.

Damit das Abfragewerkzeug nach Beendigung des Vorhabens weiter genutzt werden kann und eine Doppelerhebung von Daten vermieden wird, wurde es EDV-technisch so gestaltet, dass es mit den digitalen Formaten, die für das Reporting an die EU Verwendung finden, kompatibel ist. Ein wichtiger Aspekt war dabei die Einbeziehung der bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) bzw. im Bundesländer-Informations- und Kommunikationsplattform "WasserBLICK" zusammengestellten Daten, die von den Bundesländern bereits an die EU-Kommission geliefert worden waren. Auszüge aus den bei der BfG vorliegenden Datensätzen (z.B. zur Kennzeichnung der GWK) wurden daher als Grundlage für die speziellen Abfragen im Fragebogen (eine GWK-bezogene EXCEL-Tabelle pro Teilfrage) integriert.

9 Quellenverzeichnis

- BLA-GEO (2004): Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung, UAG Sickerwasserprognose der Ad-hoc-AG Hydrogeologie und der Ad-hoc-AG Boden.- Empfehlungen für die Charakterisierung und Parametrisierung des Transportpfades Boden-Grundwasser als Grundlage für die Sickerwasserprognose.- 63 S.
- BMU (2010): Die Wasserrahmenrichtlinie – Auf dem Weg zu guten Gewässern.- Rautenberg – Verlag, 75 S.
- EU- GWRL (2006): EU-Grundwasserrichtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung.- Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006
- EU-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik – EG-Wasserrahmenrichtlinie.
- FORTMANN, H., RADEMACHER, P., GROH, H. & HÖPER, H. (2012): Stoffgehalte und –vorräte im Boden und deren Veränderungen.- Geoberichte 23, S.48-80. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
- GAUGER, TH.; ANSHELM, F.; SCHUSTER, H.; DRAAIJERS, G. P. J.; BLEEKER, A.; ERISMAN, J. W.; VERMEULEN, A. T. & NAGEL, H.-D. (2002): Mapping of ecosystem specific long-term trends in deposition loads and concentrations of air pollutants in Germany and their comparison with Critical Loads and Critical Levels.- Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210, Institut für Navigation, Universität Stuttgart, Teil 1, 207 S.
- GAUGER T., HAENEL H.-D., RÖSEMANN C., DÄMMGEN U., BLEEKER A., ERISMAN J.W., VERMEULEN A.T., SCHAAP M., TIMMERMANN R.M.A., BUILTJES P.J.H., DUYSER J.H., NAGEL H.-D., BECKER R., KRAFT P., SCHLUTOW A., SCHÜTZE G., WEIGELT-KIRCHNER R., ANSHELM F. (2008): Erfüllung der Zielvorgaben der UNECE-Luftreinhaltekonvention (Wirkungen). Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben FKZ: 204 63 252. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, gefördert vom Bundesministerium f. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Dessau-Rosslau
- GEBEL, M., HALBFAß, S., BÜRGER, S. & UHLIG, M. (2012): STOFFBILANZ Modellerläuterung. <http://galf-dresden.de/galf/wp-content/uploads/2013/06/Modellerlaeuterung.pdf> [28.08.2014]
- HENNINGS, V. (ED.) (1994): Methodendokumentation Bodenkunde: Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden.- Geologisches Jahrbuch, Band F 31, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany, 242 S.
- HÖLTING B., HAERTLE´ T, HOHRBERGER K-H, NACHTIGALL KH, VILLINGER E, WEINZIERL W, WROBEL J-P (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Geologisches Jahrbuch, Reihe C 63:5–24
- KREINS, P.; BEHRENDT†, H.; GÖMANN, H.; HIRT, U.; KUNKEL, R.; SEIDEL, K.; TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2010): Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit Weser.- Endbericht Forschungsprojekt AGRUM-Weser, Braunschweig, 308 S.
- KUHR, P., HAIDER, J., KREINS, P., KUNKEL, R., TETZLAFF, B., VERECKEN, H., & WENDLAND, F. (2013): Model Based Assessment of Nitrate Pollution of Water Resources on a Federal State Level for the Dimensioning of Agro-environmental Reduction Strategies: The North Rhine-Westphalia (Germany) Case Study. - Water Resources Management, 27(3), 885-909.
- KUHR, P.; KREINS, P.; KUNKEL, R.; VOIGT, H.J.; WOLTER, R. & WENDLAND, F. (2012): Konzeptionelles hydro(geo)logisches Modell zur Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion der Grundwasserbelastungen durch Nitrat. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 56, H.3, 111-125.
- KUHR, P., R. KUNKEL, F. WENDLAND, U. BARON & H. J. VOIGT (2011): Bewertung und Optimierung von Grundwasserschutz-Maßnahmenprogrammen nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie. – UFOPLAN-Nr. 3707 28 200, UBA-FB 001412, 125 S.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1997): WEKU; a GIS-supported stochastic model of groundwater residence times in upper aquifers for the supraregional groundwater management.- Environmental Geology, Heft 30 (1-2), S. 1-9.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (2006): Diffuse Nitratreinträge in die Grund- und Oberflächengewässer von Rhein und Ems – Ist-Zustands- und Maßnahmenanalysen.- Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 62, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany, 124 S.
- KUNKEL, R.; EISELE, M.; SCHÄFER, W.; TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2008). Planning and implementation of nitrogen reduction measures in catchment areas based on a determination and ranking of target areas. - Desalination, Heft 226, S. 1–12.

LAWA (2014): Prognose der Auswirkungen einer nach Gewässerschutzaspekten novellierten Düngeverordnung auf die Qualität der Oberflächengewässer in Deutschland.- Kiel, 32 S.

OSTERBURG, B. & RUNGE, T (Hrsg.) (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer - eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 307

ROHMANN, U. & SONTHEIMER, H. (1985): Nitrat im Grundwasser.- DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 468 S.

UBA (2015): Hintergrundbelastungsdaten Stickstoffdeposition, Ergebnisse und Daten des PINETI-Projektes Erläuterungen des Umweltbundesamtes, Stand 3.11.2015, 10. S..

USLÄNDER, TH. (2003): Benutzerhandbuch SIMIK+, ArcView-Erweiterung zur flächenhaften Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit, Version 1.0, Fraunhofer IITB, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Universität Stuttgart – Institut für Wasserbau, Karlsruhe 13.02.2003

WENDLAND, F.; KUNKEL, R. & VOIGT, H.-J. (2004): Assessment of groundwater residence times in the pore aquifers of the River Elbe Basin. - Environmental Geology, Heft 46, S. 1-9.

WENDLAND, F., BERTHOLD, G., FRITSCHKE, J.-G., HERRMANN, F., KUNKEL, R., VOIGT, H.-J. (2011): Konzeptionelles hydrogeologisches Modell zur Analyse und Bewertung von Verweilzeiten in Hessen.- Grundwasser 16/3, 163-176.

LINKS:

www.emep.int: EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme)