

N₂/Ar-Untersuchungen an Grundwassermessstellen in Sachsen-Anhalt



- Endbericht zur Messkampagne 2020 -

Impressum

Auftraggeber: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft
Willi-Brundert-Straße 14
06132 Halle (Saale)

Auftragnehmer: GeoDienste GmbH
Nienburger Straße 2, 31515 Wunstorf
über GEO-data, Dienstleistungsgesellschaft für Geologie,
Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH
Carl-Zeiss-Str. 2, 30827 Garbsen

Projekt: 0132201

Berichtsname: N2Ar_ST_0132201.docx

Seitenanzahl: 40

Abbildungen: 21

Tabellen: 3

Anhänge: 10

Datum: 04.01.2021

GeoDienste GmbH

Projektleitung



Dr. Axel Rogge, Dipl.-Geol. (GF)

Projektbearbeitung



Vincent Bremer, M.Sc. Geow.



Dr. Enrico Hamann, Dipl.-Geol.

I Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	5
2	Untersuchungskampagne 2020	9
2.1	Methodischer Hintergrund zur Nitratabbau-Bestimmung	9
2.2	Bestimmung des Nitratabbaus durch Gasmessungen von N ₂ und Ar	10
2.3	Messnetz und Messstellenwahl	11
2.4	Probenahme, Parameterumfang und Analytik	12
2.5	Statistische Auswertung	15
3	Ergebnisse	16
3.1	Gemessene und initiale Nitratkonzentrationen	18
3.2	Nitratabbauvermögen	27
3.3	Chemisches Milieu	31
3.4	Risikomesstellen	34
4	Zusammenfassung und Ausblick	38
5	Verwendete Projektunterlagen und Datengrundlage	40
II Abbildungsverzeichnis		Seite
Abb. 1:	Abschätzung des Nitratabbauvermögens anhand des Aquifertyps und der Redoxbedingungen	6
Abb. 2:	Quantitative (Erst-)Abschätzung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Milieubedingungen	7
Abb. 3:	MIMS Methode zur Messung der gelösten N ₂ - und Ar-Gase	14
Abb. 4:	Statistische Auswertung mittels Box-Plot-Darstellung	15
Abb. 5:	Übersichtslageplan der insgesamt 459 in 2018 bis 2020 beprobten MST	17
Abb. 6:	Gegenüberstellung der initialen und gemessenen Nitratkonzentrationen	18
Abb. 7:	Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2020 in Abhängigkeit der hydrogeologischen Bezugseinheiten	20
Abb. 8:	Gemessene Nitratkonzentrationen in den verschiedenen geologischen Einheiten	21
Abb. 9:	Nitratkonzentrationen in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe	22
Abb. 10:	Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2020 in Abhängigkeit der Landnutzung (Corine Land Cover 2018)	24
Abb. 11:	Einfluss der Landnutzung auf Nitratkonzentrationen im Grundwasser	25

Abb. 12: Schematische Darstellung des Einzugsgebietes einer MST (Cremer, 2015) ⁸	26
Abb. 13: Klassenverteilung des Nitratabbauvermögens anhand der N ₂ /Ar-Methode	27
Abb. 14: Nitratabbauvermögen in Abhängigkeit der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts).....	28
Abb. 15: Exzess-N ₂ und gemessene Nitratkonzentration der beprobten MST	29
Abb. 16: Nitratabbauvermögen in den verschiedenen geologischen Einheiten	30
Abb. 17: Nitratabbauvermögen im Kontext des chemischen Milieus im Lockergestein (oben) und Festgestein (unten)	32
Abb. 18: Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe an den MST der Messkampagne 2020, für die die Filterlage bekannt ist	33
Abb. 19: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts)	35
Abb. 20: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Landnutzung.....	36
Abb. 21: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie	36

III Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Klassifizierung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Parameter Redoxpotential und Sauerstoff (nach HYDOR [1]).....	10
Tab. 2: Klassifizierung des Nitratabbauvermögens auf Grundlage der N ₂ /Ar-Methode	11
Tab. 3: Mittelwerte und Mediane der statistischen Auswertung in Abb. 11	23

VI Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Übersichtslageplan	
Anhang 2: Nitratabbauwahrscheinlichkeit nach chemischem Milieu	
Anhang 3: Probenahmeprotokolle	
Anhang 4.1: Prüfberichte I	
Anhang 4.2: Prüfberichte II	
Anhang 5: Ergebnistabelle	
Anhang 6: Übersichtslageplan	
Anhang 7: Vergleich zwischen gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen in Abhän- gigkeit von den hydrogeologischen Bezugseinheiten	
Anhang 8: Vergleich zwischen gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen in Abhän- gigkeit von der Landnutzung (Corine Land Cover 2018)	
Anhang 9: Nitratabbauvermögen in Abhängigkeit von der Geologie und der Landnutzung	
Anhang 10: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie und der Landnutzung	

1 Einleitung

Die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie im Bereich Nährstoffe erfolgt im Land Sachsen-Anhalt auf Basis des Nährstoffkonzeptes 2015 – 2021¹. Unter den umzusetzenden Maßnahmen ist in den Eckpunkten des Konzeptes das „Erfassen und Bewerten von Einflussfaktoren des Nitratabbaus mittels Pyrit oder organisch gebundenem Kohlenstoff als Grundlage der Bewertung eines möglicherweise nachlassenden Nitratabbauvermögens in sauerstofffreien Grundwasserleitern“ enthalten.

Erste Ergebnisse zur Abschätzung eines Nitratabbauvermögens im Grundwasser sind im Ergebnisbericht zur Nährstoffmodellierung mittels Modellkombination GROWA-WEKU/DENUZ-MEPhos (April 2014) enthalten². Darin findet sich eine grobe Einteilung des Abbauvermögens unter Verwendung der hydrogeologischen Bedingungen, wobei der Aquifertyp und die Redoxbedingungen besonders relevant sind. Für die Validierung der Modellergebnisse standen 459 repräsentative Grundwassermessstellen zur Verfügung. Im Wesentlichen wird das Land in Lockergesteinsgrundwasserleiter mit mehrheitlich reduzierten Milieubedingungen und Festgesteinsgrundwasserleiter (Kluft- und Karstgrundwasserleiter) mit mehrheitlich oxidierten Milieubedingungen unterteilt. Die Ergebnisse des v. g. Berichts sind in **Abb. 1** einzusehen.

In den folgenden Jahren wurde das Grundwasserüberwachungsmessnetz Sachsen-Anhalts stufenweise durch die Erweiterung um Ermittlungs- und Milieumessstellen verdichtet. Im Jahr 2017 standen Analyseergebnisse von 530 Grundwassermessstellen zur Verfügung.

Unter Verwendung dieses Messstellenumfanges wurde im Jahr 2017 eine „Charakterisierung der Milieubedingungen im Grundwasser als Voraussetzung für die Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in Sachsen-Anhalt“ durchgeführt³. Im Ergebnis der Prozessbeschreibung mittels Indikatorparametern in den Zustromgebieten der Messstellen wurde eine Beschreibung und Abschätzung des Nitratabbaupotenzials vorgenommen.

Der für das Grundwasser in Sachsen-Anhalt wesentliche Stickstoff-Umsetzungsprozess ist die chemo-lithotrophe (bzw. autolithotrophe) Denitrifikation. Als wesentliches Ergebnis der Untersuchungen konnte eine Klassifizierung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit in die Klassen „sicherer Nitratabbau“, „potenzieller Nitratabbau“, „unsicherer Nitratabbau“, „kein Nitratabbau“ und „vorläufig nicht einschätzbar“ vorgenommen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass für ca. 50% der beurteilten Messstellen ein Nitratabbaupotenzial abgeleitet wurde.

¹ Einzusehen unter: <https://saubereswasser.sachsen-anhalt.de/bewirtschaftungsplanung/naehrstoffkonzept>

² Endbericht veröffentlicht: <https://lhw.sachsen-anhalt.de/untersuchen-bewerten/weitere-themen>

³ Studie veröffentlicht: <https://lhw.sachsen-anhalt.de/untersuchen-bewerten/weitere-themen>

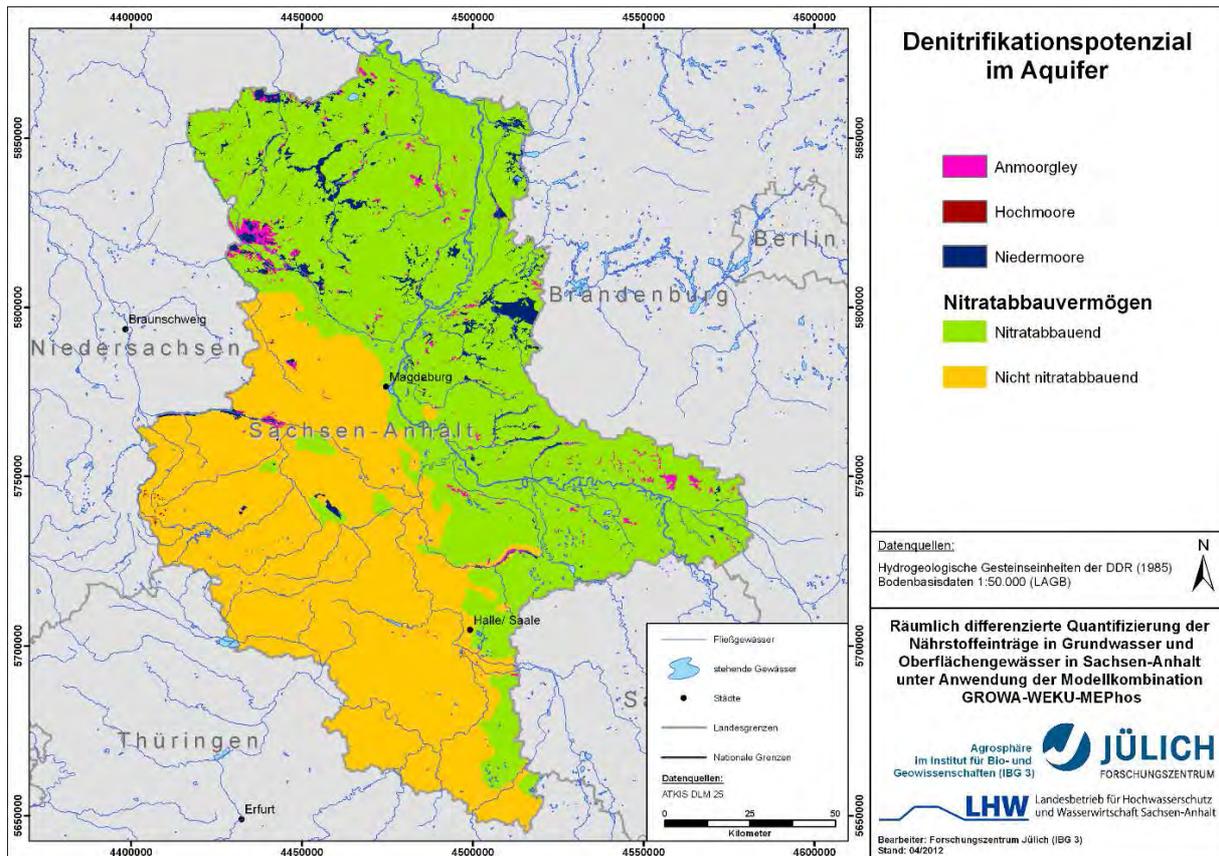


Abb. 1: Abschätzung des Nitratabbauvermögens anhand des Aquifertyps und der Redoxbedingungen

Für weitere 16% der Messstellen konnte aufgrund der geringen Datenlage noch keine Abschätzung vorgenommen werden. Damit liegen diese vorläufigen Ergebnisse in der Nähe der von Knoll et al. (2020)⁴ deutschlandweit abgeleiteten **Nitratreduktionsraten** von durchschnittlich 57 %. Dieser Wert ergibt sich aus vergleichsweise hohen Abbauwerten im Norden Deutschlands und niedrigeren Abbauwerten im Süden. Hierbei handelt es sich um eine quantitative (Erst-)Abschätzung auf Basis der Milieubedingungen.

Abb. 2 zeigt eine Karte mit vorläufigen Ergebnissen aus dem Landesbericht zur Charakterisierung der Milieubedingungen im Grundwasser.

⁴ Knoll et al. (2020), Räumliche Verteilung der integrierten Nitratreduktion über die ungesättigte Zone und den Grundwasserkörper in Deutschland, Water

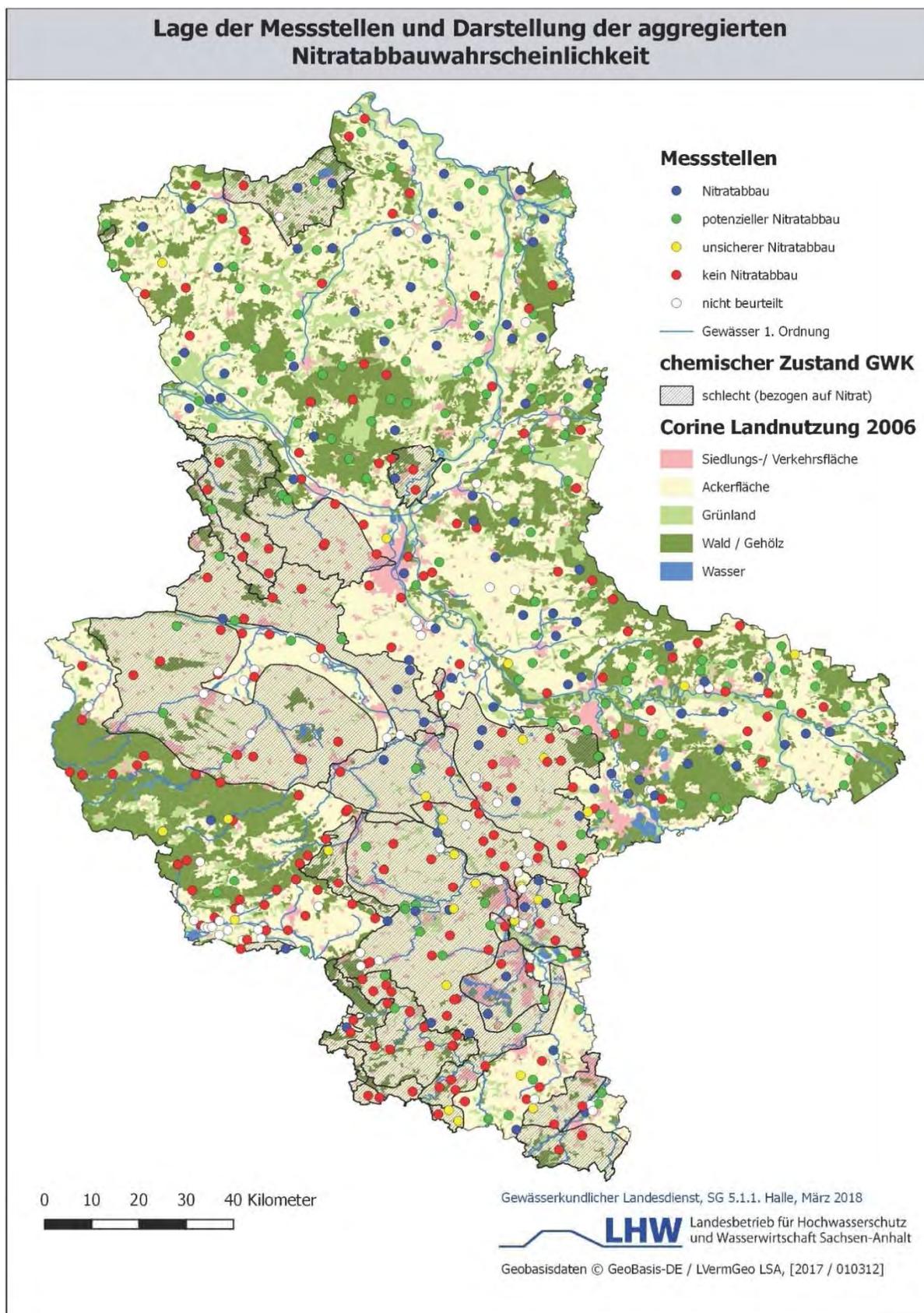


Abb. 2: Quantitative (Erst-)Abschätzung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Milieubedingungen

In diesem Bericht findet unter Verwendung der Stickstoff/Argon-Methode (N₂/Ar-Methode) eine Quantifizierung des Nitratabbauvermögens im Aquifer statt. Berücksichtigt werden neben den Untersuchungsergebnissen von 206 diesjährig beprobten MST ebenfalls die Analyseergebnisse der Messkampagnen 2018 und 2019 (253 MST) und somit in Summe 459 MST. Eine detaillierte Auswertung der 2018 und 2019 beprobten MST geschah bereits durch die HYDOR Consult GmbH.

