

N₂/Ar-Untersuchungen an Grundwassermessstellen in Sachsen-Anhalt



- Messkampagne 2024 -

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: 0132241

Berichtsname: 0132241_N2Ar_ST_20240815.docx

Seitenanzahl: 50

Abbildungen: 24

Tabellen: 7

Datum: 15.08.2024

GeoDienste GmbH

Vincent Bremer (GF)

- M.Sc. Geow. -

Karina Stapelfeldt

- M.Sc. Geow. -

I Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	6
2	Untersuchungskampagne 2024	10
2.1	Methodischer Hintergrund zur Nitratabbau-Bestimmung	10
2.2	Bestimmung des Nitratabbaus durch Gasmessungen von N ₂ und Ar	11
2.3	Messnetz und Messstellenwahl	13
2.4	Probenahme, Parameterumfang und Analytik	14
2.5	Statistische Auswertung	17
3	Ergebnisse	18
3.1	Gemessene und initiale Nitratkonzentrationen	20
3.2	Nitratabbauvermögen	32
3.3	Chemisches Milieu	37
3.4	Risikomesstellen	40
3.5	Parameterentwicklung	43
4	Zusammenfassung und Ausblick	47
5	Verwendete Projektunterlagen und Datengrundlage	49
6	Literatur	49

II Abbildungsverzeichnis		Seite
Abb. 1:	Abschätzung des Nitratabbauvermögens anhand des Aquifertyps und der Redoxbedingungen	7
Abb. 2:	Quantitative (Erst-)Abschätzung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Milieubedingungen	8
Abb. 3:	MIMS Methode zur Messung der gelösten N ₂ - und Ar-Gase	16
Abb. 4:	Statistische Auswertung mittels Box-Plot-Darstellung	17
Abb. 5:	Übersichtslageplan der insgesamt 510 zwischen 2018 und 2024 beprobten MST ...	19
Abb. 6:	Gegenüberstellung der initialen und gemessenen Nitratkonzentrationen	20
Abb. 7:	Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2024 in Abhängigkeit der hydrogeologischen Bezugseinheiten	22
Abb. 8:	Gemessene Nitratkonzentrationen in den verschiedenen geologischen Einheiten ...	23
Abb. 9:	Nitratkonzentrationen in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe	24
Abb. 10:	Schematische Darstellung des Einzugsgebietes einer MST (CREMER, 2015)	25

Abb. 11: Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2024 in Abhängigkeit der Landnutzung (Corine Land Cover 2018)	26
Abb. 12: Einfluss der Landnutzung auf Nitratkonzentrationen im Grundwasser	28
Abb. 13: Klassenverteilung des Nitratabbauvermögens anhand der N ₂ /Ar-Methode	33
Abb. 14: Nitratabbauvermögen in Abhängigkeit der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts).....	34
Abb. 15: Exzess-N ₂ und gemessene Nitratkonzentration der beprobten MST	35
Abb. 16: Nitratabbauvermögen in den verschiedenen geologischen Einheiten	36
Abb. 17: Nitratabbauvermögen im Kontext des chemischen Milieus im Lockergestein (oben) und Festgestein (unten)	38
Abb. 18: Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe	39
Abb. 19: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts)	41
Abb. 20: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Landnutzung.....	42
Abb. 21: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie	42
Abb. 22: Gegenüberstellung gemessener Parameter der Erstbeprobung und aktuellen Beprobung	44
Abb. 23: Entwicklung der Risiko-MST zwischen Erst-, Zweit-, Dritt- und Viertbeprobung	45
Abb. 24: Parameterentwicklung der Mittelwerte 53 vierfach beprobter MST	46

III Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Klassifizierung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Parameter Redoxpotential und Sauerstoff (nach HYDOR [7]).....	11
Tab. 2: Klassifizierung des Nitratabbauvermögens auf Grundlage der N ₂ /Ar-Methode	12
Tab. 3: Übersicht bisher beprobter MST	13
Tab. 4: Erläuterungen zur Plausibilitätsprüfung der N ₂ /Ar-Analyseergebnisse.....	16
Tab. 5: Mittelwerte und Mediane der statistischen Auswertung in Abb. 12	29
Tab. 6: Primäre Landnutzungskategorie „Siedlungs- / Verkehrsflächen“ mit Einbeziehung der sekundären Landnutzung	30
Tab. 7: Primäre Landnutzungskategorie „Wald / Gehölz“ mit Einbeziehung der sekundären Landnutzung	30

IV Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Probenahmeprotokolle

Anhang 2: Laborprüfberichte

Anhang 3: Ergebnistabelle

1 Einleitung

Die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie im Bereich Nährstoffe erfolgt im Land Sachsen-Anhalt auf Basis des Nährstoffkonzeptes. 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) enthalten¹. 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“ durchgeführt². 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 Endbericht veröffentlicht: <https://lhw.sachsen-anhalt.de/untersuchen-bewerten/weitere-themen>

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

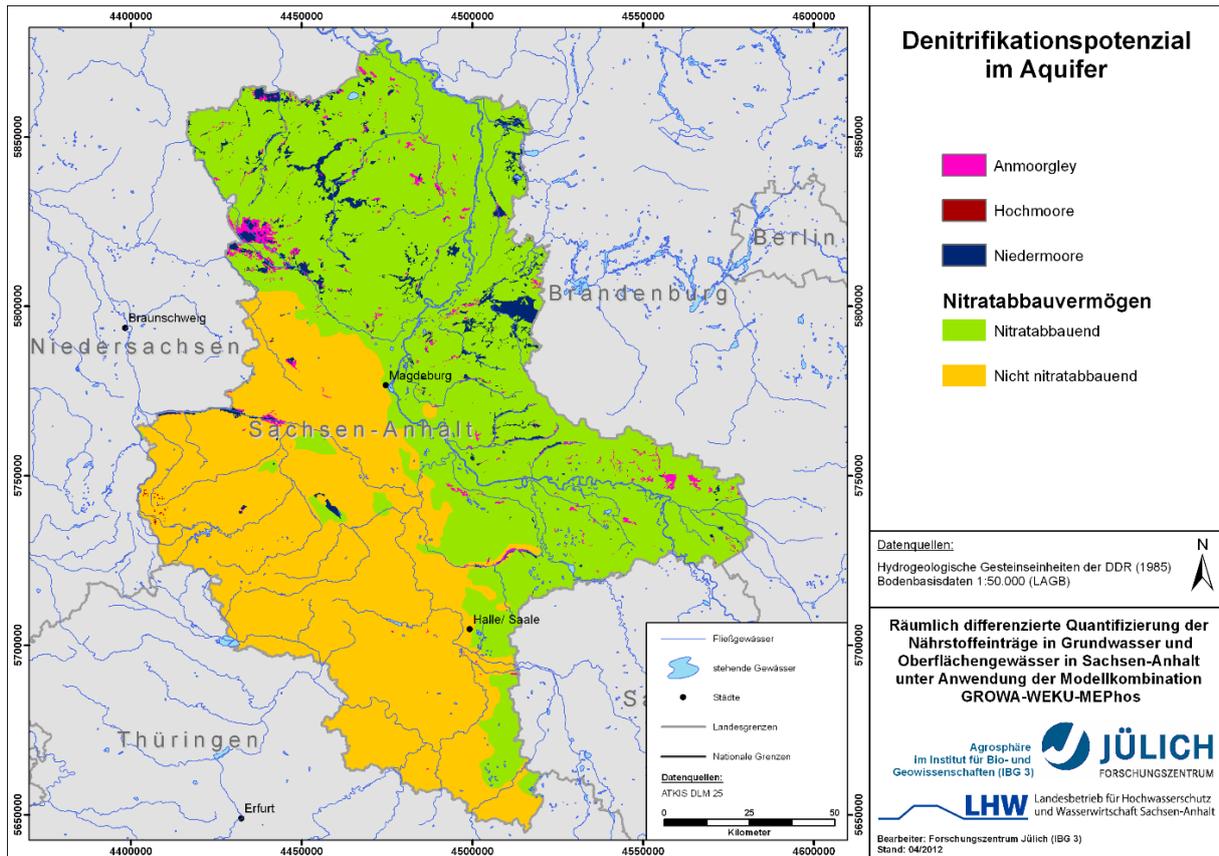


Abb. 1: Abschätzung des Nitratabbauvermögens anhand des Aquifertyps und der Redoxbedingungen

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) 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.

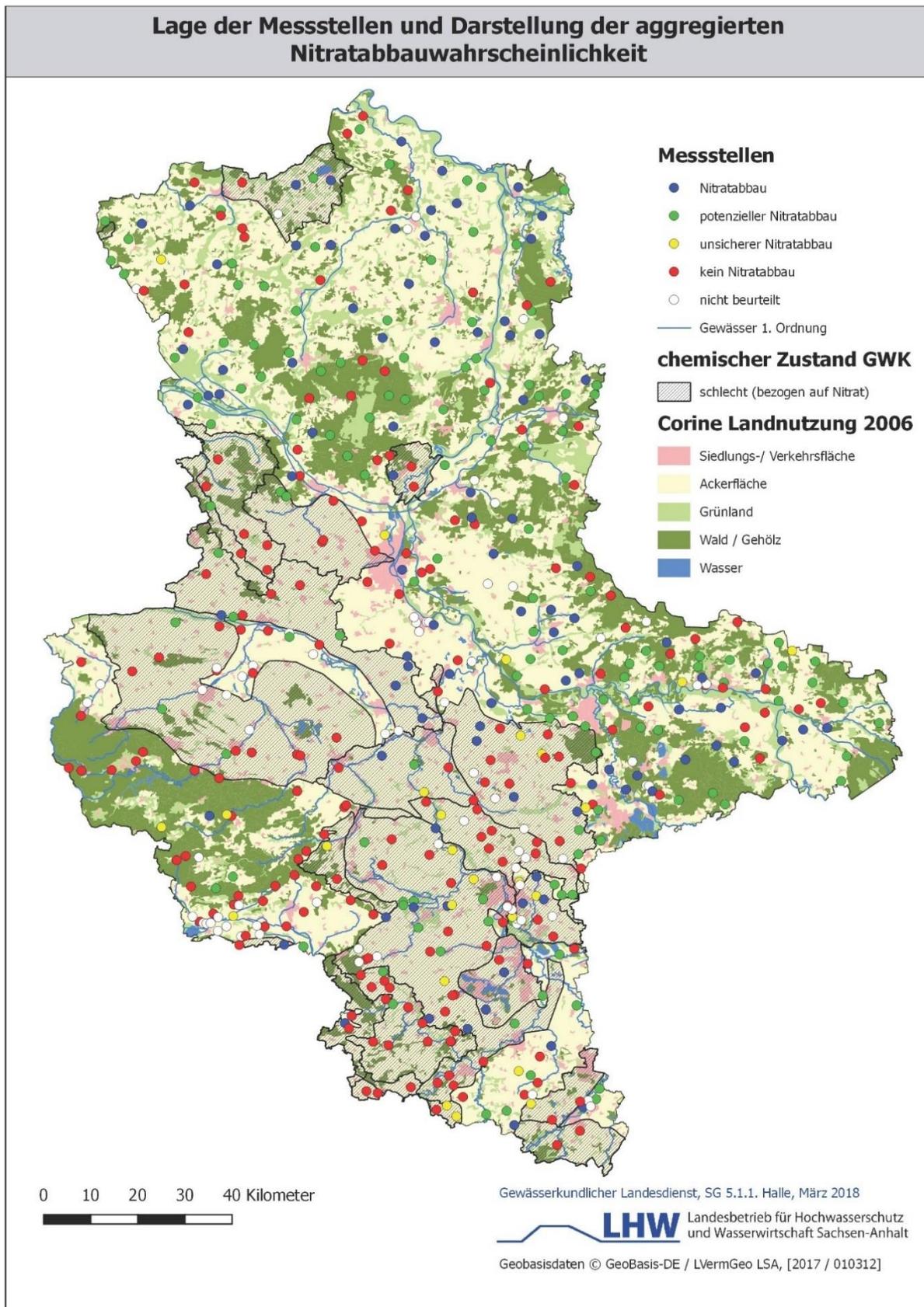


Abb. 2: Quantitative (Erst-)Abschätzung der Nitratabbauwahrscheinlichkeit anhand der Milieubedingungen

In diesem Bericht findet unter Verwendung der Stickstoff/Argon-Methode (N₂/Ar-Methode) eine Quantifizierung des Nitratabbauvermögens im Aquifer statt. Berücksichtigt werden dabei in Summe die Analyseergebnisse von 510 MST. Neben den diesjährigen Untersuchungsergebnissen (118 Proben) werden auch die Analyseergebnisse der vorangegangenen Messkampagnen 2018 – 2023 berücksichtigt. Mit Abschluss der diesjährigen Messkampagne liegen landesweit für insgesamt 480 MST Wiederholungsmessungen vor. Eine Auswertung der 2018 – 2023 beprobten MST fand bereits durch die GeoDienste GmbH statt [1][2][3][4], eine detaillierte Betrachtung der 2018 und 2019 beprobten MST durch die HYDOR Consult GmbH [5][6].

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 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. Die Wiederholungsmessungen ermöglichen eine direkte Gegenüberstellung der erhobenen Messwerte und bilden damit die Grundlage einer langfristigen Dokumentation und Untersuchung der Parameterentwicklung. Eine 2023 durchgeführte raum-zeitliche Betrachtung gemessener und initialer Nitratkonzentrationen an ausgewählten MST hat gezeigt, dass das in den Proben gemessene Nitrat vor ca. 16 – 42 Jahren in das Grundwasser eingetragen wurde [4].

Begleitend zum Landesbohrprogramm (Errichtung von Neu- und Ersatzbohrungen von GW-GüteMST) wurde im Jahr 2023 ein Forschungsprojekt zur „Charakterisierung von ausgewählten Grundwasserleitern in Sachsen-Anhalt hinsichtlich Ihres Denitrifikations-Potenzials und der zeitlichen Einordnung des Nitratumsatzes“ begonnen. Die Umsetzung erfolgt durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Catchment Hydrology. Es werden die anfallenden Bohrkerne untersucht und Grundwasseruntersuchungen durchgeführt, mit der Zielstellung, das natürliche Nitratabbauvermögen in Grundwasserleitern des Landes zu evaluieren. Die standortkonkreten Erkenntnisse zum Denitrifikationspotenzial sollen möglichst auf Grundwasserleiter/ Grundwasserkörper/ sowie auf hydrogeologische Bezugseinheiten übertragen werden.

2 Untersuchungskampagne 2024

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 (NLWKN, 2012).

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), das Vorhandensein von Bakterien (Denitrifikanten), 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). 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 [7] vorgenommen (**Tab. 1**).

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 [7])

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).

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 dem NLWKN Bericht (NLWKN, 2012) zu entnehmen. In 2016 wurde sich im Rahmen eines fachspezifischen Arbeitskreises auf folgende Rahmenbedingungen geeinigt:

- Eine Bestimmungsgrenze (BG) 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. Die Kriterien für die Klassenvergabe (angelehnt an HYDOR [5]) wurden im Jahr 2023 [4] gegenüber den vorangegangenen Auswertungen [1][2][3] überarbeitet, vgl. **Tab. 2**. Die ursprüngliche Klasse „kein Nitratabbau“ wurde in „kein Nitratabbau nachweisbar“ umbenannt, die Klasse „kein Nitrateintrag“ wird in Anlehnung an das NLWKN (2020) durch „Nitrat und Exzess-N₂ < BG“ ersetzt. Die überarbeitete Klassifizierung bleibt auch im Berichtsjahr 2024 erhalten.

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

Verhältnis Exzess-N₂ 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 % ³ bis < 50 %	geringer Nitratabbau
0	0 % ⁴	kein Nitratabbau nachweisbar
-	-	Nitrat und Exzess-N ₂ < BG

Die Umbenennung der zwei Klassen stellt in erster Linie eine Nachschärfung der gewählten Begrifflichkeiten dar und begründet sich primär in der BG von Exzess-N₂ (2 mg N/l), aus welcher eine auf das abgebaute Nitrat umgerechnete BG von 8,9 mg/l resultiert. Methodenbedingt kann nicht belegt werden, dass „kein Nitrateintrag“ stattgefunden hat. Genauso wenig kann belegt werden, dass tatsächlich kein Nitrat abgebaut wurde, da in der Theorie bis zu 8,9 mg/l Nitrat „unerkannt“ abgebaut worden sein könnten.

³ 0 % Abgebautes Nitrat = Exzess-N₂ < BG und Nitrat > BG

In der Klasse „kein Nitratabbau nachweisbar“ finden sich Proben wieder, bei denen Exzess-N₂ < BG und die gemessene Nitratkonzentration > BG liegt.

Proben mit gemessenen Nitrat- und Exzess-N₂-Konzentrationen unterhalb der BG werden entsprechend der Kategorie „Nitrat und Exzess-N₂ < BG“ zugeordnet. Auch die LAWA (2022) und das NLWKN (2020) berücksichtigen in ihren Auswertungen die BG von Exzess-N₂ und differenzieren bei der Datenauswertung von N₂/Ar-Analysen zwischen Proben mit Exzess-N₂-Konzentrationen ober- und unterhalb der BG.

2.3 Messnetz und Messstellenwahl

Aus dem landesweiten Messnetz wurden seitens des LHW in den vergangenen Jahren insgesamt 518 MST, bestehend aus 488 GWM und 30 Quellen, ausgewählt und für die Messkampagnen vorgegeben. Auswahlkriterien waren primär die Parameter Sauerstoff und die Leitfähigkeit, ermittelt in vorangegangenen Untersuchungen. Eine Übersicht der im Rahmen der Messkampagnen untersuchten MST sowie den in diesem Bericht berücksichtigten Proben ist der nachfolgenden **Tab. 3** zu entnehmen. In der Auswertung finden die jeweils aktuellen N₂/Ar-Analysen Berücksichtigung (510 Analyseergebnisse gemäß Tab. 3, letzte Spalte). Am Beispiel der Messkampagne 2018/2019 fand bis dato an 5 der 253 MST keine erneute Beprobung statt. Die Analyseergebnisse genannter 5 MST stellen demnach den zum Zeitpunkt der Berichterstellung aktuellen Datenstand dar.

Tab. 3: Übersicht bisher beprobter MST

Messkampagne	Anz. geplanter MST (davon trocken / Probenahme nicht möglich)	Anz. N ₂ /Ar-Analysen (davon nicht belastbar (n.b.))	Anz. 2024 berücksichtigter N ₂ /Ar-Analysen bzw. MST
2018/2019	253	253	5
2020	208 (2 trocken)	206	10
2021	211 (2 trocken)	209 (4 n.b.)	151
2022	271 (1 Probenahme nicht möglich)	270 (1 n.b.)	188
2023	112	112 (1 n.b.)	38
2024	118	118	118
Summe	1.173 (5)	1.162 (6 n.b.)	510

Von den diesjährig 118 untersuchten MST wurden 14 erstmalig in die N₂/Ar-Probenahme-kampagne einbezogen. Insgesamt wurden bereits 368 MST zweifach, 63 MST dreifach und 53 MST vierfach beprobt.

2.4 Probenahme, Parameterumfang und Analytik

Die Beprobung erfolgte nach Maßgabe des Merkblattes Grundwasserprobenahme⁴ 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 Beschaffenheitskriterium nach LHW (2004)⁴ eingehalten. Mittels eines Licht-/Akustiklots wurden jeweils der Ruhe- und Förderwasserstand erfasst.

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 und Geruch erfasst werden konnten.

⁴ 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, Eisen-gelöst und Mangan, Mangan-gelöst
 - Stickstoff, Argon, Exzess-Stickstoff (N₂/Ar-Methode),
 - Nitrateintragskonz. (berechnet)
 - Nitrat, Nitrit
 - Orthophosphat

Im **Anhang 1** befinden sich die Probenahmeprotokolle, in **Anhang 2** die Laborprüfberichte. Wesentliche Daten daraus sind zu Übersichtszwecken in **Anhang 3** als Ergebnistabelle übernommen worden.

Die diesjährige Probenahmekampagne erfolgte im Zeitraum vom 04.03. bis 26.03.2024. 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 veröffentlichten MIMS-Methode (engl. „membrane inlet mass-spectroscopy“; *KANA et al., 1994*) gemessen. Für die Methode existiert aktuell noch kein DIN-Verfahren, ein Arbeitskreis befasst sich jedoch mit der Normierung des Verfahrens. Das MIMS (**Abb. 3**) setzt sich aus mehreren Komponenten zu-

sammen (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).

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.