Landesweit wurden MST berücksichtigt, an denen in einem vorangegangenen Arbeitsschritt ein Nitratabbaupotenzial anhand der Milieubedingungen ermittelt werden konnte. In der Auswertung wird der Einfluss von Geologie und Landnutzung auf die gemessene Nitrat- und die initiale Nitratkonzentration betrachtet. Dabei berechnet sich die initiale Nitratkonzentration (= Nitratkonzentration am Ort des Eintrags in das Grundwasser) als Summe der gemessenen Nitratkonzentration an der MST und dem abgebauten Nitrat (N₂-Exzess). Aus den N₂/Ar-Analyseergebnissen wird ein Nitratabbauvermögen abgeleitet und klassifiziert. Dieses Abbauvermögen wird mit den anhand des chemischen Milieus abgeschätzten Nitratabbauwahrscheinlichkeiten verglichen. Mit Blick auf die endliche Verfügbarkeit von Reduktionsmitteln werden MST mit hohem Gefährdungspotential hinsichtlich zukünftig steigender Nitratkonzentrationen im Grundwasser, sog. Risiko-MST (gemessene Nitratkonzentration ≤ 50 mg/l und gemessene Nitratkonzentration > 50 mg/l), betrachtet.

In der Fortführung und Weiterentwicklung der Nährstoffmodellierung sollen zukünftig über die Höhe des Nitrat-Abbauvermögens Rückschlüsse auf die im Einzugsgebiet der MST erfolgten Stickstoffverluste gezogen werden. Im Zusammenspiel mit einer berechneten Verweilzeit des Sickerwassers im Boden bis zum „Ort der Beurteilung“, dem Aquifer, können die Maßnahmenwirksamkeiten zur Erreichung des guten Zustandes im Grundwasser nach WRRL zeitlich abgeschätzt werden.

2 Untersuchungskampagne 2020

2.1 Methodischer Hintergrund zur Nitratabbau-Bestimmung

Aufgrund des möglichen Nitratabbaus durch Denitrifikation ist die Quantifizierung der Nitrateinträge in das Grundwasser, beispielsweise durch diffuse landwirtschaftliche Emissionen, anhand des Parameters Nitrat nur eingeschränkt möglich.

Unter Denitrifikation wird die Reduktion von Nitrat (NO_3^-) über die Zwischenstufen Nitrit (NO_2^-), Stickstoffmonoxid (NO) und Distickstoffmonoxid (N_2O) zu molekularem Stickstoff (N_2) unter anaeroben Bedingungen verstanden. Das produzierte N_2 als Endprodukt der Denitrifikation reichert sich dabei im Grundwasser an und wird als gelöstes Gas mit dem Grundwasserstrom im Aquifer transportiert (vgl. NLWKN, 2012)⁵.

Für den Ablauf der Denitrifikation müssen neben Nitrat im Grundwasserleiter u. a. hydraulisch und biologisch verfügbare Reduktionsmittel (Eisensulfide/-disulfide bei der chemo-lithotrophen oder organischer Kohlenstoff bei der chemo-organotrophen Denitrifikation), eine aktive Biozönose, vorwiegend reduzierende Milieubedingungen sowie ein pH-Wert $> 3,5$ vorliegen. Je nach Art der Reduktionsmittel kann die Konzentration des Sulfats (SO_4^{2-}) und des gelösten Eisens (Fe^{2+}) als Produkt einer chemo-lithotrophen Denitrifikation bzw. die des Hydrogenkarbonats (HCO_3^-) in Abhängigkeit des pH-Wertes als Produkt einer chemo-organotrophen Denitrifikation ansteigen. Oftmals ist auch ein Anstieg des pH-Wertes zu verzeichnen (KÖLLE, 2001)⁶. Da die Konzentration der genannten Wasserinhaltsstoffe auch durch andere Vorgänge beeinflusst werden kann, liefern die Informationen genannter Parameter zur Grundwasserbeschaffenheit nur Hinweise für einen möglichen Nitratumsatz durch Denitrifikation.

Eine Klassifizierung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Parameter Redoxpotential und Sauerstoff wurde im Jahr 2017 durch HYDOR [1] vorgenommen (**Tab. 1**).

⁵ NLWKN (2012): Messungen des Exzess-N₂ im Grundwasser mit der N₂/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. Reihe Grundwasser Nr. 15, Hrsg. Niedersächs. Landesbet. f. Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden.

⁶ KÖLLE, W. (2001): Wasseranalysen richtig beurteilt. - Wiley-VCH, Weinheim

Redoxpotential [mV]	Sauerstoff [mg/l]	Denitrifikationspotential
> 250	> 2	kein Nitratabbau
> 200	< 2	Nitratabbau
< 200	< 2	starker Nitratabbau

Tab. 1: Klassifizierung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Parameter Redoxpotential und Sauerstoff (nach HYDOR [1])

2.2 Bestimmung des Nitratabbaus durch Gasmessungen von N₂ und Ar

Messungen der in Grundwasserproben gelöst vorliegenden Gase N₂ und Ar bieten über die Ermittlung des N₂-Überschusses (Exzess-N₂) die Möglichkeit, den Nitratabbau direkt zu identifizieren und zu quantifizieren. Niederschlagswasser bzw. neu gebildetes Grundwasser hat ein bestimmtes N₂/Ar-Verhältnis. Entsteht durch Denitrifikation N₂, so erhöht sich das N₂/Ar-Verhältnis, da die Konzentration des Edelgases Ar im Grundwasser nicht wesentlich verändert wird. Ein gegenüber dem temperaturabhängigen Gleichgewicht erhöhtes N₂/Ar-Verhältnis im Grundwasser gilt als ein direkter Nachweis für den Ablauf einer Denitrifikation im Zustrombereich des beprobten Messpunktes (KONRAD, 2006)⁷.

Die Denitrifikation kann anhand des überschüssigen N₂ quantifiziert und über eine N-Summiierung der Eintrag an NO₃⁻ bestimmt werden. So kann zur gemessenen Nitratkonzentration einer Grundwasserprobe auch der über Denitrifikation abgebaute, quasi „maskiert“ vorliegende Nitratgehalt zum Zeitpunkt der Grundwasserneubildung bestimmt werden.

Zur vollständigen Ermittlung des durch Denitrifikation umgesetzten Nitrats müssten prinzipiell auch die Abbauzwischenprodukte Nitrit (NO₂⁻), Stickstoffmonoxid (NO) und Distickstoffmonoxid (N₂O, „Lachgas“) analysiert werden, da in diesen Verbindungen ebenfalls ein aus dem Abbau hervorgegangener Stickstoff gebunden ist. Ein sich aus diesen Komponenten ergebender Nitratumsatz ist aber häufig aufgrund der bilanziell geringen Anteile vernachlässigbar (vgl. KONRAD, 2006).

Die Berechnung des Exzess-N₂ ist generell dem NLWKN Bericht (NLWKN, 2012) zu entnehmen. In 2016 wurde sich im Rahmen eines fachspezifischen Arbeitskreises auf folgende Rahmenbedingungen geeinigt:

⁷ KONRAD, C. (2006): Methoden zur Bestimmung des Umsatzes von Stickstoff, dargestellt für drei pleistozäne Grundwasserleiter Norddeutschland. – Dissertation TU Dresden, unveröffentl.

- Eine Bestimmungsgrenze für Exzess-N₂ von 2 mg N/l (bei einem rechnerischen Exzess-N₂ Ergebnis von < 2 mg/l wurde daher der Wert auf 0 korrigiert),
- eine Rundung der Ergebniswerte auf ganze Zahlen, und
- der Exzess-N₂, der sich aus Ar-Werten < 12,5 µmol/l (0,5 mg/l) berechnet, gilt als nicht belastbar.

Das Nitratabbauvermögen wurde in Absprache mit dem AG in fünf Klassen unterteilt. Eine derartige Unterteilung wurde auch bereits von HYDOR [2] vorgenommen. Das Kriterium für die Klassenvergabe bildet dabei das Verhältnis zwischen Exzess-N₂ und der initiale Nitratkonzentration, vgl. **Tab. 2**.

Verhältnis N₂-Exzess zur initialen Nitratkonzentration	Abgebautes Nitrat [%]	Klassifikation des Nitratabbauvermögens
≥ 0,9	≥ 90 %	starker Nitratabbau
≥ 0,5 bis < 0,9	≥ 50 % bis < 90 %	moderater Nitratabbau
> 0 bis < 0,5	> 0 % bis < 50 %	geringer Nitratabbau
0	0 %	kein Nitratabbau
-	-	kein Nitratintrag

Tab. 2: Klassifizierung des Nitratabbauvermögens auf Grundlage der N₂/Ar-Methode

2.3 Messnetz und Messstellenwahl

Aus dem landesweiten Messnetz wurden seitens des LHW insgesamt 461 MST, bestehend aus 440 GWM und 21 Quellen, ausgewählt und für die Messkampagne vorgegeben. Auswahlkriterien waren primär die Parameter Sauerstoff und die Leitfähigkeit, ermittelt in vorangegangenen Untersuchungen. In den Jahren 2018 und 2019 wurden 253 MST untersucht. Die diesjährige Untersuchungsphase (2020) umfasste 208 MST (190 GWM und 18 Quellen). Davon waren zwei MST trocken, so dass eine Beprobung für 206 MST durchgeführt werden konnte.

2.4 Probenahme, Parameterumfang und Analytik

Die Beprobung erfolgte nach Maßgabe des Merkblattes Grundwasserprobenahme⁸ sowie der Ausschreibungsvorgaben. Zur Beprobung der GWM wurde eine Tauchpumpe vom Typ Grundfoss MP1 eingesetzt. Das Grundwasser im Bereich der MST kann durch verschiedene Prozesse in seiner Beschaffenheit verändert werden. Um derartige Einflussfaktoren im Rahmen der Probenahme auszuschließen wurden die beprobten MST zunächst abgepumpt. Dabei wurden sowohl das hydraulische Kriterium als auch das nach LHW (2004)⁴ eingehalten.

Nach Erfüllen der o. g. Kriterien wurden die Proben über einen Bypass-Teilstrom entnommen. Dazu wurde der Probenahmeschlauch am Flaschenboden positioniert und die Probenflasche bis zum Überlaufen mit Grundwasser befüllt. Die Befüllung der Stickstoff/Argon Proben erfolgte im Überlauf bis zum 2- bis 3-fachen Volumenaustausch, um Veränderungen der Gelöstgaskonzentrationen in der Grundwasserprobe durch atmosphärischen Kontakt zu minimieren. Es wurde luftblasenfrei befüllt. Die speziellen Probenflaschen wurden mit konischen Gummistopfen (Septum) verschlossen, die das im Flaschenhals befindliche Wasser nach außen verdrängen und eine luftblasenfreie Befüllung gewährleisten. Das Septum wurde dann zugleich mit Aluminiummanschetten versiegelt. Die Proben wurden umgehend in eine mitgeführte Kühlbox eingelagert.

Die Vor-Ort-Parameter wurden in einem Durchflussbehältnis mittels HACH-LANGER-Messgeräte erfasst und protokolliert. Ebenfalls über den Teilstrom wurden Kontrollgefäße befüllt, an denen die qualitativen (visuellen/organoleptischen) Befunde Trübung, Farbe, Absetzstoffe erfasst werden konnten. Der Geruch wurde in dem Durchflussbehältnis bestimmt. Zudem sind die Standrohrspiegelhöhen mittels Licht-/Akustiklot erfasst worden.

⁸ Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (2004), Merkblatt Grundwasserprobenahme

Der einheitliche Parameterumfang je MST umfasste:

- **Vor-Ort-Parameter:**
 - Ruhe-Grundwasserstand
 - Farbe
 - Trübung
 - Geruch
 - Bodensatz
 - Leitfähigkeit
 - pH-Wert
 - Sauerstoffgehalt
 - Redoxpotential
 - Temperatur

- **Laborseitige Analyse:**
 - Dissolved organic carbon (DOC)
 - Hauptkationen (Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium)
 - Hauptanionen (Chlorid, Sulfat, Ammonium, Hydrogencarbonat)
 - Eisen und Mangan
 - Stickstoff, Argon, Exzess-Stickstoff (N₂/Ar-Methode),
Nitrateintragskonz. (berechnet)
 - Nitrat, Nitrit
 - Orthophosphat

Im **Anhang 3** befinden sich die Probenahmeprotokolle, in **Anhang 4.1** und **4.2** die Laborprüfberichte. Wesentliche Daten daraus sind zu Übersichtszwecken in **Anhang 5** als Ergebnistabelle übernommen worden.

Die diesjährige Probenahmekampagne erfolgte im Zeitraum vom Juni bis September 2020. Die laborseitige Analytik wurde im akkreditierten Labor der GEO-data Dienstleistungsgesellschaft für Geologie, Hydrogeologie und Umweltanalytik mbH in Garbsen durchgeführt.

Die Konzentration der gelösten N₂ und Ar Gase wurde mittels der MIMS (engl. „membrane inlet mass-spectroscopy“; Kana et al. 1994)⁹ Methode gemessen. Das MIMS (**Abb. 3**) setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen (Pumpe, Membraneinlass, temperiertes Wasserbad, Kühlfalle, Quadrupol-Massenspektrometer). Zur Kalibration dient standardmäßig destilliertes Wasser mit einer festgelegten Wassertemperatur (mit der Luft äquilibriert). Mit Hilfe des Henry-Gesetzes können aus der Wassertemperatur und den Partialdrücken von Argon und molekularem Stickstoff in der Luft die theoretischen Argon- und Stickstoffkonzentrationen im Standardwasser berechnet werden (NLWKN 2012)¹⁰.

Über eine Schlauchpumpe wird die Probe anschließend zu der semipermeablen Membran des Inlets transportiert, wo die gelösten Gase in das Quadrupol-Massenspektrometer eintreten. Die Gase werden im Hochvakuumbereich als Ionenströme gemessen.