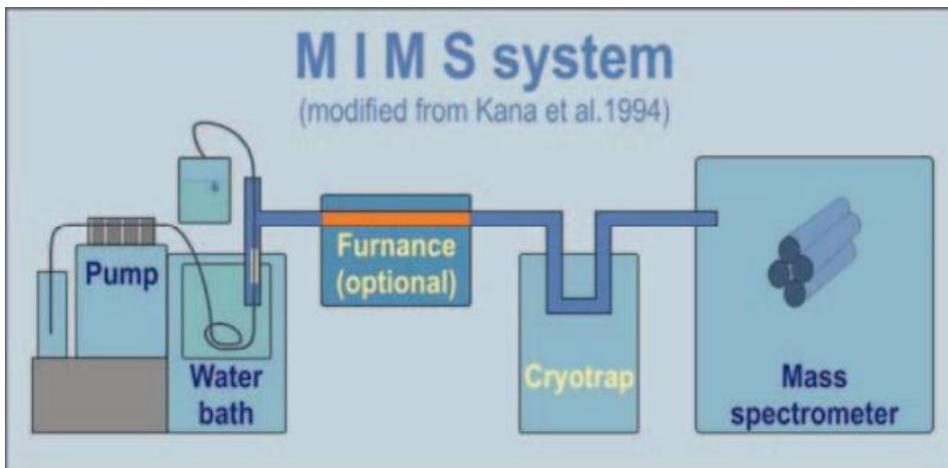


Abb. 3: MIMS Methode zur Messung der gelösten N₂- und Ar-Gase

Die Analyseergebnisse der N₂/Ar-Methode werden in einem nächsten Schritt mit dem QS-Tool N₂/Ar Check (Version: V1.20.beta) des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) auf Plausibilität geprüft. Das Tool wird voraussichtlich noch in diesem Jahr veröffentlicht. Die Ergebnisse werden den vier in der nachfolgenden **Tab. 4** aufgeführten Kategorien zugeordnet:

Tab. 4: Erläuterungen zur Plausibilitätsprüfung der N₂/Ar-Analyseergebnisse

Kategorie	Erläuterung
Ergebnis belastbar	Keine Auffälligkeiten bei der Analytik
Entgasungsprozess (belastbar)	Die Probe enthält N ₂ -Exzess, ist aber bereits deutlich entgast. Ausgegeben wird der N ₂ -Exzess Mindestwert.
O ₂ - und N ₂ -Exzesskonzentrationen anormal (belastbar)	Die Probe enthält N ₂ -Exzess und gleichzeitig hohe O ₂ -Konzentrationen. Da Denitrifikation nur unter sauerstoffarmen/-freien Bedingungen stattfindet, wird eine Mischung von sauerstoffhaltigem mit sauerstoffarmem Wasser vermutet.

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.

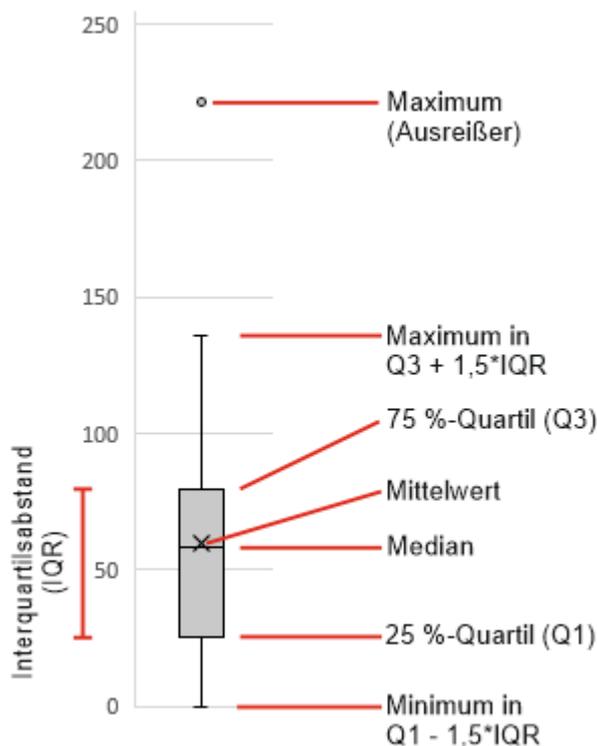


Abb. 4: Statistische Auswertung mittels Box-Plot-Darstellung

3 Ergebnisse

Mit der 2024 durchgeführten Messkampagne (118 MST) fand eine erstmalige N₂/Ar-Probenahme an 14 MST statt. Der Gesamtdatenpool enthält mit Aufnahme der 118 neuen Proben insgesamt > 1.100 belastbare N₂/Ar-Proben. Eine Zusammenstellung der im Rahmen der Messkampagnen 2018 – 2024 untersuchten MST und analysierten Proben ist **Tab. 3** (Kapitel 2.3) zu entnehmen. In **Abb. 5** sind alle bisher beprobten MST in einer Übersichtskarte dargestellt, differenziert nach Anzahl der Beprobungen (368 MST zweifach, 63 MST dreifach und 53 MST vierfach).

Im Folgenden werden die 510 aktuellsten N₂/Ar-Analyseergebnisse ausgewertet und dargestellt. 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 der diesjährig erhobenen Daten ist der Ergebnistabelle in **Anhang 3** zu entnehmen. Bei der Auswertung ergaben sich bei 39 der insgesamt 118 Proben Auffälligkeiten. 13 Proben sind entgast, was zu einer Unterschätzung von Exzess-N₂ führt. Die Ergebnisse wurden dennoch als belastbar eingestuft. Bei 16 Proben sind die gemessenen Sauerstoffkonzentration für den errechneten N₂-Exzesswert 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 2 Proben treffen beide zuvor genannten Auffälligkeiten zu, sie werden dennoch als belastbar eingestuft. Keine der 118 im Jahr 2024 beprobten MST wurde als nicht belastbar eingestuft.

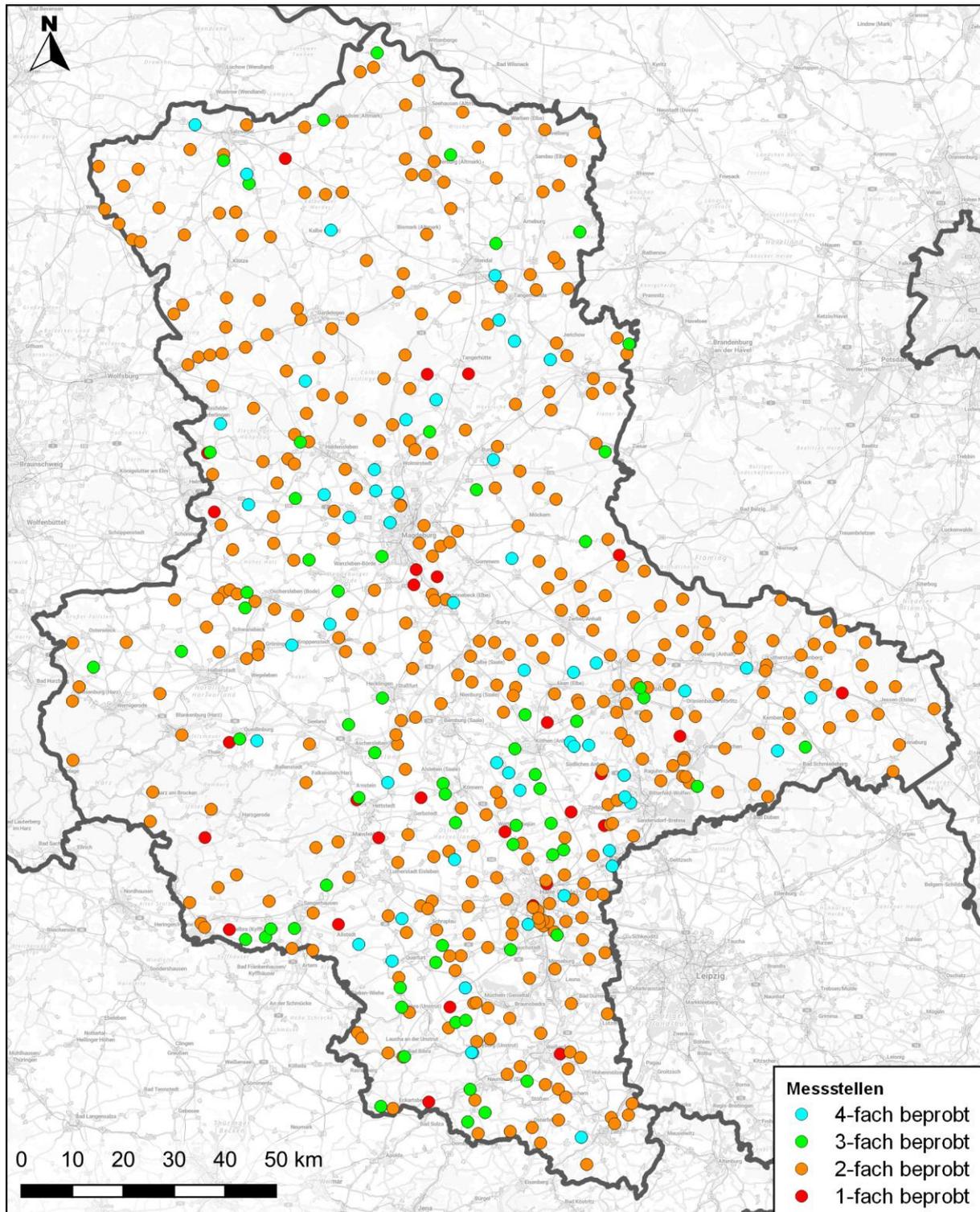


Abb. 5: Übersichtslageplan der insgesamt 510 zwischen 2018 und 2024 beprobten MST

3.1 Gemessene und initiale Nitratkonzentrationen

Eine Gegenüberstellung der gemessenen mit den initialen Nitratkonzentrationen aller 510 aktuellen Analyseergebnisse ist in **Abb. 6** dargestellt. Es wurden verschiedene Bereiche gekennzeichnet (kein Nitratabbau, vollständiger Nitratabbau, kein Nitratreintrag) und je Graph die einzelnen Datenpunkte entsprechend der Plausibilitätsprüfung (N₂/Ar-Check-Tool) gekennzeichnet (vgl. **Tab. 4**). Nicht belastbare Proben werden nachfolgend nicht mit abgebildet, da hier keine initiale Nitratkonzentration berechnet werden kann.

Entspricht die gemessene der initialen Nitratkonzentration, wurde kein Nitrat abgebaut.

Je kleiner das Verhältnis zwischen den Messgrößen, desto ausgeprägter der Abbau. Die Abbildung zeigt weiterhin, dass Entgasungsprozesse (64 Proben) vermehrt in Bereichen mit höherem Nitratabbau festgestellt wurden.

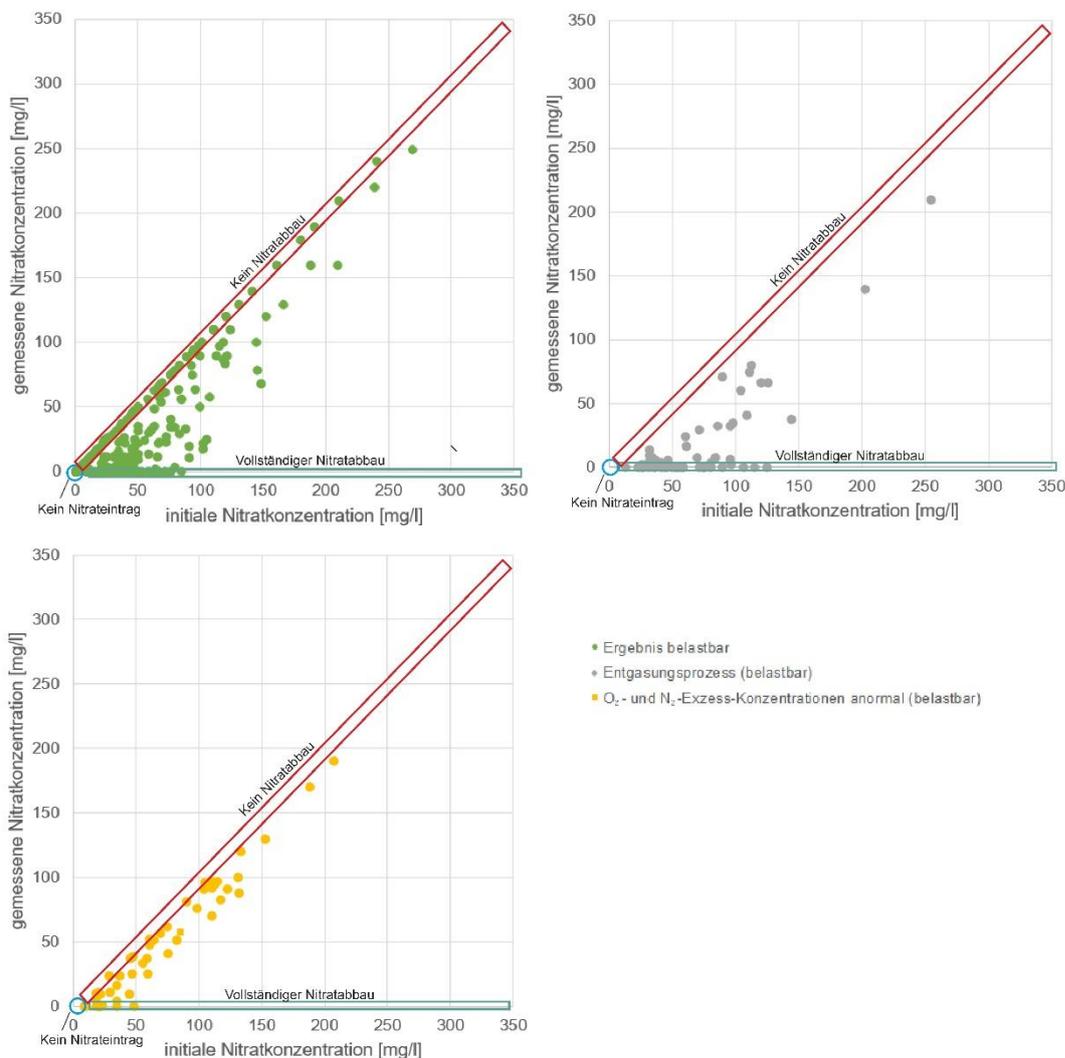


Abb. 6: Gegenüberstellung der initialen und gemessenen Nitratkonzentrationen

Anomalien bei O₂- und N₂-Exzess-Konzentrationen (52 Proben) treten hingegen gehäuft an MST mit geringem Nitratabbau auf.

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 [8] „Flussauen und Niederungen“, „Flussauen mit Auelehmdecke“, „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“, „Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL“ und „Tertiär“. Die lithologischen Einheiten „Muschelkalk“, „Buntsandstein“, „Keuper, Jura, Kreide“, „Zechstein“, „Permo-karbon“, „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 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 von gemessenen und 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 einen geringeren Nitratabbau im Festgestein zurückzuführen.

An 19 % der in Sachsen-Anhalt untersuchten MST wurde der in der deutschen Trinkwasserverordnung⁵ (TrinkwV) festgelegte Grenzwert von 50 mg Nitrat/l überschritten. Zum Vergleich: Im bundesweiten EU-Nitratmessnetz wurde der Grenzwert im Berichtszeitraum 2020 – 2022 an rund 26 % der Messstellen überschritten (BMEL 2024).

Die initialen Nitratkonzentrationen liegen in Sachsen-Anhalt deutlich höher. So wurde für 36 % aller MST eine Initialkonzentration > 50 mg Nitrat/l ermittelt. Weiterhin gilt zu beachten, dass die anhand der N₂/Ar-Methode ermittelten Initialkonzentrationen nur Nitratreinträge in das Grundwasser berücksichtigen. Laboruntersuchungen an ausgewählten Standorten in Sachsen-Anhalt haben gezeigt, dass auch in der ungesättigten Zone, in Abhängigkeit der Bodeneigenschaften (mikrobiell verfügbarer Kohlenstoff, Vorkommen von Sulfiden, etc.), bedeutende Mengen Nitrat abgebaut werden können (LLG, 2018).

⁵ Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Juni 2023 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. Juni 2023 (BGBl. I Nr. 159) geändert worden ist

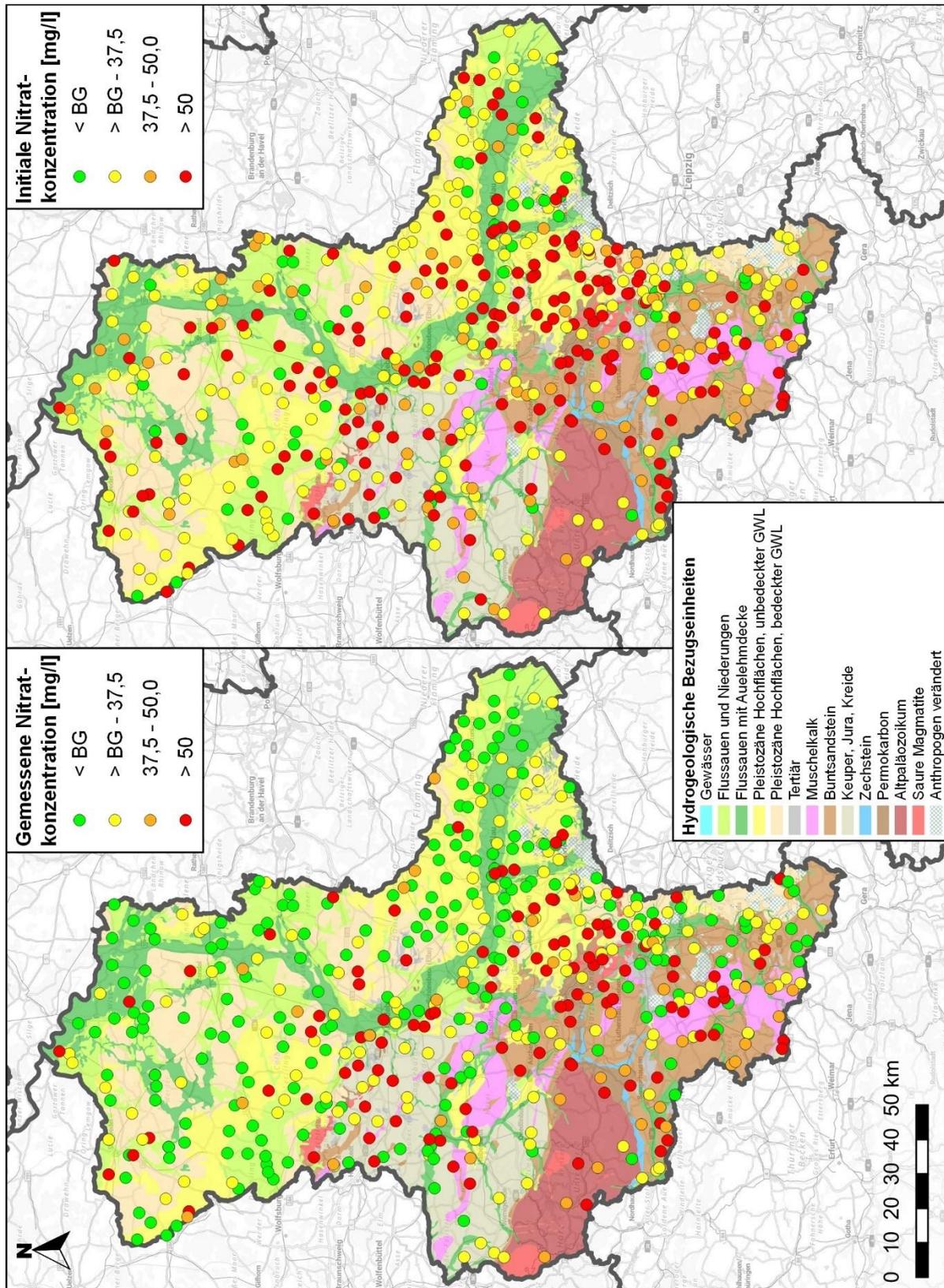


Abb. 7: Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2024 in Abhängigkeit der hydrogeologischen Bezugseinheiten

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 festgestellt. Hohe Nitratkonzentrationen mit Messwerten jenseits von 50 mg/l sind in den verschiedenen lithologischen Einheiten des Lockergesteins mit < 20 % 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, Saure Magmatite und Zechstein, mit Unsicherheiten behaftet. Etwa ein Viertel der im Festgestein verfilterten MST zeigen Nitratkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze bis maximal 37,5 mg/l sind mit durchschnittlich 41 % am stärksten vertreten. Im Festgestein wurden Nitratkonzentrationen von mehr als 37,5 bis maximal 50 mg/l in 10 % 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.