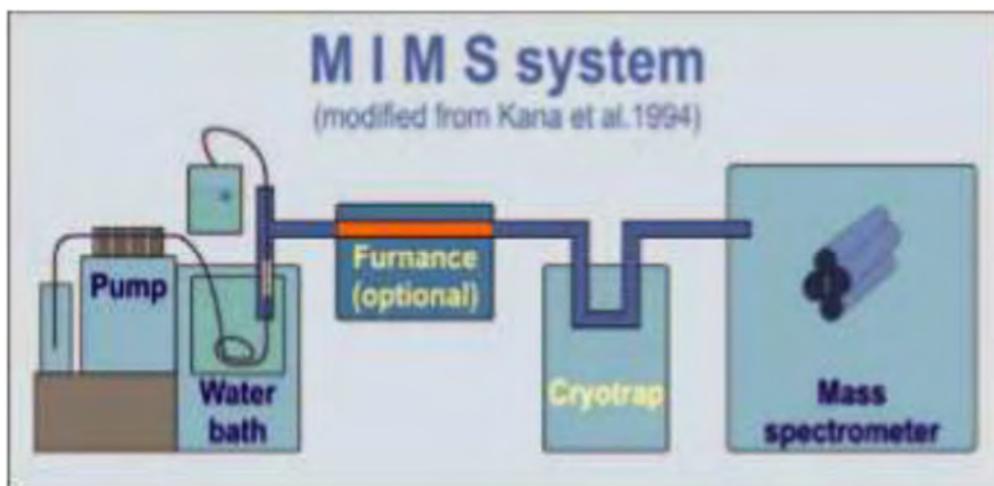


Abb. 3: MIMS Methode zur Messung der gelösten N₂- und Ar-Gase

⁹ Kana, T.M., Darkangelo, C., Hunt, M.D., Oldham, J.B., Bennett, G.E. & Cornwell, J. C. (1994). Membrane inlet mass-spectrometer for rapid high precision determination of N₂, O₂ and Ar in environmental water samples. Anal. Chem., 66, 4166-4170.

¹⁰ NLWKN (2012): Messung des Exzess-N₂ im Grundwasser mit der N₂/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz.- Herausgeber: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Band 15, Hannover.

2.5 Statistische Auswertung

Eine Auswertung auf der Flächenskala eines Bundeslandes stößt mit der Kartendarstellung schnell an ihre Grenzen. Für weiterführende Auswertungen werden die erhobenen Daten in diesem Bericht daher zusätzlich einer statistischen Auswertung unterzogen. Verwendet werden dabei u. a. Box-Plots, die anhand **Abb. 4** im folgenden Textabschnitt kurz erläutert werden. Median und Mittelwert werden im Box-Plot jeweils aus der Gesamtheit der Daten ermittelt. Das 25%- bzw. 75%-Quartil (Q1 bzw. Q3) entspricht dem Median der unteren bzw. oberen Datenhälfte. Der Interquartilsabstand (IQR) beschreibt den Abstand zwischen dem 25%- und 75%-Quartil. Als Ausreißer werden Datenpunkte definiert, die das 25%- bzw. 75%-Quartil um mehr als das 1,5-fache des Interquartilsabstand unter- bzw. überschreiten. Minimum und Maximum bildet der kleinste bzw. der größte Datenpunkt. Die in diesem Bericht ausgewerteten Daten weisen teilweise eine große Häufung von Werten nahe null sowie Nullwerten auf (z. B. gemessene Nitratkonzentration). Aufgrund dieser ungleichen Verteilung der Daten können Median, 25%- Quartil sowie Minimum nahezu zusammenfallen. Der Mittelwert hingegen kann durch die Anwesenheit weniger Extremwerte oberhalb des Interquartilsabstandes liegen.

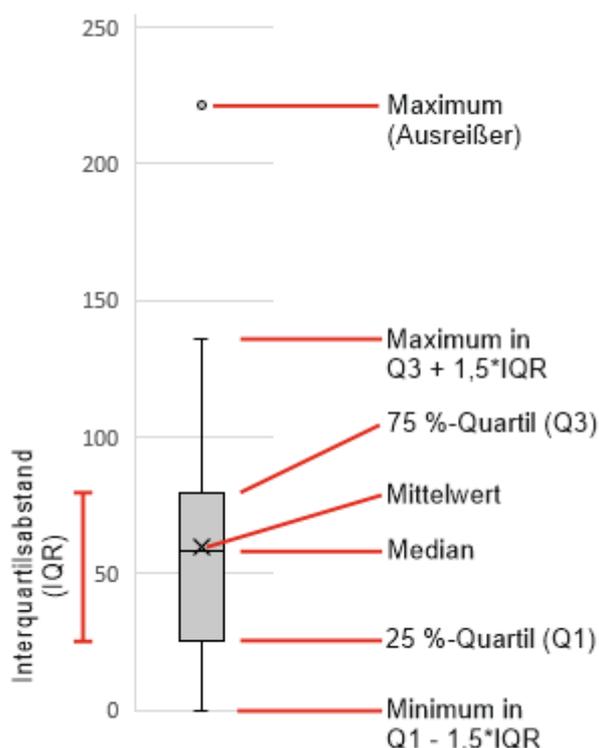


Abb. 4: Statistische Auswertung mittels Box-Plot-Darstellung

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Analyseergebnisse der N₂/Ar-Beprobungen ausgewertet und dargestellt. Berücksichtigt werden die 206 in 2020 beprobten MST sowie in weiten Teilen die 253 MST der Messkampagnen 2018 und 2019. Eine Übersicht genannter MST ist in **Abb. 5** zu sehen. Neben einer generellen Erhöhung der Messpunktdichte werden mit der 2020 durchgeführten Messkampagne der zuvor noch nicht beprobte Osten Sachsen-Anhalts (Landkreis Wittenberg) sowie Teile des Südwestens im und um den Harz erschlossen. Bei der Auswertung werden insbesondere die Einflüsse der Geologie und der Landnutzung auf den Nitratabbau untersucht. Das chemische Milieu sowie sog. Risiko-MST werden betrachtet.

Die Analyseergebnisse der N₂/Ar-Methode wurden zunächst mit dem QS-Tool N₂/Ar Check (Version: V1.20.beta) ausgewertet. Diese Plausibilitätskontrolle ist der Ergebnistabelle in **Anhang 5** zu entnehmen. Bei der Auswertung ergaben sich bei 50 der insgesamt 206 Proben Auffälligkeiten. 28 Proben sind entgast, was zu einer Unterschätzung von Exzess-N₂ führt. Die Ergebnisse sind dennoch belastbar. Bei 20 Proben sind die gemessenen Sauerstoffkonzentration für den errechneten N₂-Exzess-Wert zu hoch. Insbesondere bei flach verfilterten MST können Mischwässer zur Messung höherer Sauerstoffgehalte führen. Ein ähnliches Verhalten zeigen MST, die nur teilweise in der gesättigten Zone verfiltert sind. Auch diese Proben liefern belastbare Ergebnisse. Für eine Probe (MST Halle-Gesundbrunnen) treffen beide zuvor genannten Auffälligkeiten zu, sie wird dennoch als belastbar eingestuft. Für die Messstelle „Heidefleckquelle“ wird darüber hinaus eine Entgasung durch Methanbildung vermutet, dieses Ergebnis ist als einziges nicht belastbar. Hier stößt die N₂/Ar-Methode an ihre Grenzen. Aufgrund eines gemessenen Sauerstoffgehalts von 9,9 mg/l und einem Nitratgehalt von 60 mg/l, kann davon ausgegangen werden, dass an der MST „Heidefleckquelle“ kein Nitratabbau stattfindet. Entsprechend wird die MST in den Auswertungen unter der Kategorie „kein Nitratabbau“ berücksichtigt.

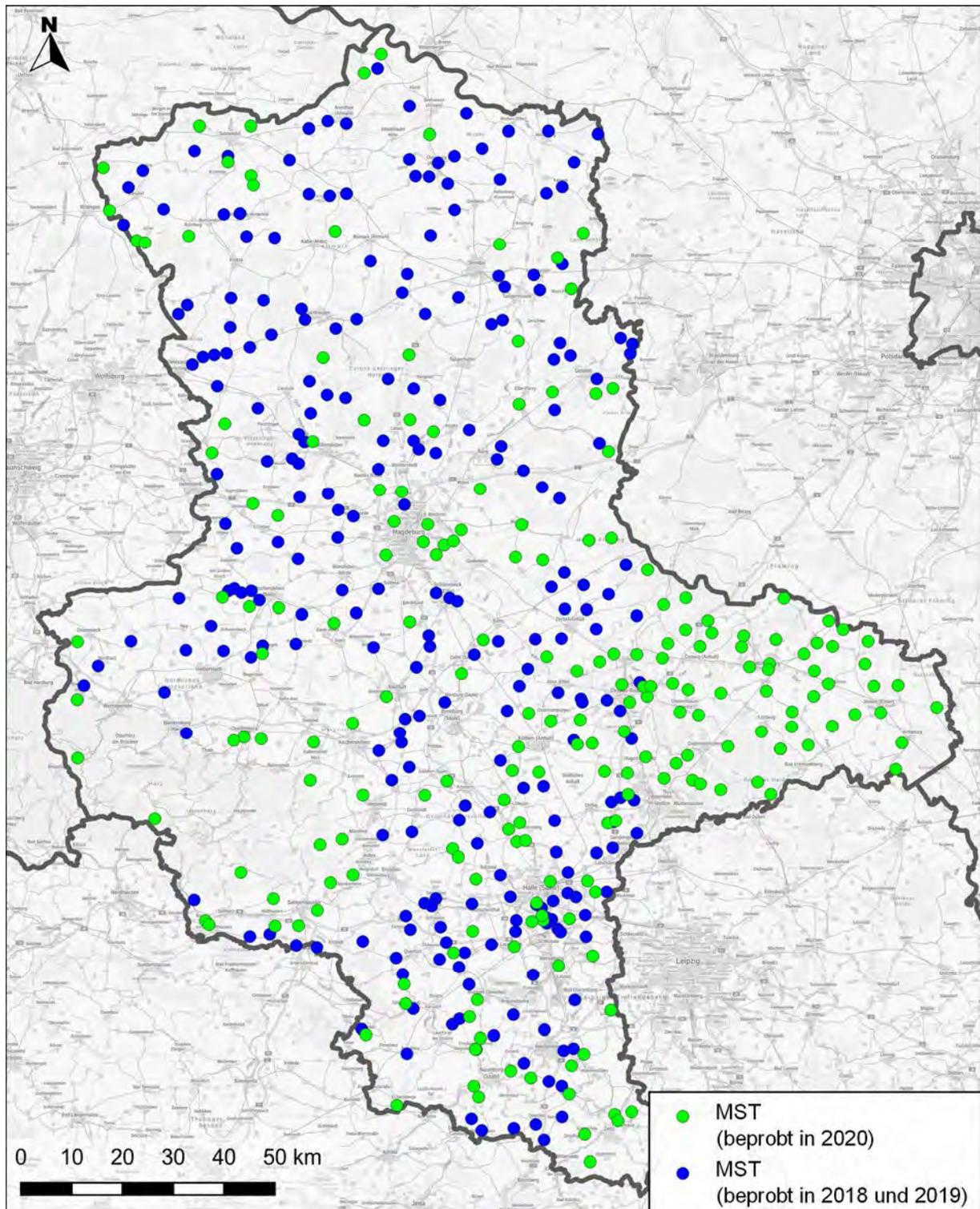


Abb. 5: Übersichtslageplan der insgesamt 459 in 2018 bis 2020 beprobten MST

3.1 Gemessene und initiale Nitratkonzentrationen

Eine Gegenüberstellung der gemessenen mit den initialen Nitratkonzentrationen aller 459 Analyseergebnisse ist in **Abb. 6** dargestellt. Es wurden verschiedene Bereiche gekennzeichnet (kein Nitratabbau, vollständiger Nitratabbau, kein Nitrategieintrag) und zusätzlich die einzelnen Datenpunkte entsprechend der Plausibilitätsprüfung (N₂/Ar-Check-Tool) gekennzeichnet. Entspricht die gemessene der initialen Nitratkonzentration wurde kein Nitrat abgebaut.

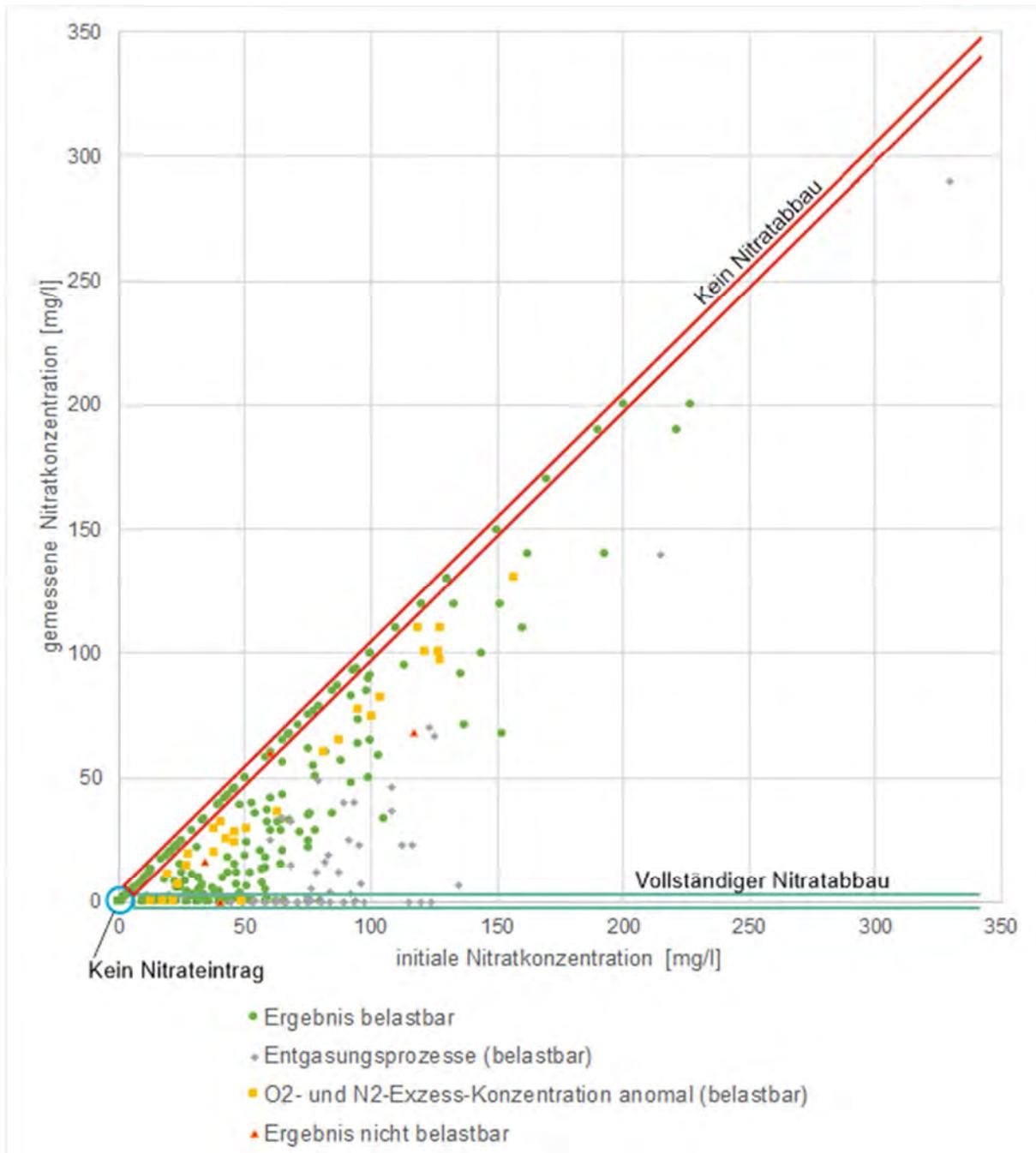


Abb. 6: Gegenüberstellung der initialen und gemessenen Nitratkonzentrationen

Je kleiner das Verhältnis zwischen den Messgrößen, desto ausgeprägter der Abbau. Die Abbildung zeigt weiterhin, dass Entgasungsprozesse vermehrt in Bereichen mit höherem Nitratabbau festgestellt wurden.

Zur detaillierteren Betrachtung mit Blick auf Einflussfaktoren auf die gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen bietet sich eine am geologischen Bau Sachsen-Anhalts orientierte Beschreibung an, grob aufgeteilt in Lockergestein (Norden und Osten) und Festgestein (Süden und Westen). Darüber hinaus ist eine von der Landnutzung abhängige Betrachtung sinnvoll.

Geologie

In die Kategorie Lockergestein entfallen die fünf hydrogeologischen Bezugseinheiten [3] „Flussauen und Niederungen“, „Flussauen mit Auelehmdecke“, „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“, „Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL“ und „Tertiär“. Die lithologischen Einheiten „Keuper, Jura, Kreide“, „Muschelkalk“, „Buntsandstein“, „Permokarbon“, „Altpaläozoikum“ und „Saure Magmatite“ werden dem Festgestein zugeordnet.

Eine landesweite Übersicht der im Grundwasser gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen ist in **Abb. 7** gegeben. In Absprache mit dem AG wurden die 459 Nitratkonzentrationen vier Klassen zugeordnet und farblich gekennzeichnet: < BG (grün), > BG – 37.5 mg/l (gelb), 37.5 – 50 mg/l (orange) und > 50 mg/l (rot).

Die Gegenüberstellung gemessener zu initialen Nitratkonzentrationen in **Abb. 7** zeigt deutlich höhere initiale als gemessene Nitratkonzentrationen und damit insgesamt einen hohen Nitratabbau. Im Festgestein sind tendenziell höhere gemessene Nitratkonzentrationen als im Lockergestein zu verzeichnen. Dies ist auf geringeren Nitratabbau im Festgestein zurückzuführen.

An 15 % der 459 MST wurde der in der deutschen Trinkwasserverordnung¹¹ (TrinkwV) festgelegte Grenzwert von 50 mg Nitrat/l überschritten. Die initialen Nitratkonzentrationen liegen deutlich höher. So wurde für 39 % aller MST eine Initialkonzentration > 50 mg Nitrat/l ermittelt. Weiterhin gilt zu beachten, dass die anhand der N₂/Ar-Methode ermittelten Initialkonzentrationen ausschließlich Nitratreinträge in die gesättigte Zone berücksichtigen. Da bereits nitratabbauende Prozesse in der ungesättigten Zone ablaufen, ist davon auszugehen, dass der tatsächliche Nitratreintrag in den Boden höher ist.

¹¹ Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

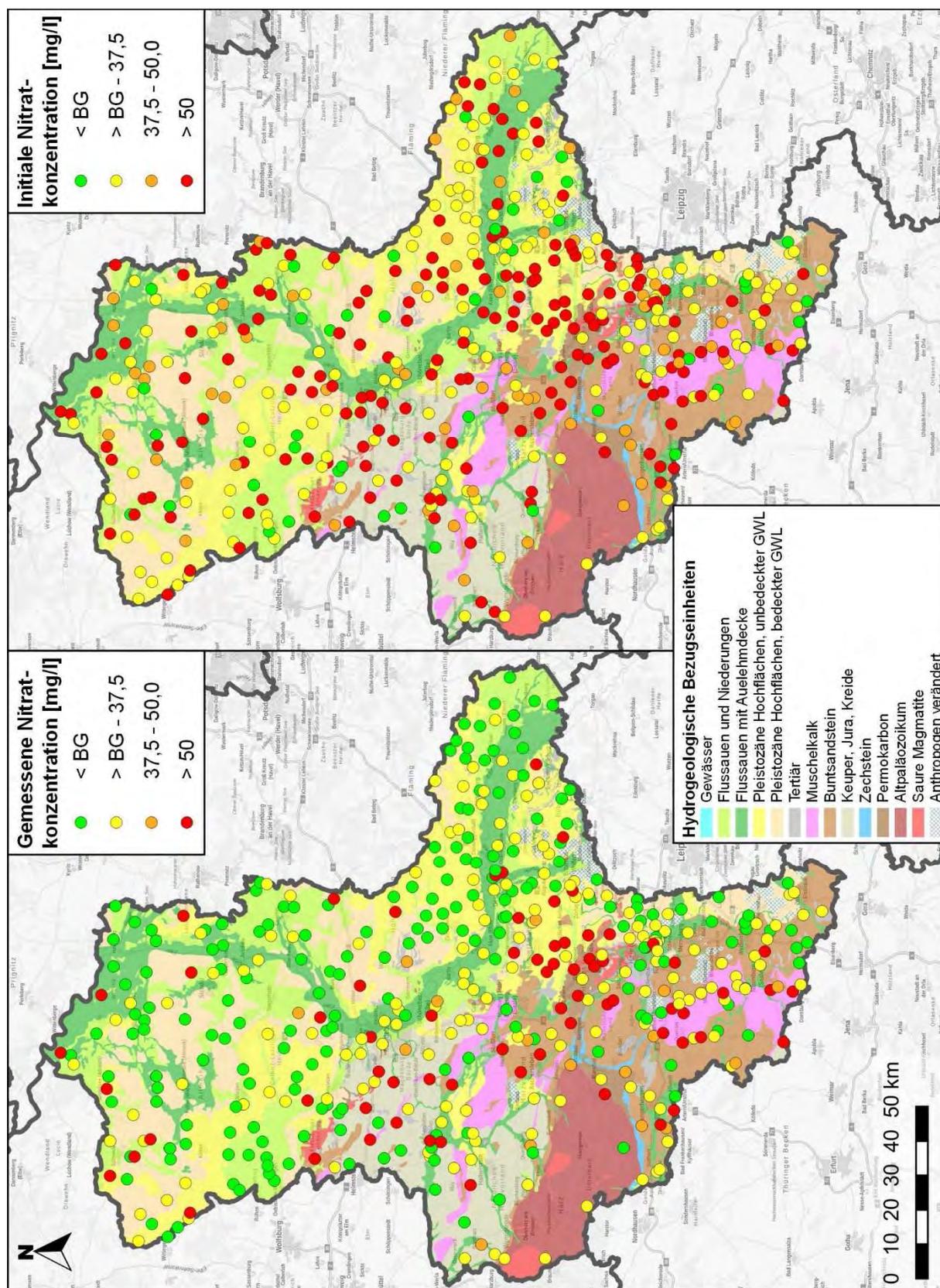


Abb. 7: Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2020 in Abhängigkeit der hydrogeologischen Bezugseinheiten

Die statistische Auswertung in **Abb. 8** zeigt, dass in rd. der Hälfte aller im Lockergestein verfilterten MST die gemessene Nitratkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) liegt. Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze bis maximal 37,5 mg/l werden seltener beobachtet. Mehr als 37,5 bis maximal 50 mg Nitrat/l werden im Lockergestein nur sporadisch angetroffen (3 % der MST im Lockergestein). Hohe Nitratkonzentrationen mit Messwerten jenseits der 50 mg/l sind in den verschiedenen lithologischen Einheiten des Lockergesteins gleichermaßen mit ca. 10 – 15 % vertreten.

Im Festgestein werden generell höhere Nitratkonzentrationen im Grundwasser gemessen. Aufgrund der geringen MST-Anzahl ist eine weitere Differenzierung, insbesondere für die Einheiten Permokarbon, Altpaläozoikum und Saure Magmatite, mit Unsicherheiten behaftet. Etwa ein Drittel der im Festgestein verfilterten MST zeigt Nitratkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze bis maximal 37,5 mg/l häufen sich im Süden und Westen Sachsen-Anhalts. Im Festgestein wurden Nitratkonzentrationen von mehr als 37,5 bis maximal 50 mg/l in 9 % der MST gemessen. Der zulässige Grenzwert nach TrinkwV wird an rd. einem Viertel der MST im Festgestein überschritten.

Die initiale Nitratkonzentration zeigt erwartungsgemäß keine Abhängigkeit von der Geologie.

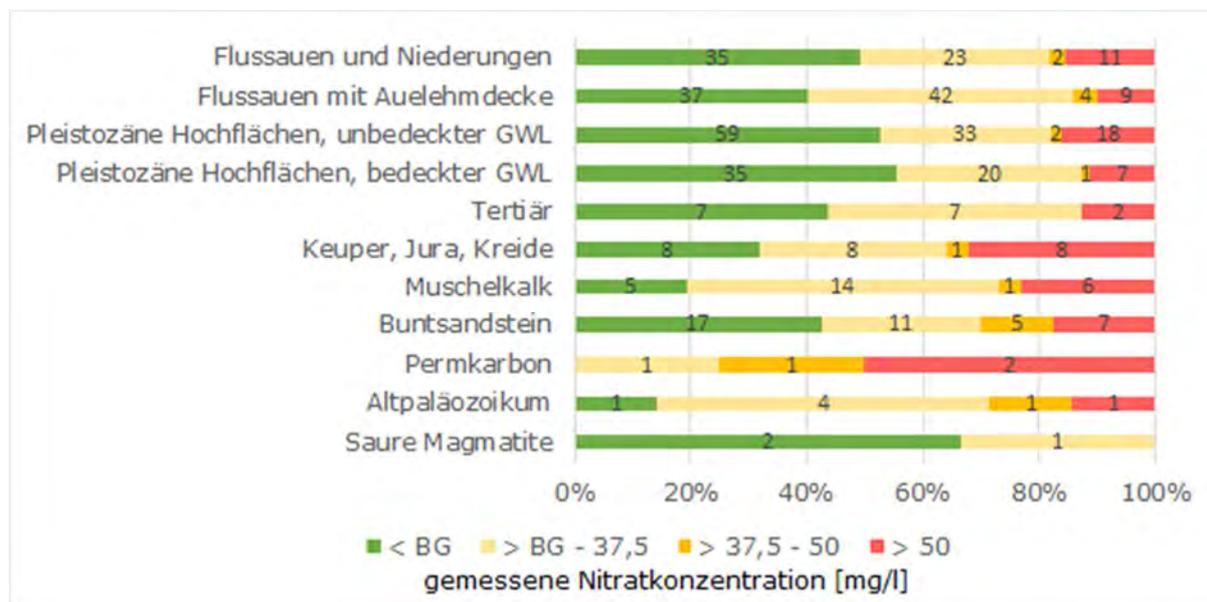


Abb. 8: Gemessene Nitratkonzentrationen in den verschiedenen geologischen Einheiten

Eine tiefendifferenzierte Betrachtung der Nitratkonzentrationen in Locker- und Festgestein (**Abb. 9**) bringt Aufschluss über die Grundwassertiefe, in der das Nitrat gemessen wurde. Dazu wurde die Höhe der Wassersäule über der Filteroberkante (Wassersäule ü. FOK) gegen die gemessene Nitratkonzentration geplottet. Datengrundlage bilden hier 200 MST mit bekannter Filterlage aus der Messkampagne 2020.

Im Festgestein wird eine Nitratverlagerung in größere Grundwassertiefen nachgewiesen. Als Grund können höhere Fließgeschwindigkeiten im Festgestein (meist Kluft- oder Karstgrundwasserleiter) und das Fehlen von Reduktionsmitteln angesehen werden. Aufgrund der geringen MST-Anzahl (n) mit zunehmender Tiefe, sind die Ergebnisse mit Unsicherheiten behaftet.

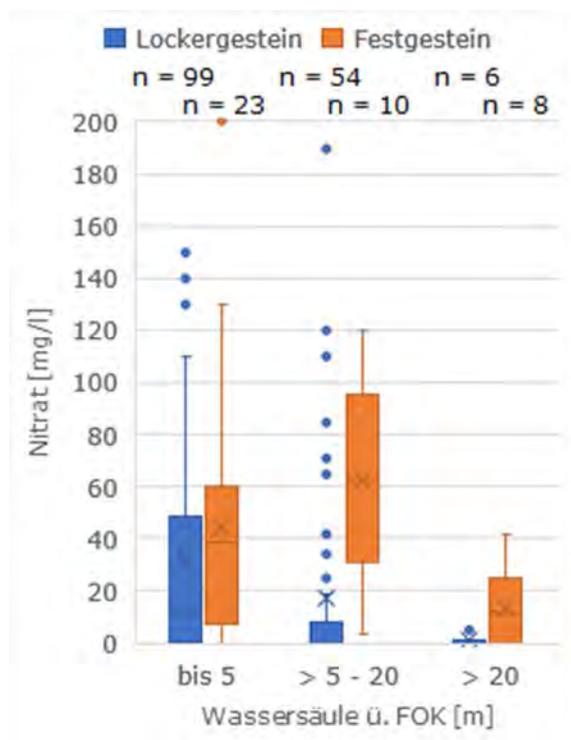


Abb. 9: Nitratkonzentrationen in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe

Landnutzung

Um den Einfluss der Landnutzung auf die gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen zu prüfen wurden besagte Messgrößen in Abhängigkeit von der Landnutzung in **Abb. 10** gegenübergestellt. Die Kartendarstellung zeigt hohe initiale Nitratkonzentrationen in Acker- und Siedlungsgebieten und geringe an Wald- und Grünland-Standorten. Detailliertere Aussagen anhand der Kartendarstellung sind aufgrund der landesweiten Darstellungsebene problematisch. Auch hier bietet sich zusätzlich eine statistische Analyse an.

Dazu wurden die 459 beprobten MST mit dem Corine Land Cover (Stand 2018) [4] in der Geoinformationssystemsoftware QGIS verschnitten. Die statistische Auswertung ist in **Abb. 11** in Form eines Box-Plots (vgl. Kapitel 2.5) dargestellt.

Ausreißer mit Werten > 160 mg/l wurden zur besseren Darstellung abgeschnitten. Die maximale initiale Nitratkonzentration in der Landnutzungskategorie Ackerland beträgt ca. 330 mg/l, die gemessene maximale Nitratkonzentration ca. 290 mg/l. Mittelwert und Median der jeweiligen Landnutzungskategorien sind zur besseren Übersicht in **Tab. 3** einzusehen.