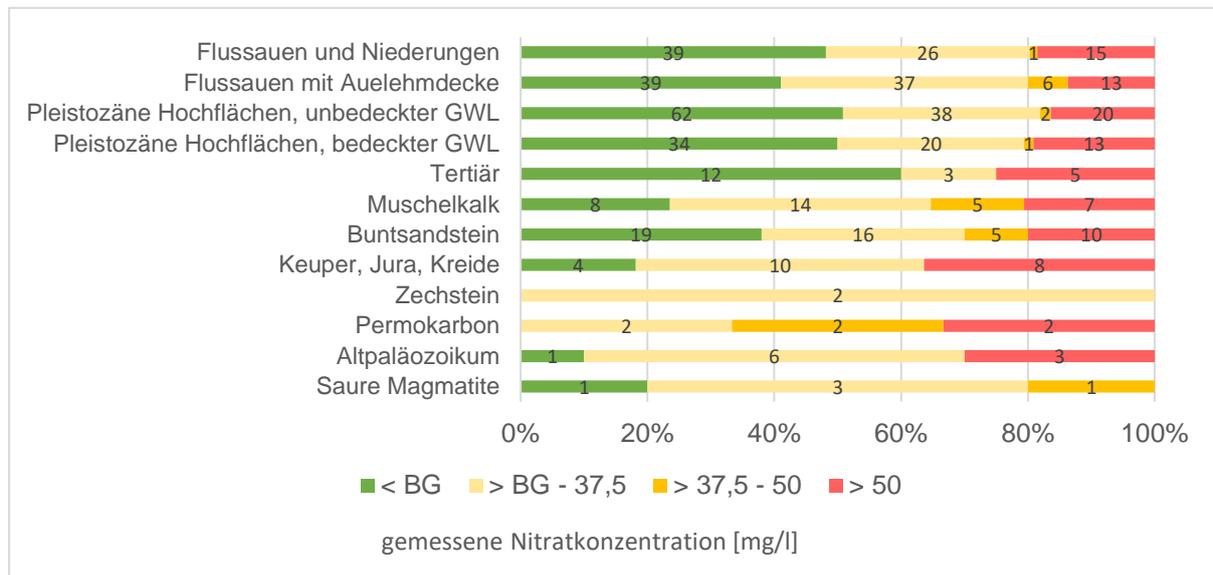


Abb. 8: Gemessene Nitratkonzentrationen in den verschiedenen geologischen Einheiten

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 503 MST mit bekannter Filterlage aus den Messkampagnen 2018 – 2024.

Die Nitratkonzentrationen nehmen im Locker- und Festgestein mit zunehmender Grundwassertiefe deutlich ab. Im Festgestein wurden gegenüber dem Lockergestein durchweg höhere Nitratkonzentrationen gemessen. Als Grund für generell höhere Nitratkonzentrationen in allen betrachteten Grundwassertiefen können höhere Fließgeschwindigkeiten im Festgestein (meist Kluft- oder Karstgrundwasserleiter) und das Fehlen von Reduktionsmitteln angesehen werden. Aufgrund höherer Fließgeschwindigkeiten reduzieren sich zudem die Verweil- und Reaktionszeit in und mit dem umgebenden Festgestein und damit ggf. vorhandenen Reduktionsmitteln.

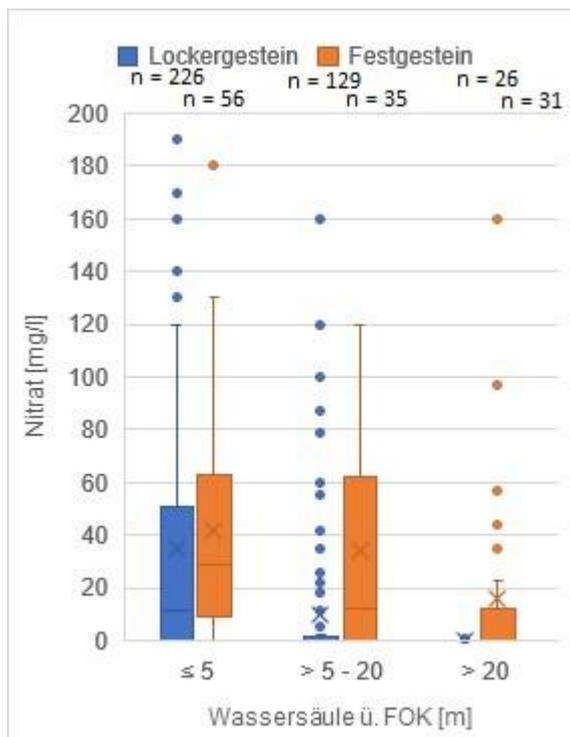


Abb. 9: Nitratkonzentrationen in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe

Landnutzung

Um den Einfluss der Landnutzung auf die gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen zu prüfen, wurden besagte Messgrößen in Abhängigkeit von der Landnutzung in **Abb. 11** 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.

Grundsätzlich ist 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. 10** (CREMER, 2015) verdeutlicht, dass sowohl die Lage der MST als auch die des Filters einen entscheidenden Einfluss auf das gemessene Ergebnis haben. Je nach Lage verschiebt sich der Eintragsort der im Grundwasser gemessenen Konzentration.

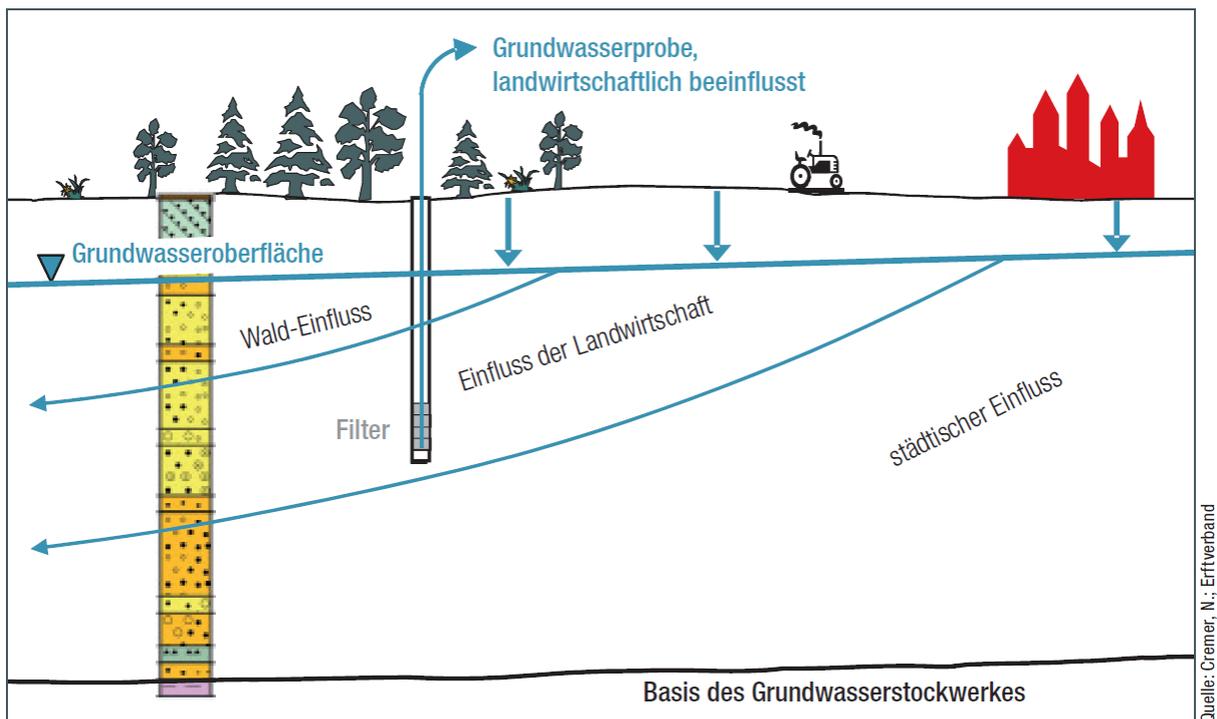


Abb. 10: Schematische Darstellung des Einzugsgebietes einer MST (CREMER, 2015)

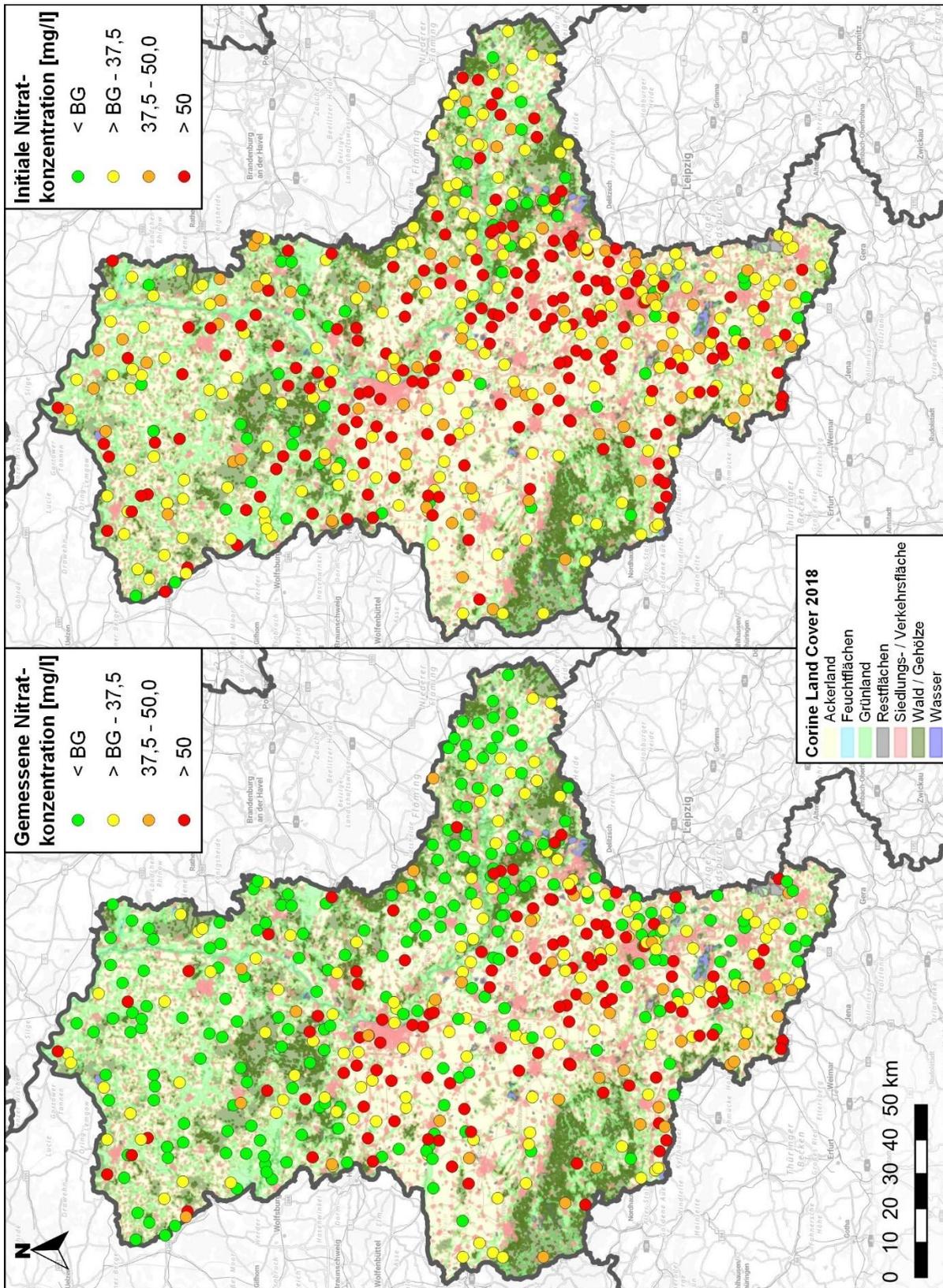


Abb. 11: Vergleich zwischen gemessenen (links) und initialen Nitratkonzentrationen (rechts) der Messkampagnen 2018 – 2024 in Abhängigkeit der Landnutzung (Corine Land Cover 2018)