Analyse-Parameter	Statistischer Parameter	Grünland	Wald / Gehölz	Ackerland	Siedlungs- / Verkehrsfläche
Gemessenes Nitrat [mg/l]	Mittelwert	10,6	7,2	28,1	31,0
Gemessenes Nitrat [mg/l]	Median	0,2	0,1	5,3	13,5
Initiales Nitrat [mg/l]	Mittelwert	33,1	26,9	61,4	57,1
Initiales Nitrat [mg/l]	Median	27,0	13,0	51,0	51,0
N ₂ -Exzess [mg NO ₃ /l]	Mittelwert	22,5	19,6	33,3	26,3
N ₂ -Exzess [mg NO ₃ /l]	Median	17,7	13,0	31,0	20,0

Tab. 3: Mittelwerte und Mediane der statistischen Auswertung in **Abb. 11**

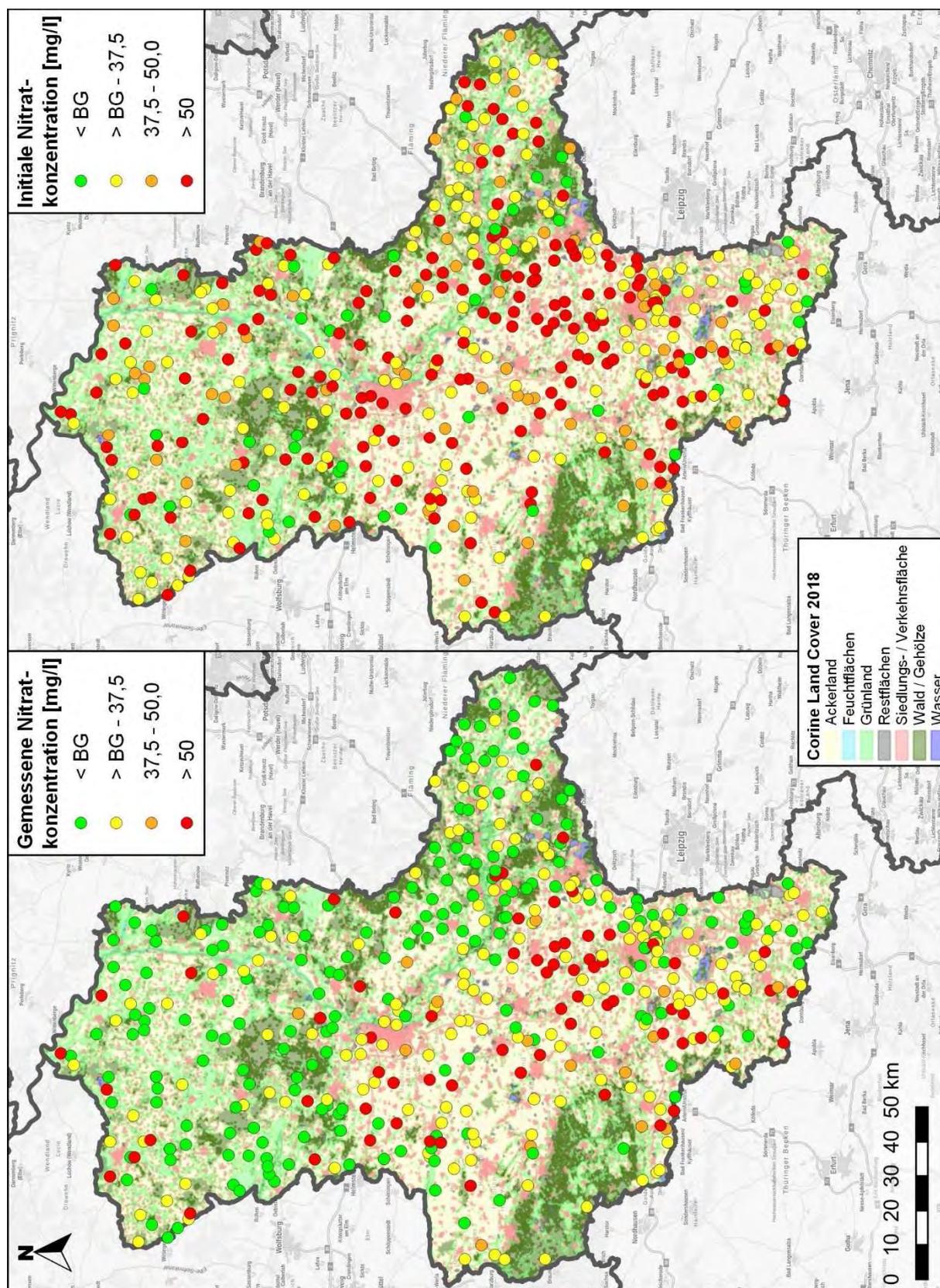


Abb. 10: Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2020 in Abhängigkeit der Landnutzung (Corine Land Cover 2018)

Die höchsten Nitratkonzentrationen wurden im Bereich der Landnutzungskategorie „Siedlungs- / Verkehrsfläche“ gemessen. Der Mittelwert in der Kategorie „Ackerland“ liegt nur geringfügig darunter, der Median hingegen deutlich. Bezogen auf die initialen Nitratkonzentrationen liegt der Mittelwert im Ackerland über dem der Siedlungs- und Verkehrsflächen. Die Mediane fallen jeweils identisch aus (vgl. **Tab. 3**). Deutlich geringere gemessene und initiale Konzentrationen wurden in den Landnutzungskategorien „Wald / Gehölz“ und „Grünland“ festgestellt. Eine MST entfiel in die Kategorie Restflächen (gemessene Nitratkonz.: 12 mg/l; initiale Nitratkonz.: 43 mg/l; N₂-Exzess: 31 mg NO₃/l).

N₂-Exzess (abgebautes Nitrat) hingegen schwankt zwischen den Kategorien weniger ausgeprägt. Trotz deutlicher Unterschiede zwischen gemessenen und initialen Konzentrationen scheint die Landnutzung die Höhe des Nitratabbau nur geringfügig zu beeinflussen.

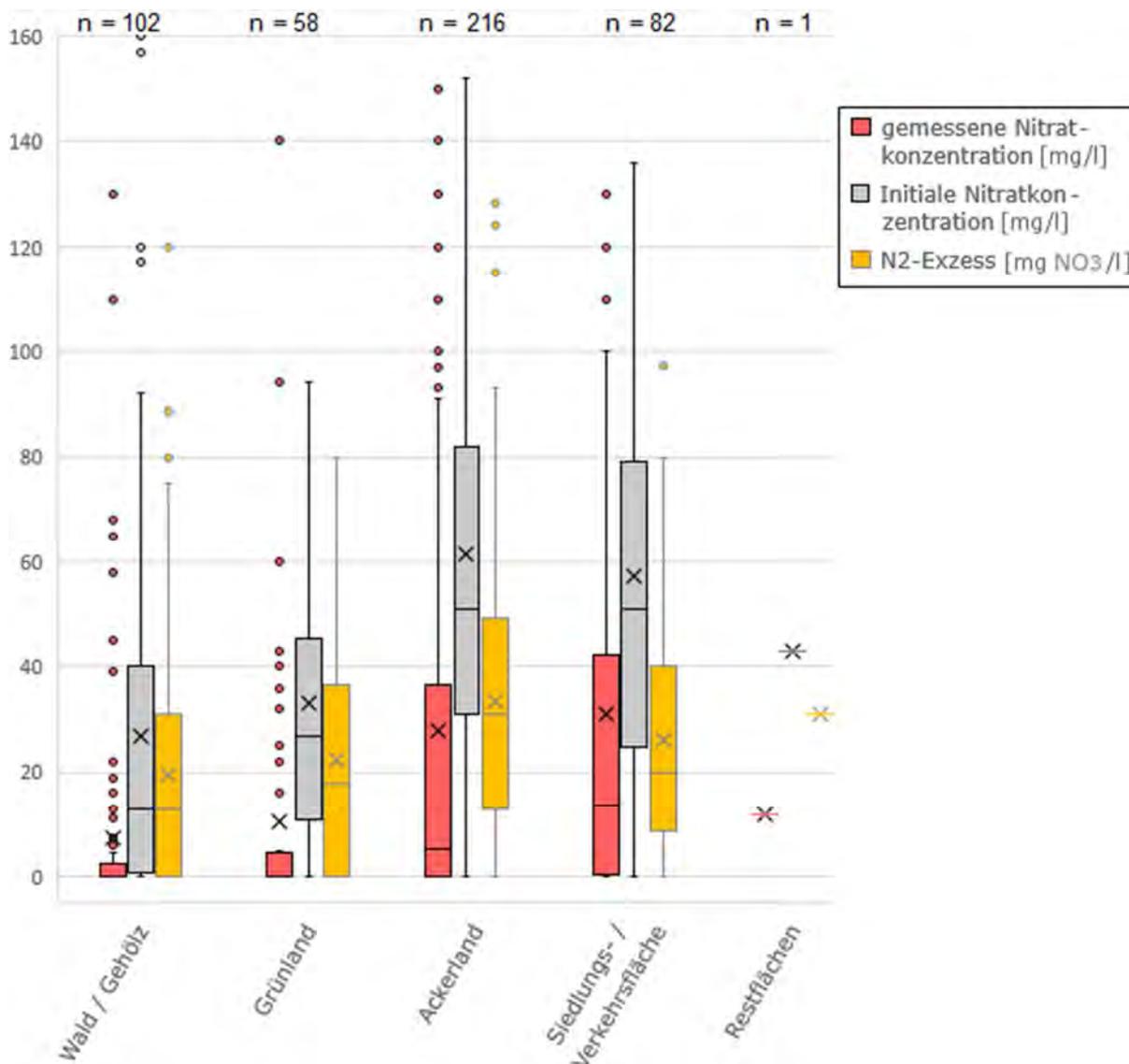


Abb. 11: Einfluss der Landnutzung auf Nitratkonzentrationen im Grundwasser

Die hohen gemessenen Nitratkonzentrationen in Siedlungsbereichen können auf den Einfluss mehrerer Faktoren zurückzuführen sein. Zum einen liegen betroffene MST häufig am Rande einer Siedlungsfläche in unmittelbarer Ackernähe, entfallen jedoch entsprechend in die Kategorie „Siedlungs- / Verkehrsfläche“. Dieser Effekt spiegelt sich auch in den Landnutzungskategorien Grünland und Wald / Gehölz wider. Als weitere Ursachen für erhöhte Nitratkonzentrationen in Siedlungsbereichen kommen Abwasserversickerungen, z. B. über veraltete und undichte Abwassersysteme, alte abflusslose Gruben in ländlichen Gegenden oder intensive Hausgartennutzung, infrage.

Darüber hinaus ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass gemessene Nitratwerte Aufschluss über die punktuellen Nitratverhältnisse im Bereich der Messstelle bzw. deren Filterstrecke geben. Sie sind das Ergebnis der im Zustrom befindlichen Flächennutzung und sind nicht zwangsläufig mit der Flächennutzung am Standort der Messstelle in Verbindung zu bringen.

Abb. 12 (Cremer, 2015)¹² verdeutlicht, dass sowohl die Lage der MST als auch die des Filters einen entscheidenden Einfluss auf das gemessene Ergebnis haben können. Je nach Lage verschiebt sich der Eintragsort der im Grundwasser gemessenen Konzentration.

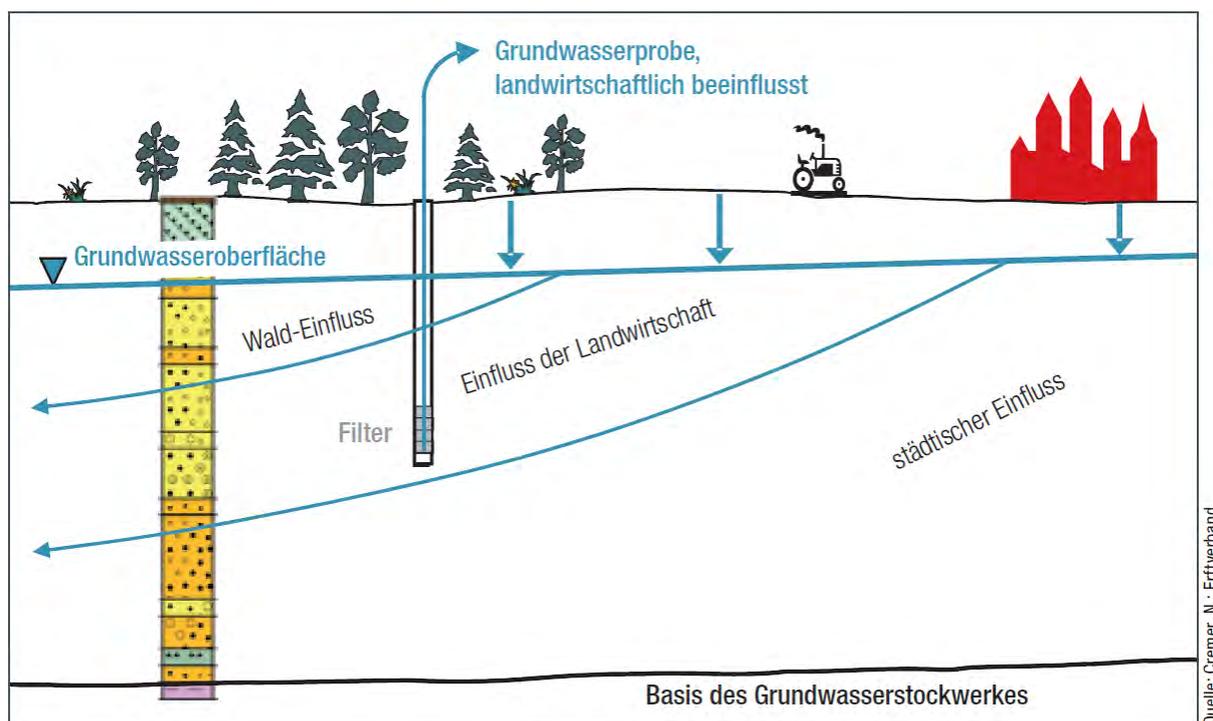


Abb. 12: Schematische Darstellung des Einzugsgebietes einer MST (Cremer, 2015)⁸

¹² Cremer, Dr. N. (2016), Nitratbauprozesse im Grundwasser – aktuelle Kenntnisse, Untersuchungsmethoden und Abschätzung der „Lebensdauer“ des Nitratbaus, Ertverband

3.2 Nitratabbauvermögen

Das Nitratabbauvermögen kann anhand der in Kapitel 2.2 (Tab. 2) beschriebenen Kriterien in die fünf Klassen „starker Nitratabbau“, „moderater Nitratabbau“, „geringer Nitratabbau“, „kein Nitratabbau“ und „kein Nitratreintrag“ eingeteilt werden. In **Abb. 14** werden alle 459 untersuchten MST entsprechend ihres Abbauvermögens dargestellt. Als Kartengrundlage dienen die hydrogeologischen Bezugseinheiten [3]. Starker Nitratabbau wird insbesondere im Norden und Osten Sachsen-Anhalts und somit in den Lockergesteinsbereichen festgestellt. Im Bereich der Festgesteine nimmt der Anteil an MST, an denen Nitratabbau festgestellt wurde, sichtbar ab.

Die Auswertung in **Abb. 13** zeigt eine Übersicht der beprobten Messstellen unter Verwendung der o. g. Klassen. Die Untersuchungen zeigen, dass zum jeweiligen Messzeitpunkt an 74 % der insgesamt 459 Messstellen ein aktiver Nitratabbau festgestellt wurde (43 % stark, 16 % moderat, 15 % gering). An 10 % der Messstellen wurde kein Nitratreintrag nachgewiesen. An 16 % der untersuchten Messstellen konnte kein Nitratabbau festgestellt werden.