Den MST zugewiesene Landnutzungskategorien liegen modelltechnisch ermittelte Bahnlinien/Fließwege zugrunde. Auf diese Weise kann der Zusammenhang zwischen Nitratkonzentration im Grundwasser und der Landnutzung präzisiert und realitätsnäher dargestellt werden. Insgesamt liegen Bahnlinien für 499 MST vor, die der übrigen 11 werden noch ermittelt.

Da sich die anhand der Bahnlinien abgeleiteten Einzugsgebiete der MST häufig über verschiedene Landnutzungstypen erstrecken, wurde in der Auswertung zunächst die primäre Landnutzungskategorie (prozentual höchster Anteil) berücksichtigt. In der statistischen Auswertung werden nachfolgend Mittelwert und Median betrachtet. Der Mittelwert spiegelt die über alle MST gemessene mittlere Konzentration wider und kann in diesem Fall, vor allem durch einseitige Ausreißer, höhere mittlere Konzentrationen an allen berücksichtigten MST suggerieren (insbesondere bei der gemessenen Nitratkonzentration). Bei Verwendung des Medians kann dieser Effekt zu einem gewissen Grad kompensiert werden, da dieser den tatsächlich in der Mitte der Datenverteilung liegenden Wert beschreibt.

Eine statistische Auswertung der N₂/Ar-Analyseergebnisse ist in **Abb. 12** in Form eines Box-Plots (vgl. Kapitel 2.5) dargestellt. Ausreißer mit Werten > 160 mg/l wurden zur besseren Darstellung abgeschnitten. Die maximalen gemessenen (450 mg/l) und initialen Nitratkonzentrationen (472 mg/l) wurde an der MST 445280 „Wedringen Kanal-Süd EB 2022“ festgestellt. Dabei handelt es sich um einen punktuellen Schadensfall aus der Landwirtschaft. Mittelwert und Median der jeweiligen Landnutzungskategorien der N₂/Ar-Analyseergebnisse sind zur besseren Übersicht in **Tab. 5** einzusehen.

Zunächst ist insbesondere die MST-Anzahl und damit die Aussagekraft einer jeweiligen Landnutzungskategorie zu berücksichtigen. „Grünland“ und „Siedlungs- / Verkehrsflächen“ sind mit jeweils 11 MST bzw. 31 MST gegenüber 115 MST (Wald / Gehölz) und 340 MST (Ackerland) unterrepräsentiert. Die Landnutzungskategorien „Restflächen“ und „Wasser“ sind mit jeweils nur einer MST nicht repräsentativ und werden in der nachfolgenden Abbildung nicht mit dargestellt.

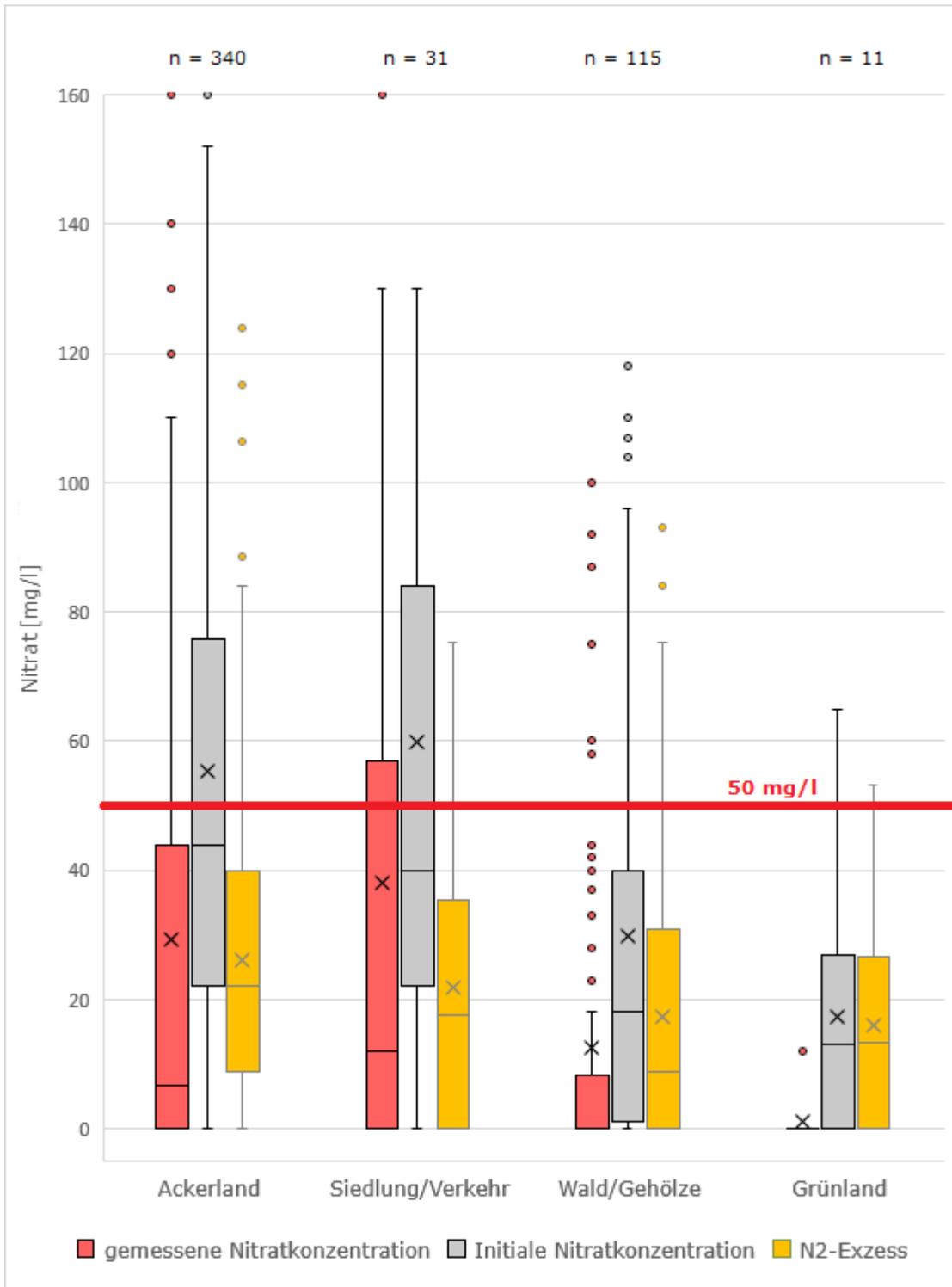


Abb. 12: Einfluss der Landnutzung auf Nitratkonzentrationen im Grundwasser

Tab. 5: Mittelwerte und Mediane der statistischen Auswertung in **Abb. 12**

Analyse-Parameter	Statistischer Parameter	Wald / Gehölz (115 MST)	Grünland (11 MST)	Ackerland (340 MST)	Siedlungs- / Verkehrsfläche (31 MST)
Gemessenes Nitrat [mg/l]	Mittelwert	12,5	1,1	29,4	38,1
Gemessenes Nitrat [mg/l]	Median	0,0	0,0	6,6	12,0
Initiales Nitrat [mg/l]	Mittelwert	29,8	17,2	55,3	59,9
Initiales Nitrat [mg/l]	Median	18,0	13,0	44,0	40,0
N ₂ -Exzess [mg NO ₃ /l]	Mittelwert	17,3	16,1	26,0	21,7
N ₂ -Exzess [mg NO ₃ /l]	Median	8,9	13,3	22,1	17,7

Die höchsten gemessenen Nitratkonzentrationen wurden an MST festgestellt, deren primäres Einzugsgebiet sich über die Landnutzungskategorien „Ackerland“ und „Siedlungs- / Verkehrsflächen“ erstreckt. Aufgrund der geringen MST-Anzahl in zweitgenannter Kategorie sind die Ergebnisse hier nur bedingt aussagekräftig.

Bezogen auf die initialen Nitratkonzentrationen liegen der Mittelwert und Median von Ackerland und Siedlungs- und Verkehrsflächen in vergleichbaren Größenordnungen (vgl. **Tab. 5**). Die MST „Klieken“ entfiel in die primäre Kategorie „Wasser“ (gemessene Nitratkonz.: 0 mg/l; initiale Nitratkonz.: 13 mg/l; N₂-Exzess: 13 mg NO₃/l), die MST „Döllnitz“ in die Kategorie „Restflächen“ (gemessene Nitratkonz.: 35 mg/l; initiale Nitratkonz.: 79 mg/l; N₂-Exzess: 44 mg NO₃/l).

Die hohen Nitratkonzentrationen in Siedlungsbereichen können auf den Einfluss mehrerer Faktoren zurückzuführen sein. Zum einen kann der Einfluss weiterer Landnutzungskategorien berücksichtigt werden (vgl. **Tab. 6**). Dabei zeigt der Median in der sekundäre Landnutzung „Ackerland“ einen Zusammenhang, ist aufgrund der geringen MST-Anzahl jedoch nur bedingt aussagekräftig. 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.