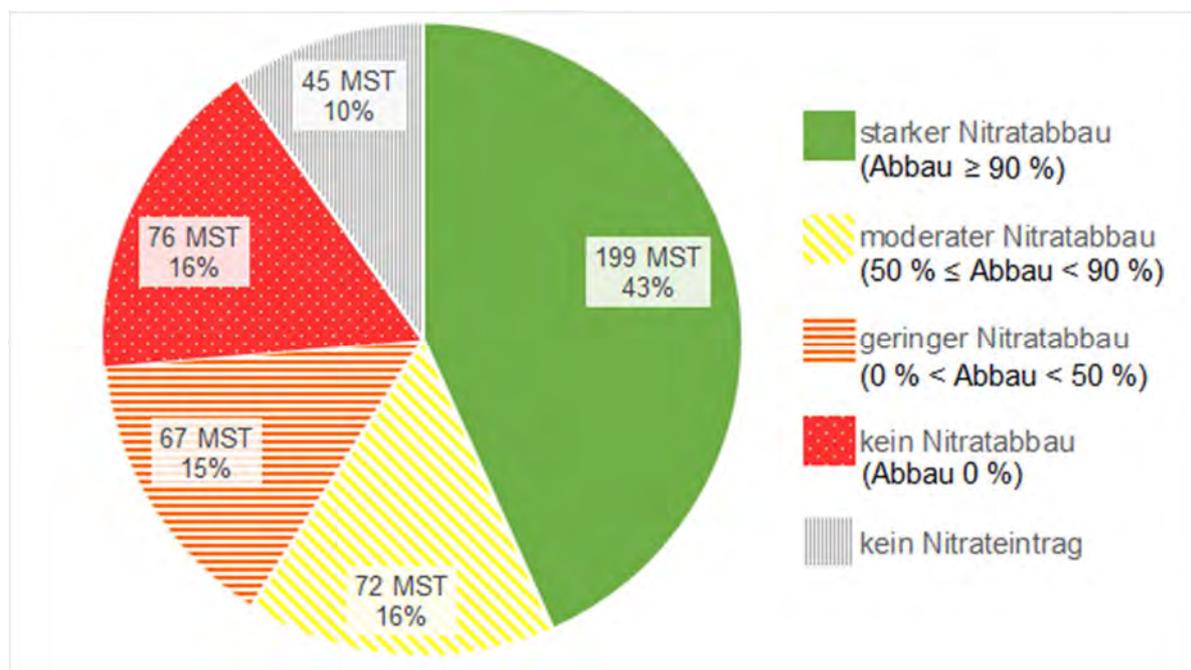


Abb. 13: Klassenverteilung des Nitratabbauvermögens anhand der N₂/Ar-Methode

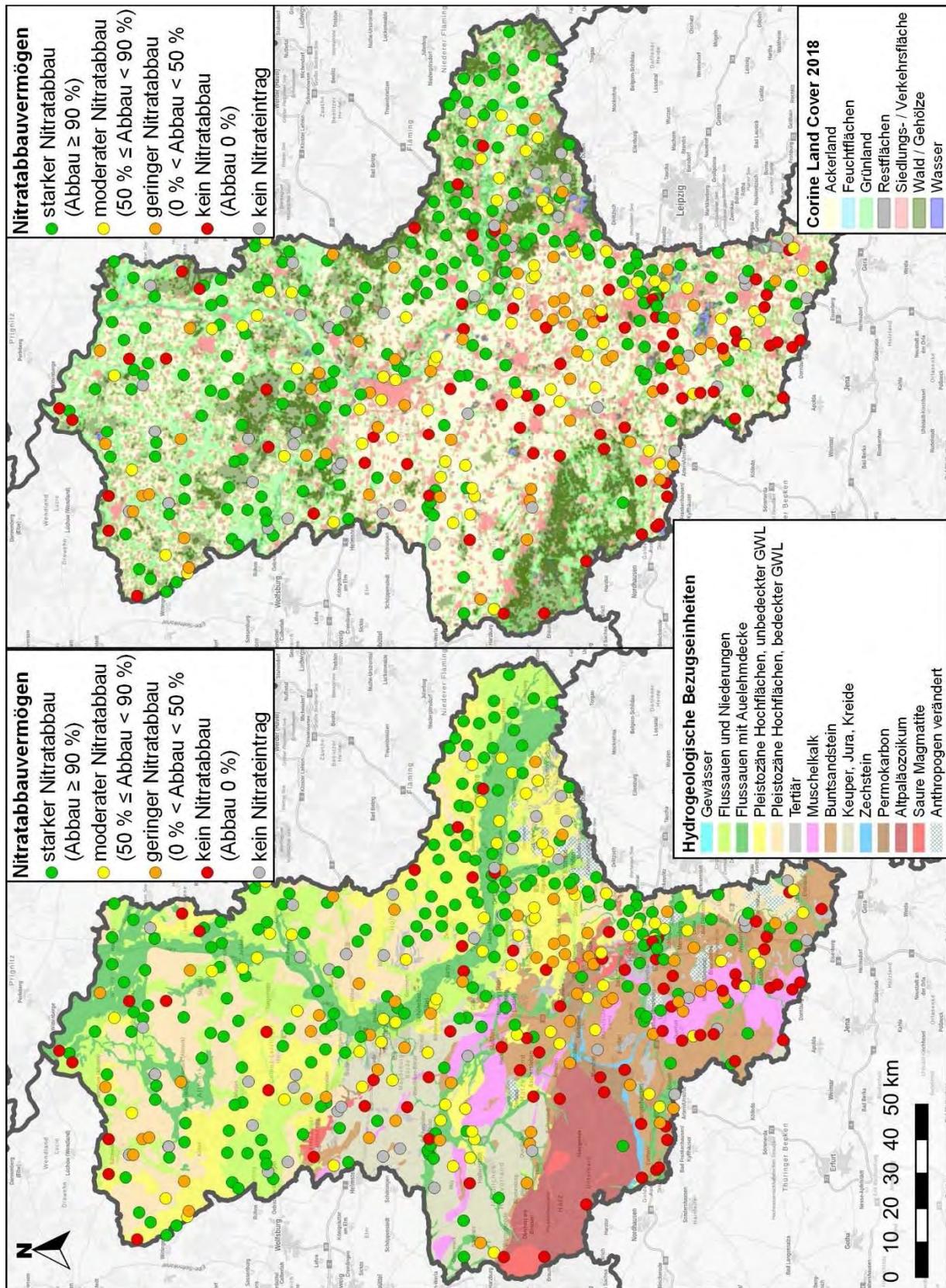


Abb. 14: Nitratabbauvermögen in Abhängigkeit der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts)

Für eine bessere quantitative Abschätzung des Nitratbaus wurden in **Abb. 15** die gemessene Nitratkonzentration und das berechnete N₂-Exzess (abgebautes Nitrat) an den MST abgebildet. Weiterhin wurde die Abbildung in die drei Bereiche „Kein Nitratreintrag“, „Nitrat vollständig abgebaut“ und „Nitrat teilweise oder nicht abgebaut“ unterteilt. Bei ausschließlich orangem Balken wurde das Nitrat vollständig abgebaut (162 MST). Wird ein blauer Balken um einen orangen erweitert, wurde das im Grundwasser befindliche Nitrat nur teilweise abgebaut (176 MST). An 77 MST wurde kein Nitrat abgebaut (ausschließlich blauer Balken). An 44 MST betrug die initiale Nitratkonzentration null. Die Summe aus N₂-Exzess und der gemessenen Nitratkonzentration spiegelt die initiale Nitratkonzentration wider.

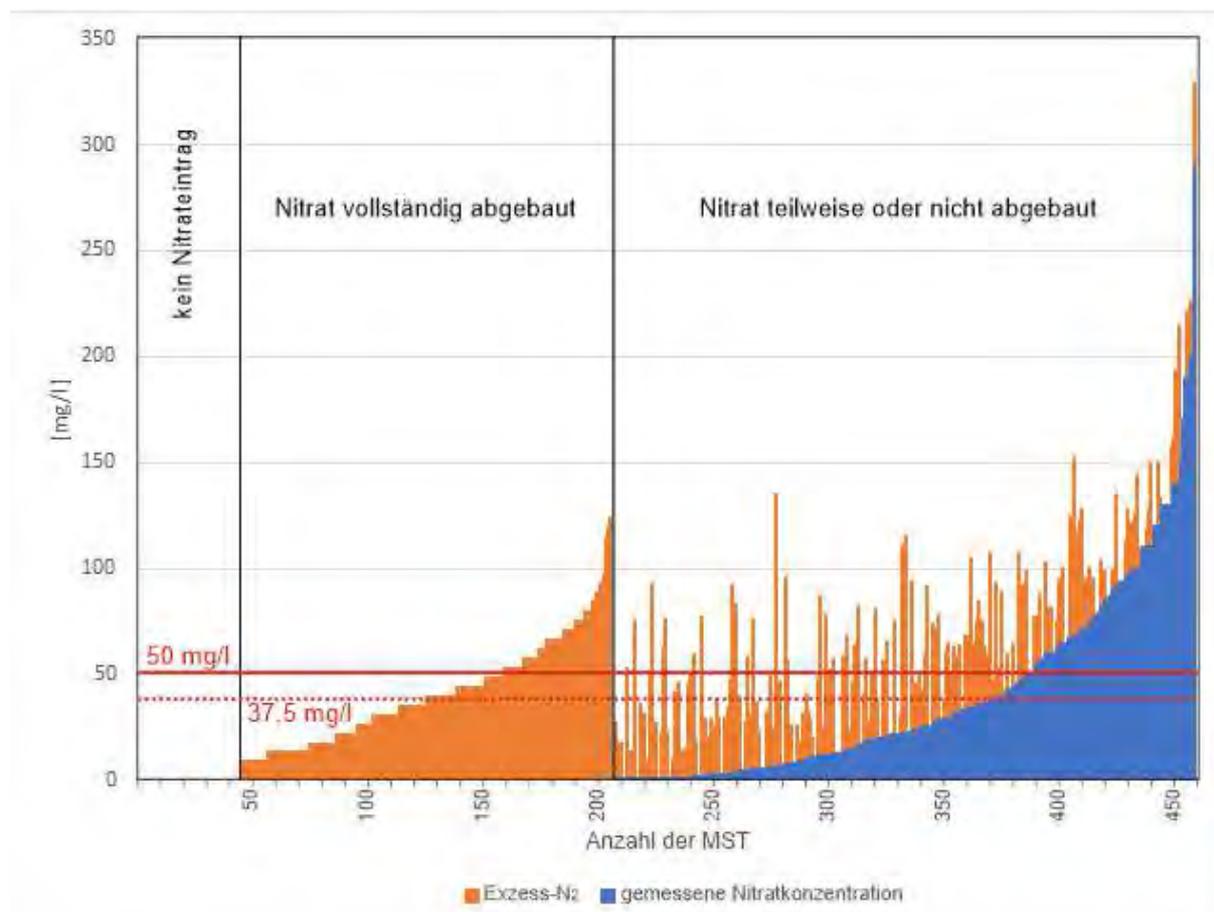


Abb. 15: Exzess-N₂ und gemessene Nitratkonzentration der beprobten MST

Die Auswertung in **Abb. 16** zeigt Zusammenhänge zwischen der Geologie und dem Nitratbau, bzw. dessen Intensität. Unter Verwendung der o. g. Kategorisierung findet der Nitratbau vorrangig im Lockergestein, in abgeschwächter Form jedoch auch im Festgestein statt. Aufgrund der geringeren Datendichte von Messungen im Festgestein ist dieses Ergebnis mit Unsicherheiten behaftet und zeigt lediglich eine Tendenz auf, die sich jedoch mit den Ergebnissen vorheriger Nitratuntersuchungen deckt.

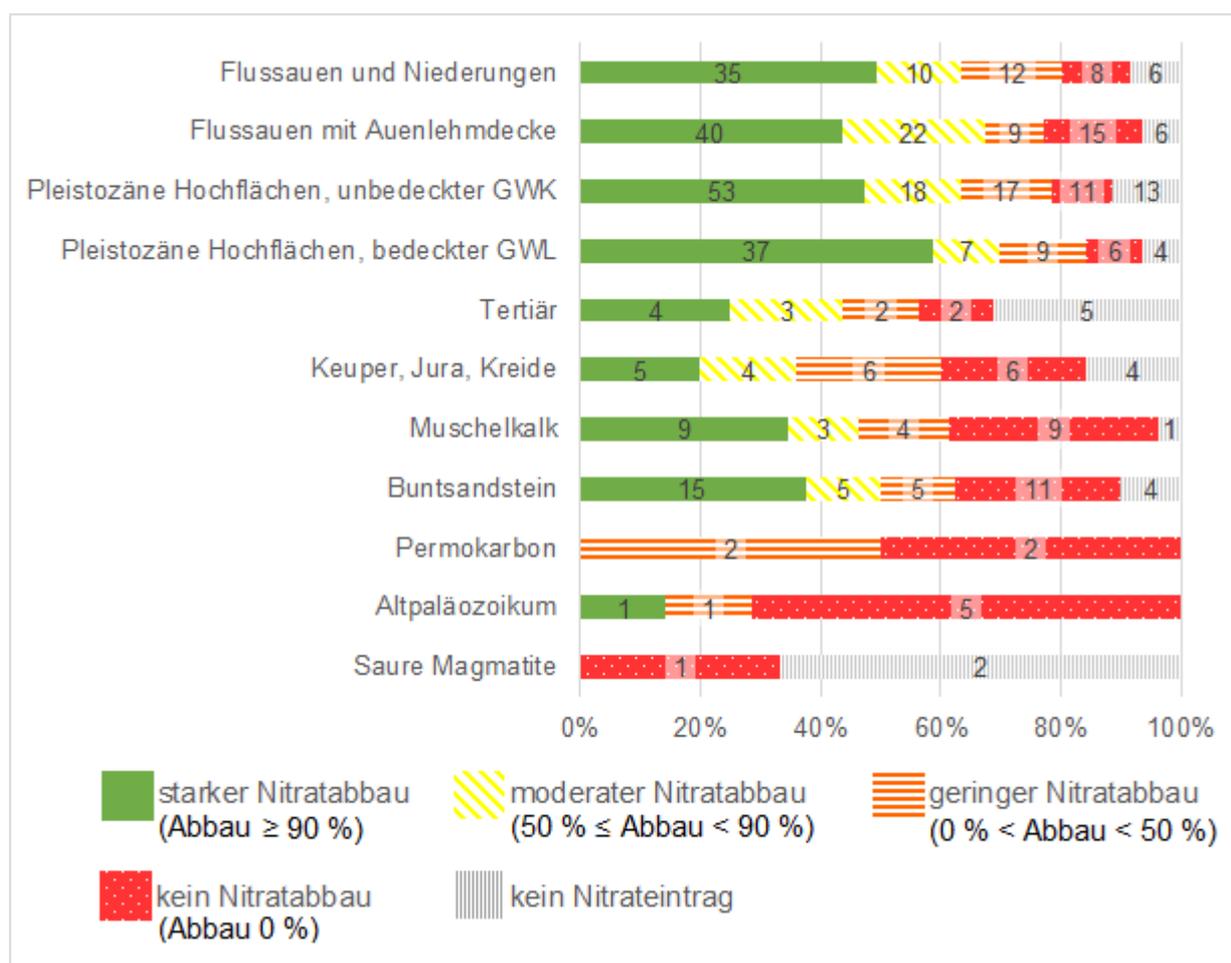


Abb. 16: Nitratabbauvermögen in den verschiedenen geologischen Einheiten

3.3 Chemisches Milieu

Mit der N₂/Ar-Methode können Denitrifikationsprozesse nachgewiesen und quantitativ bewertet werden – die Plausibilität der Ergebnisse ist prüfbar (N₂/Ar-CheckTool). Bevor die N₂/Ar-Methode Einzug in die wasserwirtschaftliche Praxis fand, wurde der Nitratabbau u. a. anhand der Parameter Sauerstoff, Sulfat und Eisen bewertet (NLWKN 2012)¹³. Dies ist mit Unsicherheiten behaftet. Dennoch bietet die Bestimmung des chemischen Milieus gute Anhaltspunkte für eine Ersteinschätzung möglichen Nitratabbaus. Bei wenig Sauerstoff (< 1,5 mg/l) wird von einem reduzierenden Milieu, also guten Voraussetzungen für Denitrifikation, gesprochen. Bei hohen Sauerstoffkonzentrationen (> 5 mg/l) wird von einem oxidierenden Milieu und damit schlechten Voraussetzungen für Denitrifikation ausgegangen (Kunkel et al., 2004)¹⁴. Im Streudiagramm in **Abb. 17** sind die Analyseergebnisse für Sauerstoff und das Redoxpotential gegeneinander aufgetragen. Bereiche, die nach HYDOR [1] anhand der Parameter Redoxpotential und Sauerstoff einer Nitratabbauwahrscheinlichkeit zugeordnet wurden, sind in der Abbildung gekennzeichnet (vgl. Kapitel 2.1, Tab. 1). Die jeweiligen Messpunkte wurden zusätzlich nach ihrer Nitratabbauwahrscheinlichkeit (Ergebnis der N₂/Ar-Untersuchungen, vgl. Kapitel 2.2, Tab. 2) farblich gekennzeichnet. Weiterhin wird zwischen Lockergestein (oben) und Festgestein (unten) unterschieden. Im Lockergestein liegt die Sauerstoffkonzentration der Proben überwiegend bei < 1 mg/l (Median 0,3; Mittelwert 1,0) – es dominieren also reduzierende und somit für den Nitratabbau günstige Verhältnisse. Im Festgestein ist eine Häufung im reduzierenden Milieu deutlich geringer ausgeprägt (Median 1,1; Mittelwert 2,6) – die Streuung der Messwerte fällt hingegen stärker aus. Einzelne Proben im Lockergestein zeigen, dass trotz reduzierender Milieubedingungen kein Nitratabbau stattfindet. Umgekehrt ist bei den als „Nitratabbau“ gekennzeichneten Proben in oxidierendem Milieu davon auszugehen, dass es sich um Mischwässer oder „belüftete“ Filter handelt und sich die tatsächlichen Denitrifikationsprozesse in einem reduzierten Milieu abgespielt haben. Ein Abgleich der mittels N₂/Ar-Methode bestimmten mit dem über das Milieu abgeschätzten Nitratabbauvermögen zeigt bis auf wenige Ausnahmen eine gute Übereinstimmung.

¹³ NLWKN (2012): Messungen des Exzess-N₂ im Grundwasser mit der N₂/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. Reihe Grundwasser Nr. 15, Hrsg. Niedersächs. Landesbetr. f. Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden.

¹⁴ Kunkel, R., Voigt, H.-J., Wendland, F. & S. Hannappel (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland.- FZ Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 47, Jülich, S.20

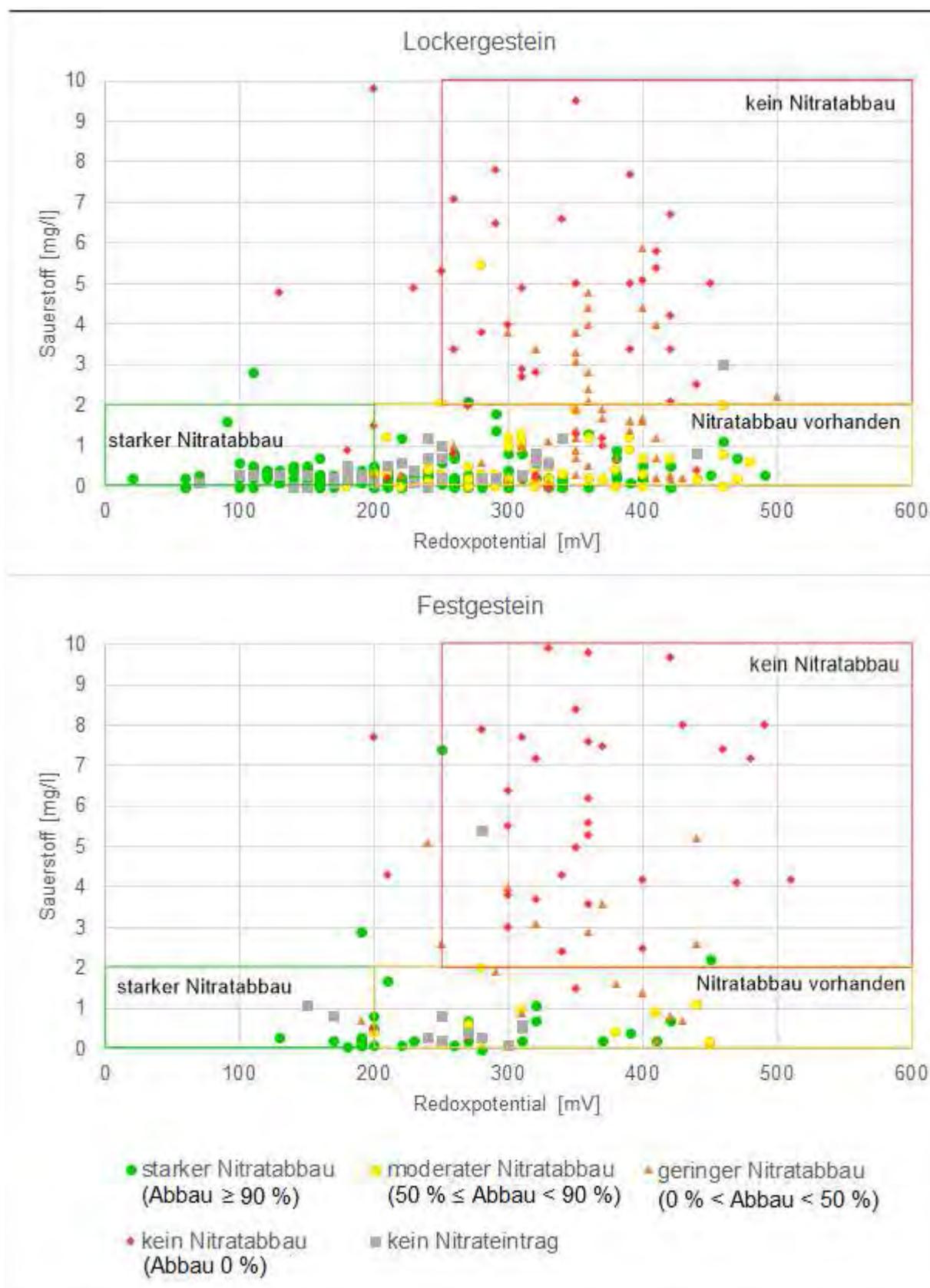


Abb. 17: Nitratabbauvermögen im Kontext des chemischen Milieus im Lockergestein (oben) und Festgestein (unten)

Anhand einer tiefendifferenzierten Betrachtung der Sauerstoffkonzentration in **Abb. 18** kann gezeigt werden, dass die Sauerstoffgehalte im Festgestein häufig oberhalb von 1,5 mg/l liegen und somit keine für die Denitrifikation optimalen, reduzierenden Milieubedingungen herrschen.

Generell sind Locker- und Festgesteinsgrundwasserleiter hydraulisch zu unterscheiden. Im Lockergestein entspricht die Gesteinsdurchlässigkeit meist grob der Gebirgsdurchlässigkeit. Im Festgestein hingegen liegt die Gebirgsdurchlässigkeit von Kluft- oder Karstgrundwasserleitern deutlich höher als die Gesteinsdurchlässigkeit. Das hat zur Folge, dass Nitrat im Festgestein schneller in tiefere Grundwasserhorizonte vordringen kann. Nitrat wird im Festgestein aufgrund höherer Fließgeschwindigkeiten und weniger zugänglichen Reduktionsmitteln tendenziell schlechter und zudem vermutlich in größeren Tiefen abgebaut. Die Ergebnisse aus **Abb. 9** stützen diese These.

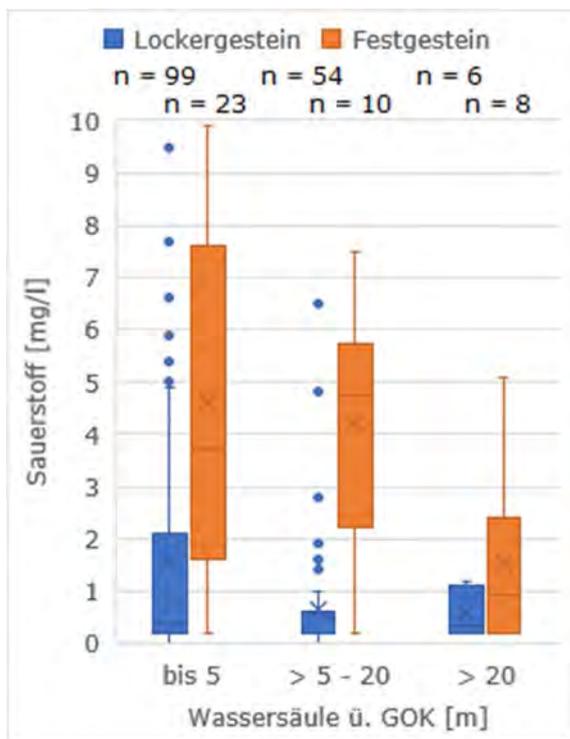


Abb. 18: Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe an den MST der Messkampagne 2020, für die die Filterlage bekannt ist

3.4 Risikomesstellen

Im Unterschied zu einer Einschätzung des Nitratabbauvermögens nach den Milieubedingungen bietet die N₂/Ar-Methode nicht nur die Möglichkeit den Abbau von Nitrat nachzuweisen, sondern erlaubt darüber hinaus auch eine Quantifizierung des Nitratabbaus. Das bedeutet, dass frühzeitig auf eine möglicherweise in Zukunft drohende Nitratbelastung des Grundwassers hingewiesen werden kann, auch wenn bisher kein oder wenig Nitrat im Grundwasser gemessen wird. Dies erlaubt es präventive Maßnahmen zu ergreifen und potentielle Grenzwertüberschreitungen im Grundwasser (50 mg/l Nitrat) zu verhindern. Daher bietet sich die Ausweisung entsprechender Risikomesstellen an.

Als Risikomesstellen werden solche Messstellen bezeichnet, für die eine initiale Nitratkonzentration > 50 mg/l errechnet wurde, der im Grundwasser gemessene Nitratwert jedoch nicht den in der deutschen TrinkwV festgelegten Grenzwert von 50 mg/l überschreitet. Genannte Risikomesstellen sind in **Abb. 19** dargestellt. In diese Kategorie entfallen 24 % aller 459 untersuchten MST. An 15 % der MST wurden bereits Nitratkonzentrationen oberhalb des Grenzwertes von 50 mg/l festgestellt.

Um räumliche Zusammenhänge zwischen Risiko-MST und der Landnutzung besser darzustellen, wurden entsprechende MST mit dem Corine Land Cover (Stand 2018) [4] verschnitten. Eine statistische Auswertung der Risiko-MST ist **Abb. 20** zu entnehmen. Um diese in Relation mit der Gesamtheit der MST zu setzen, werden zusätzlich MST aufgeführt, bei denen sowohl die gemessene als auch die initiale Nitratkonzentration unterhalb von 50 mg/l liegen sowie MST, an denen die gemessene Nitratkonzentration oberhalb von 50 mg/l liegt. Prozentual werden die meisten Risiko-MST in den Landnutzungskategorien Ackerland und Siedlungs- und Verkehrsflächen beobachtet. Der hohe Anteil an Risiko-MST in Siedlungs- und Verkehrsflächen ist vermutlich primär auf die in Kapitel 3.1 bereits beschriebenen Effekte zurückzuführen (**Abb. 12**, MST-Nähe zu Ackerflächen). Erwartungsgemäß finden sich nur wenige Risiko-MST in Bereichen von Grünland und Wald / Gehölz wieder.

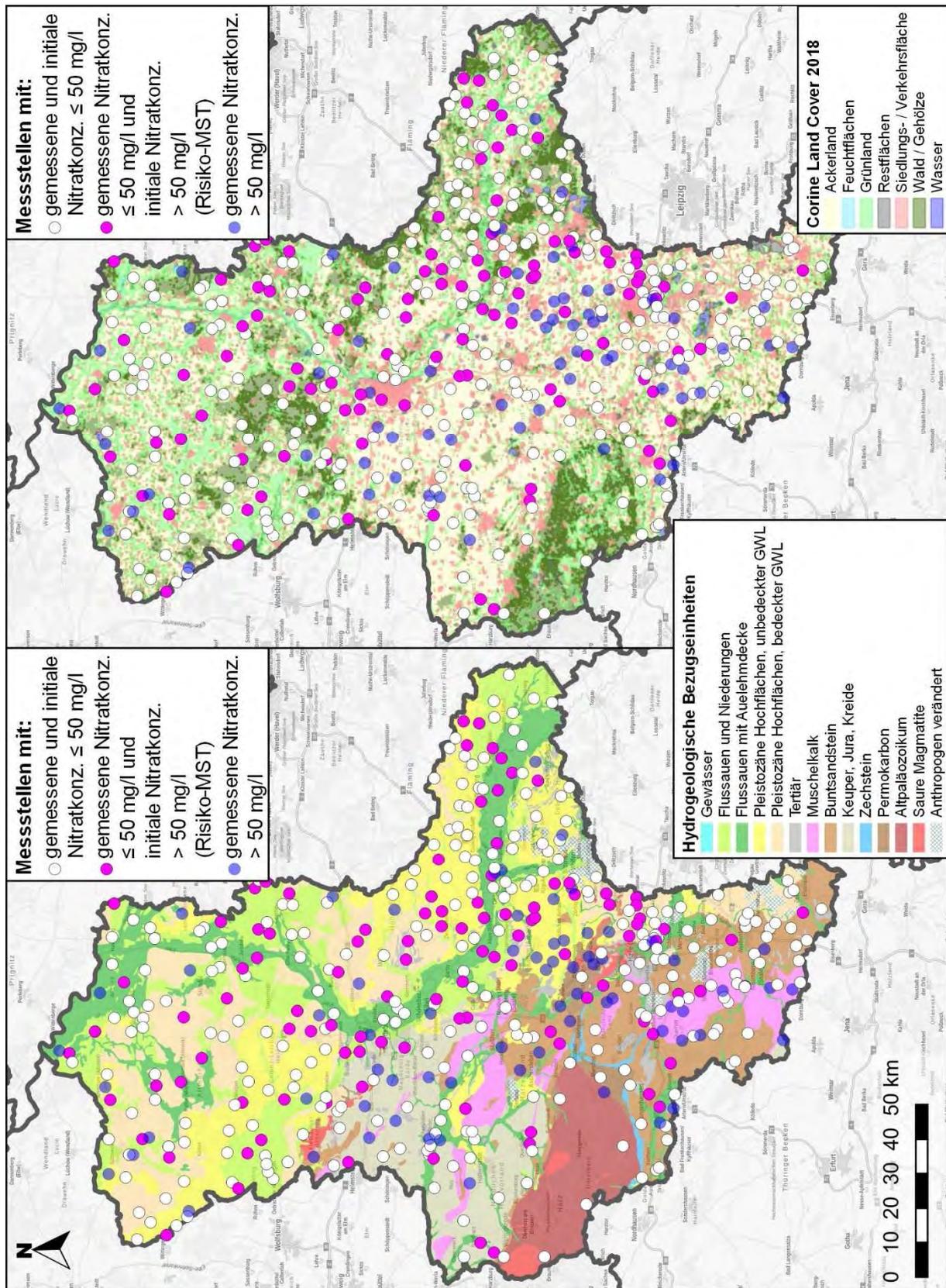


Abb. 19: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts)