Tab. 6: Primäre Landnutzungskategorie „Siedlungs- / Verkehrsflächen“ mit Einbeziehung der sekundären Landnutzung

Primäre Landnutzungskategorie	Sekundäre Landnutzungskategorie	Anzahl an MST	Mittelwert initiale Nitratkonz. [mg/l]	Median initiale Nitratkonz. [mg/l]
Siedlungs- / Verkehrsflächen	Ackerland, Wald / Gehölz, Grünland oder keine	31	59,9	40,0
Siedlungs- / Verkehrsflächen	Ackerland	10	85,6	73,0
Siedlungs- / Verkehrsflächen	Wald / Gehölz, Grünland oder keine	21	47,6	31,0

Die gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen in „Wald / Gehölz“ fallen im direkten Vergleich mit der Kategorie „Grünland“ hoch aus (vgl. **Abb. 12, Tab. 5**), wobei „Grünland“ mit 11 MST unterrepräsentiert ist. Wird in der primären Kategorie „Wald / Gehölz“ weiterhin die sekundäre Landnutzungskategorie berücksichtigt, ist ein Bezug zum Ackerland deutlich (vgl. **Tab. 7**).

Tab. 7: Primäre Landnutzungskategorie „Wald / Gehölz“ mit Einbeziehung der sekundären Landnutzung

Primäre Landnutzungskategorie	Sekundäre Landnutzungskategorie	Anzahl an MST	Mittelwert initiale Nitratkonz. [mg/l]	Median initiale Nitratkonz. [mg/l]
Wald / Gehölz	Ackerland, Siedlungs- / Verkehrsflächen, Grünland, Restflächen, Wasser oder keine	115	29,8	18,0
Wald / Gehölz	Ackerland	61	38,6	27,0
Wald / Gehölz	Siedlungs- / Verkehrsflächen	17	20,6	9,0
Wald / Gehölz	Grünland, Restflächen, Wasser oder keine	37	19,5	9,0

Die Auswertung zeigt einen direkten Einfluss der sekundären Landnutzungskategorie „Ackerland“ auf die gemessenen und initialen Nitratkonzentrationen. In MST, deren Einzugsgebiet sich untergeordnet auch über Ackerland erstreckt, fallen die initialen Nitratkonzentrationen durchschnittlich deutlich höher als in den restlichen sekundären Kategorien aus.

N₂-Exzess (abgebautes Nitrat) schwankt zwischen den Kategorien weniger ausgeprägt. Trotz deutlicher Unterschiede zwischen gemessenen und initialen Konzentrationen besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Landnutzung und der Höhe des Nitratabbaus.

Erwartungsgemäß wurden in der Kategorie „Ackerland“ hohe initiale Nitratkonzentrationen festgestellt. Auch wenn im Bereich von Siedlungs- / Verkehrsflächen teils vergleichbar hohe Nitratkonzentrationen im Grundwasser gemessen wurden und die initialen Nitratkonzentrationen über denen von Grünland und Wald / Gehölz liegen, sind diese auf die Gesamtfläche des Landes Sachsen-Anhalt bezogen deutlich seltener vertreten.

Die erhobenen Daten deuten trotz vergleichsweise geringer MST-Anzahl (31) darauf hin, dass hohe initiale Nitratkonzentrationen in „Siedlungs-/Verkehrsflächen“ auf Einzugsgebiete zurückzuführen sind, die sich ebenfalls über „Ackerland“ erstrecken.

3.2 Nitratabbauvermögen

Das Nitratabbauvermögen wird nachfolgend anhand der 5 in Kapitel 2.2 beschriebenen Klassen erläutert. Die beiden Nitratabbau-Klassen „kein Nitratabbau“ und „kein Nitrategieintrag“ wurden im Jahr 2023 [4] gegenüber den vorherigen Auswertungen [1][2][3] überarbeitet und in „kein Nitratabbau nachweisbar“ bzw. „Nitrat und Exzess-N₂ < BG“ umbenannt. Die Umbenennung der zwei Klassen stellt in erster Linie eine Nachschärfung der gewählten Begrifflichkeiten dar und beeinflusst die Klassenzuordnung der Proben nicht. Begründet liegt die Umbenennung in der zuvor nicht explizit berücksichtigten Bestimmungsgrenze (BG) von Exzess-N₂, aus der eine auf das abgebaute Nitrat umgerechnete BG von 8,9 mg/l resultiert. Methodenbedingt kann nicht belegt werden, dass „kein Nitrategieintrag“ stattgefunden hat. Genauso wenig kann belegt werden, dass tatsächlich kein Nitrat abgebaut wurde, da in der Theorie bis zu 8,9 mg/l Nitrat „unerkannt“ abgebaut worden sein könnten. Auch die LAWA (2022) und das NLWKN (2020) berücksichtigen bei der Auswertung von N₂/Ar-Analyseergebnissen die BG von Exzess-N₂.

In der Klasse „kein Nitratabbau nachweisbar“ finden sich Proben wieder, bei denen Exzess-N₂ < BG und die gemessene Nitratkonzentration > BG liegt. Proben mit gemessenen Nitrat- und Exzess-N₂-Konzentrationen unterhalb der BG werden entsprechend der Kategorie „Nitrat und Exzess-N₂ < BG“ zugeordnet. Die aus den vorherigen Ausarbeitungen bekannten Klassen „starker Nitratabbau“, „moderater Nitratabbau“, „geringer Nitratabbau“ bleiben bestehen.

Die Auswertung in **Abb. 13** zeigt eine Übersicht der beprobten Messstellen unter Verwendung der o. g. Klassen. Im Ergebnis konnte zum jeweiligen Messzeitpunkt an 71 % der insgesamt 510 MST ein aktiver Nitratabbau festgestellt werden (38 % stark, 15 % moderat, 18 % gering). 20 % der MST entfallen in die Kategorie „kein Nitratabbau nachweisbar“.

An 9 % der untersuchten MST lagen sowohl Nitrat als auch N₂-Exzess unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die O₂-Konzentrationen der 51 als „Nitrat und N₂-Exzess < BG“ klassifizierten MST liegen mit einer Ausnahme (2,2 mg/l) alle unterhalb von 2 mg O₂/l und damit in einem reduzierenden Milieu. Im Bereich dieser MST kann folglich von einem potenziell guten Abbaupotenzial ausgegangen werden (vgl. Kapitel 3.3).

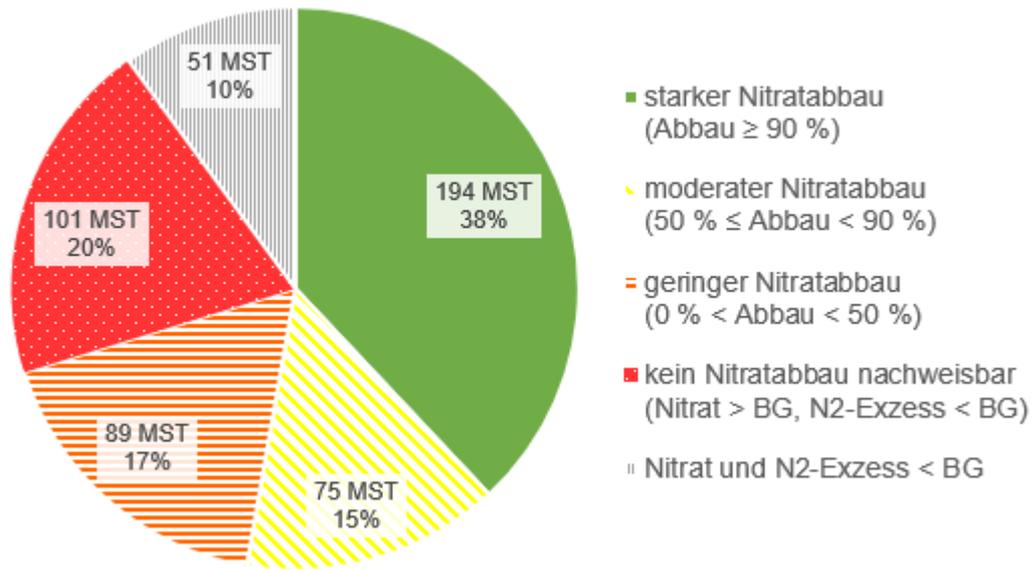


Abb. 13: Klassenverteilung des Nitratabbauvermögens anhand der N₂/Ar-Methode

In **Abb. 14** werden alle 510 untersuchten MST entsprechend ihres Abbauvermögens dargestellt. Als Hintergrundkarte dienen die hydrogeologischen Bezugseinheiten [8]. 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.