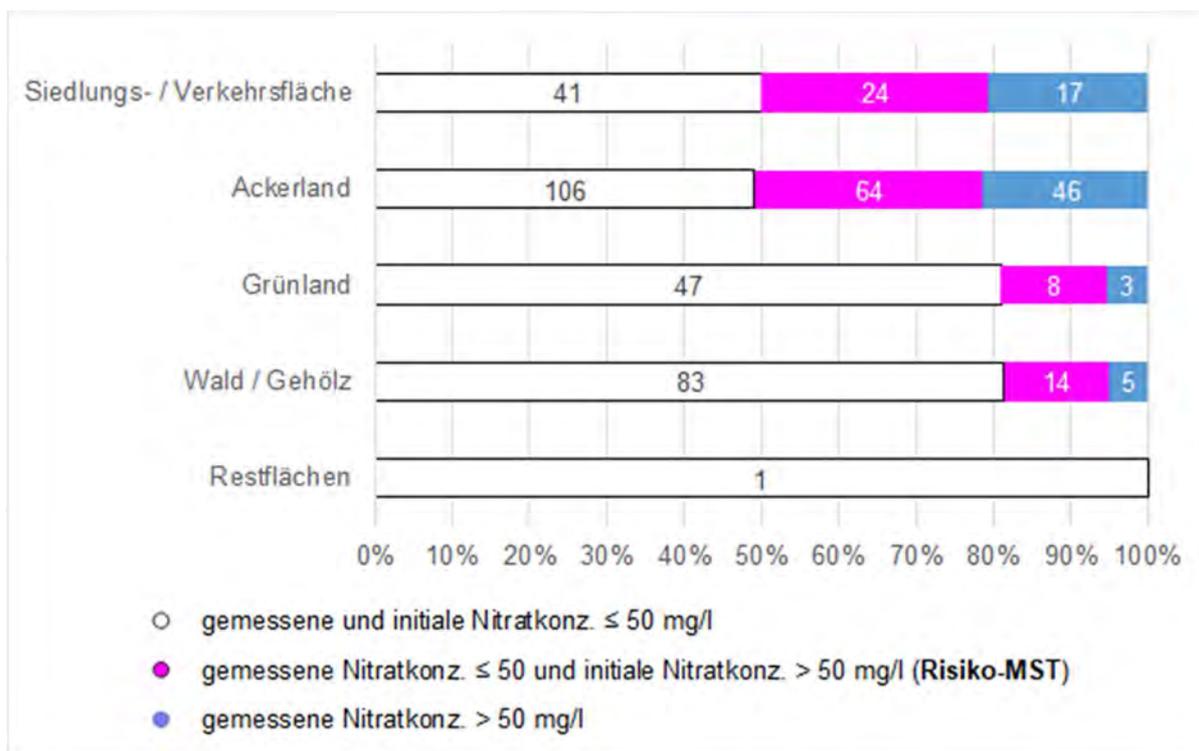


Abb. 20: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Landnutzung

Abb. 21 zeigt die Verteilung betroffener Risiko-MST aufgeteilt in Fest- und Lockergestein. Von insgesamt 110 Risiko-MST sind 95 im Lockergestein und 15 im Festgestein verfiltert. Das entspricht 27 % aller MST im Lockergestein bzw. 14 % aller MST im Festgestein. Der Anteil an MST mit mehr als 50 mg Nitrat/l im Grundwasser ist hingegen im Festgestein fast doppelt so hoch. Dieses Ergebnis scheint mit Blick auf die in Kapitel 3.3 gewonnenen Erkenntnisse plausibel. Die für Denitrifikationsprozesse optimalen Milieubedingungen finden

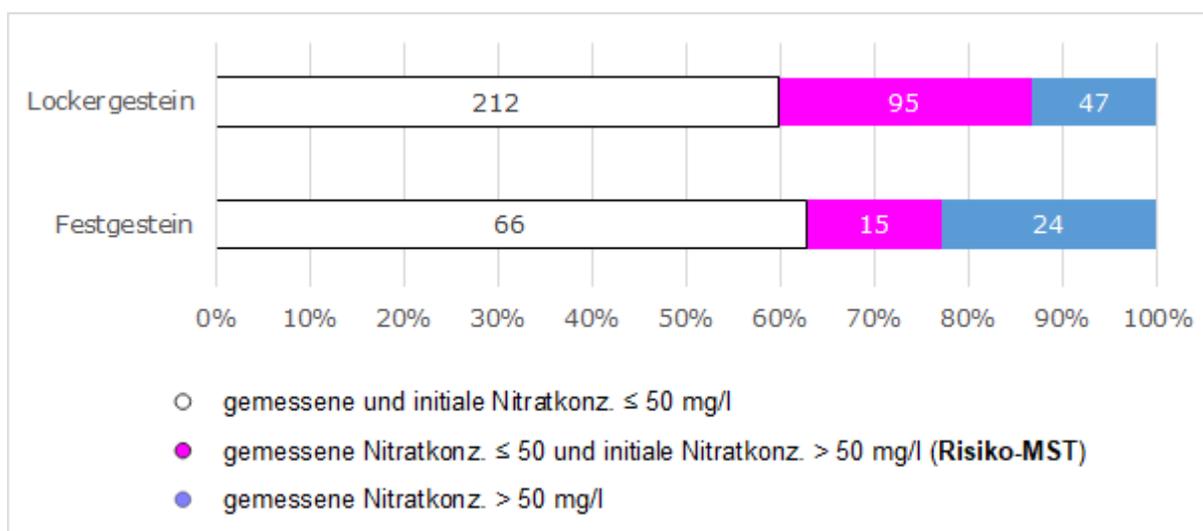


Abb. 21: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie

sich vermehrt im Lockergestein wieder, während im Festgestein vergleichsweise wenig Nitrat abgebaut wird. Entsprechend werden im Festgestein weniger Risiko- und mehr MST mit Nitratkonzentrationen > 50 mg/l beobachtet.

Die hier betrachteten Risiko-MST stellen eine Momentaufnahme dar. Der Abbau von Nitrat (Denitrifikation) findet, wie eingangs in Kapitel 2.1 beschrieben, unter Verbrauch eines oder mehrerer Reduktionsmittel statt und unterliegt so einer stetigen Entwicklung. Im Falle der chemo-lithotrophen Denitrifikation sind dies Sulfidverbindungen (z. B. Pyrit) – im Falle der chemo-organotrophen Denitrifikation organische Kohlenstoffe (z. B. Holz, Torf). Die natürlich im Grundwasserleiter vorkommenden Reduktionsmittel sind nur begrenzt vorhanden bzw. verfügbar, so dass diese Ressource mit fortschreitend hohem Nitratreintrag in den Boden und dem damit einhergehenden Nitratabbau aufgebraucht wird. Folglich können langfristig geringe Nitratkonzentrationen im Grundwasser nur durch eine Reduktion der Nitratreinträge in die Böden erzielt werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die N₂/Ar-Methode erlaubt eine Quantifizierung des Nitratabbaus in der gesättigten Zone. Es kann sowohl das Nitratabbauvermögen als auch die initiale Nitratkonzentration im Grundwasser ermittelt. Entsprechend können potentielle Nitratbelastungen frühzeitig erkannt und präventive Maßnahmen ergriffen werden.

In diesem Bericht wurden neben den 206 in 2020 untersuchten MST auch die Analyseergebnisse aus den Jahren 2018 und 2019 (253 MST) in der Auswertung berücksichtigt. Eine detaillierte Betrachtung der 253 beprobten Messstellen geschah bereits durch die HYDOR Consult GmbH [2][5]. Die Analyseergebnisse wurden unter Verwendung des N₂/Ar-Checktools des LBEG auf ihre Plausibilität überprüft. Von den diesjährigen 206 Proben wurde nur ein Analyseergebnis als nicht belastbar eingestuft.

Die Auswertung der N₂/Ar-Untersuchungen brachte einen Überblick über den aktuellen, auf Nitrat bezogenen chemischen Zustand des Grundwassers im Land Sachsen-Anhalt (Stand 2018 – 2020).

Die Untersuchungen haben ergeben, dass der in der Trinkwasserverordnung sowie in den EG-WRRL festgelegte Grenzwert von 50 mg Nitrat/l an 15 % aller 459 untersuchten Messstellen überschritten wird – im Festgestein (grob Süden und Westen) häufiger als im Lockergestein (Norden und Osten). Die gemessenen Nitratkonzentrationen bewegen sich zwischen 0 und 290 mg/l (Mittelwert: 21,7 mg/l; Median: 1,0 mg/l). Während Nitrat im Lockergestein fast ausschließlich in geringen Grundwassertiefen (< 5 m) gemessen wurde, ist im Festgestein eine Nitratverlagerung in größere Wassertiefen (> 5 m) zu beobachten.

Die landesweiten initialen Nitratkonzentrationen liegen weit höher als die im Grundwasser gemessenen (maximal 330 mg/l; Mittelwert: 49,4 mg/l; Median: 40,0 mg/l). So wurde für rd. 40 % aller Messstellen eine initiale Nitratkonzentration von mehr als 50 mg/l berechnet. Kompensiert werden die hohen Einträge zurzeit in weiten Teilen des Landes durch nitratabbauende Prozesse. Da Nitrat bereits in der ungesättigten Bodenzone abgebaut wird und die N₂/Ar-Methode nur Nitratreinträge ab der gesättigten Zone erfassen bzw. berechnen kann, liegen die tatsächlichen Nitratreinträge in den Boden vermutlich deutlich höher. Besonders hohe Initialkonzentrationen sind den beiden Landnutzungskategorien „Ackerland“ und „Siedlungs-/Verkehrsfläche“ zuzuordnen.

Aktuell konnte an 74 % aller untersuchten MST ein aktiver Nitratabbau festgestellt werden. 43 % entfallen in die Kategorie „starker Nitratabbau“ mit einem Abbau \geq 90 %.

Tendenziell wurde in Lockergesteinsbereichen ein höheres Abbauvermögen als im Festgestein festgestellt. Es wurde bestätigt, dass das chemische Milieu des Grundwassers entscheidend für Denitrifikationsprozesse ist. Reduzierende Verhältnisse bilden zusammen mit

dem Vorhandensein eines Reduktionsmittels (z. B. Schwefel- oder organische Kohlenstoffverbindungen) die Voraussetzung. Im Festgestein herrschen häufiger oxidierende Verhältnisse, die keinen Nitratabbau zulassen.

Die im Grundwasserleiter natürlich vorkommenden Reduktionsmittel sind in ihrer Verfügbarkeit begrenzt. 110 MST wurden als sog. Risiko-MST (gemessene Nitratkonzentration im Grundwasser ≤ 50 mg/l und initiale Nitratkonzentration > 50 mg/l) ausgewiesen. Aufgrund des endlichen Nitratabbaus besteht an diesen MST ein besonders hohes Risiko in naher Zukunft Nitratkonzentrationen > 50 mg/l zu messen. Risiko-MST wurden vorrangig im Ackerland sowie in Siedlungs- / Verkehrsflächen beobachtet. Im Verhältnis befinden sich Risiko-MST häufiger im Locker- als im Festgestein.

Grundsätzlich gilt zu berücksichtigen, dass das konventionell gemessene Nitrat zusammen mit dem basierend auf der N₂/Ar-Methode gemessenen N₂-Exzess nur Aufschluss über die punktuellen Nitratverhältnisse zum Messzeitpunkt im Bereich der Messstelle bzw. deren Filterstrecke geben. Sie sind das Ergebnis der im Zustrom der MST befindlichen Flächennutzung und daher nicht zwangsläufig mit der Flächennutzung am Standort der Messstelle in Verbindung zu bringen. Um die zeitliche Entwicklung der initialen und gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser beobachten zu können, sollten in Zukunft weitere N₂/Ar-Untersuchungen unternommen werden. Dafür bilden die bisherigen vom Land Sachsen-Anhalt ausgewählten MST eine gute Grundlage. Zusätzliche Grundwasseraltersdatierungen (³H/³He-Methode) in Kombination mit der Betrachtung der Grundwasserfließrichtung (modelltechnisch, Grundwassergleichen) können darüber hinaus Aufschluss über das Raum-Zeit-Verhalten der Nitratentwicklung im Grundwasser bringen. Auf dieser Grundlage können geplante Maßnahmen zur Reduktion von Nitratreinträgen geprüft und entsprechend ihres Erfolges bewertet werden. Dies ermöglicht das erforderliche „Effizienzmonitoring“ nach der DüngeVO zu unterstützen.

Um Erkenntnisse über die Verfügbarkeit natürlich vorkommender Reduktionsmittel wie z. B. Pyrit zu erlangen und somit eine Einschätzung über das noch verbleibende Abbaupotential treffen zu können, bietet es sich im Zuge des Baus neuer Messstellen an, mittels sog. Liner ungestörte Proben zu entnehmen. Diese können dann auf ihren Gehalt an Reduktionsmitteln (z. B. Pyrit) untersucht werden.

In weiterführenden Betrachtungen sollte geklärt werden, ob die hohen initialen Nitratkonzentrationen in Siedlungsbereichen tatsächlich siedlungs- oder eher ackerbedingt sind. Eine Betrachtung auf der Skala von Grundwasserzuströmgebieten kann darüber hinaus ein detaillierteres Verständnis über Zusammenhänge des im Grundwasser stattfindenden Nitratabbaus liefern.

5 **Verwendete Projektunterlagen und Datengrundlage**

[1] HYDOR Consult GmbH (2017): Charakterisierung der Milieubedingungen im Grundwasser als Voraussetzung für die Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in Sachsen-Anhalt.

[2] HYDOR Consult GmbH (2019): N₂/Ar-Untersuchungen im Grundwasser in Sachsen-Anhalt

[3] Geologie – Bezugseinheiten der Grundwasserbeschaffenheit, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)

[4] CLC – CORINE Land Cover (CLC 2018) © GeoBasis-DE / BKG 2018

[5] HYDOR Consult GmbH (2020): N₂/Ar-Untersuchungen im Grundwasser in Sachsen-Anhalt

[6] Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2020

[7] Geobasisdaten - Geobasisdaten © GeoBasis-DE / LVerGeo LSA, [2016 / 010312]