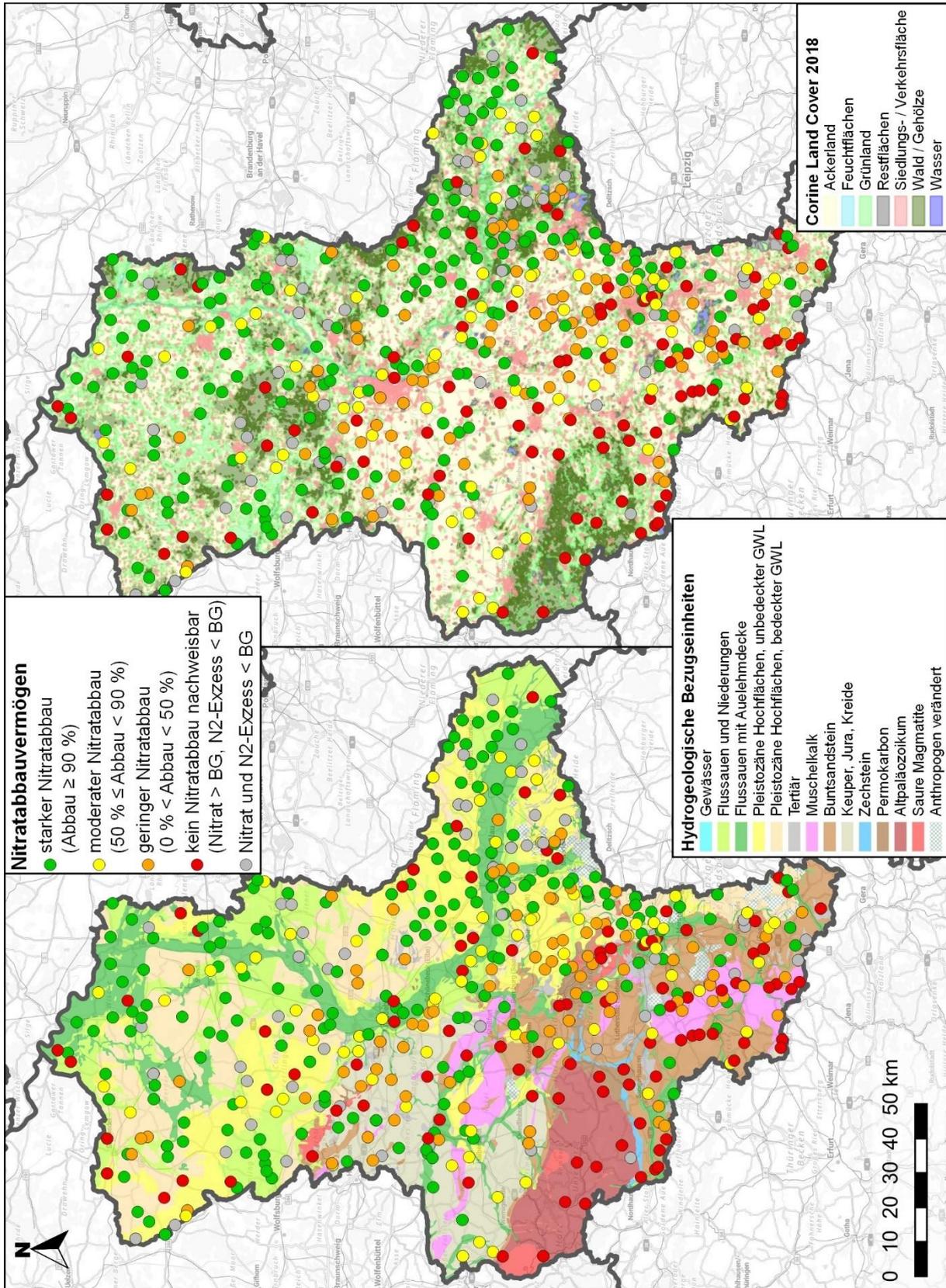


Abb. 14: Nitratabbauvermögen in Abhängigkeit der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts)

Für eine bessere quantitative Abschätzung des Nitratbaus wurden in **Abb. 15** die gemessene Nitratkonzentration und das berechnete N₂-Exzess (abgebautes Nitrat) der 510 aktuellsten Proben 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 (167 MST). Wird ein blauer Balken um einen orangen erweitert, wurde das im Grundwasser befindliche Nitrat nur teilweise abgebaut (191 MST). An 101 MST wurde kein Nitrat abgebaut (ausschließlich blauer Balken). An 51 MST betrug die initiale Nitratkonzentration null. Die Summe aus N₂-Exzess und der gemessenen Nitratkonzentration spiegelt die initiale Nitratkonzentration wider.

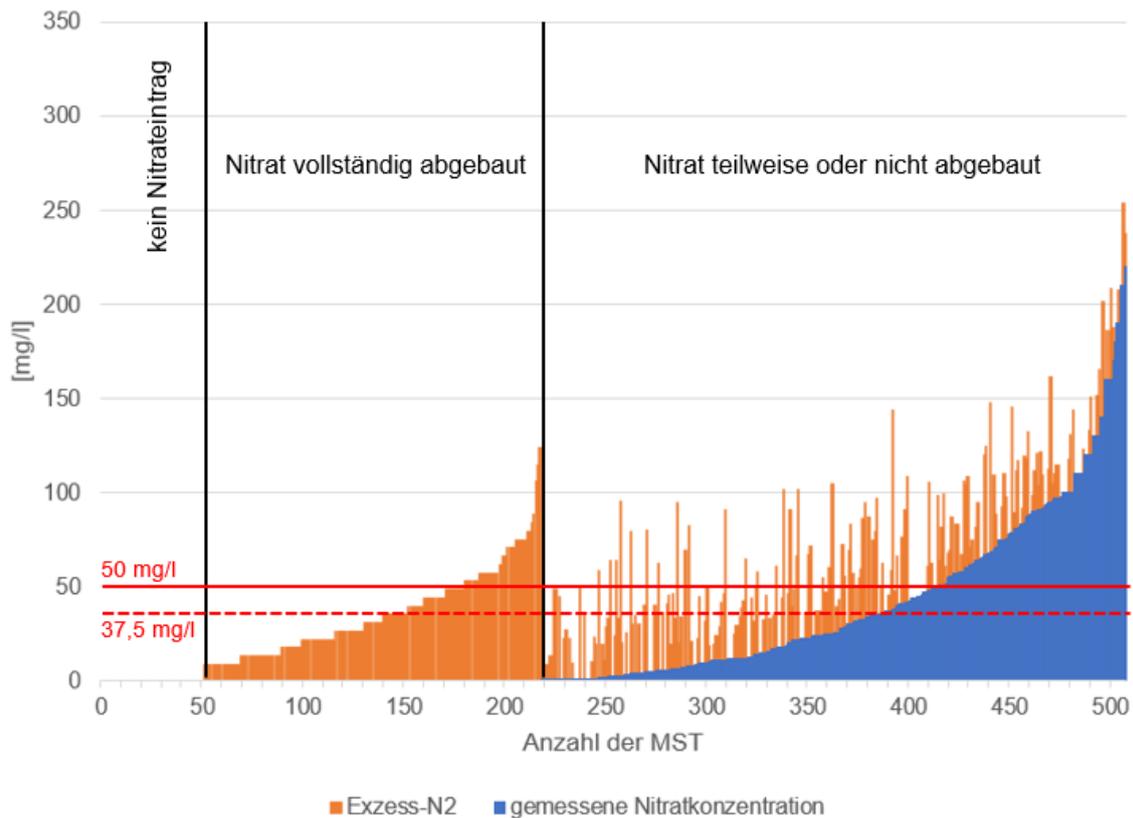


Abb. 15: Exzess-N₂ und gemessene Nitratkonzentration der beprobten MST

Die Auswertung in **Abb. 16** zeigt Zusammenhänge zwischen der Geologie und dem Nitratabbau, bzw. dessen Intensität. Unter Verwendung der o. g. Kategorisierung findet der Nitratabbau vorrangig im Lockergestein, in abgeschwächter Form jedoch auch im Festgestein statt. Aufgrund der teils geringeren Datendichte von Messungen im Festgestein ist die Belastbarkeit einzelner geologischer Einheiten (z. B. Zechstein) stark eingeschränkt. Insgesamt decken sich die Ergebnisse jedoch mit den Erkenntnissen vorheriger Untersuchungen.

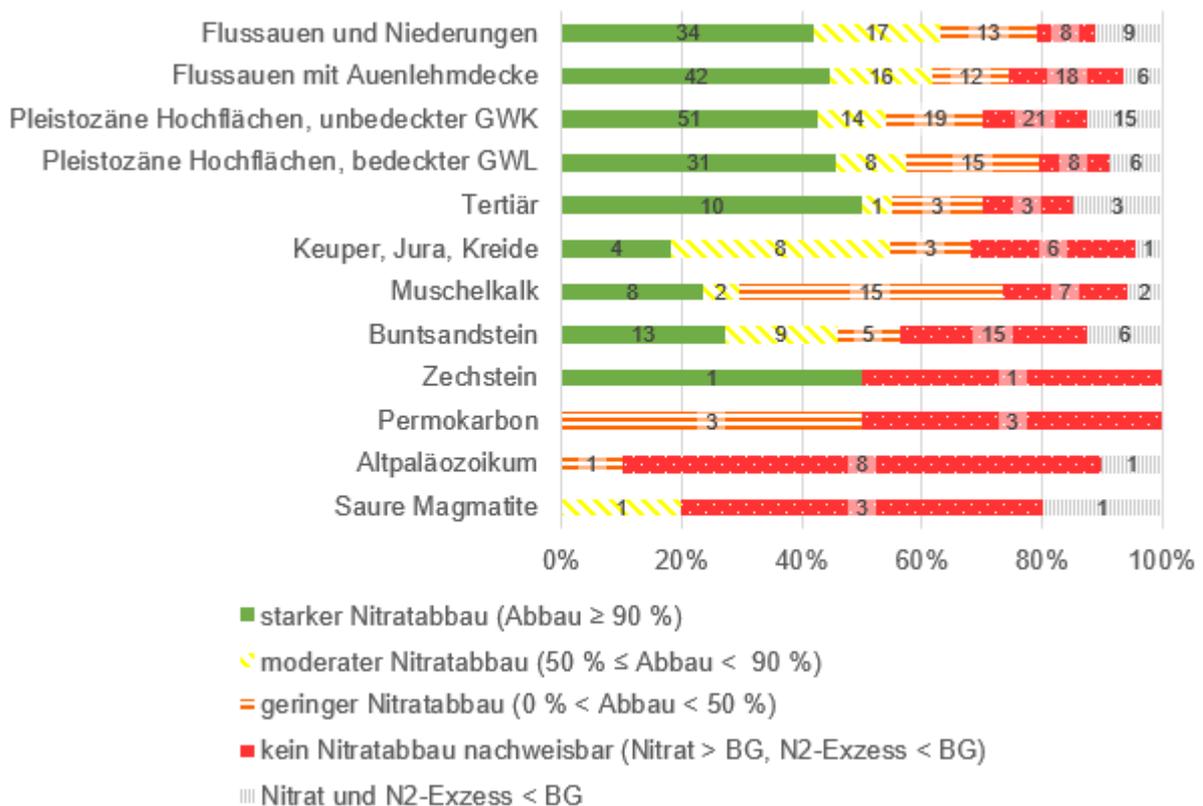


Abb. 16: Nitratabbauvermögen in den verschiedenen geologischen Einheiten

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). Dieser Ansatz ist mit Unsicherheiten behaftet. Dennoch bietet die Bestimmung des chemischen Milieus gute Anhaltspunkte für eine Ersteinschätzung möglichen Nitratabbaus. Bei geringen Sauerstoffkonzentrationen (< 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). Im Streudiagramm in **Abb. 17** sind die Analyseergebnisse von Sauerstoff und Redoxpotential gegeneinander aufgetragen. Bereiche, die nach HYDOR [7] 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 0,6 mg/l; Mittelwert 1,2 mg/l) – es dominieren also reduzierende und somit für den Nitratabbau günstige Verhältnisse. Im Festgestein ist eine Häufung im reduzierenden Milieu deutlich geringer ausgeprägt (Median 2,4 mg O₂/l; Mittelwert 3,4 mg O₂/l) – die Streuung der Messwerte fällt hingegen stärker aus. Einzelne Proben im Lockergestein zeigen, dass trotz reduzierender Milieubedingungen kein Nitratabbau stattfindet. Ein möglicher Erklärungsansatz ist der Verbrauch des für die Denitrifikation benötigten Reduktionsmittels. 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 im Anstrom der MST 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. Proben, die als „Nitrat und Exzess-N₂ < BG“ klassifiziert wurden, finden sich ausschließlich im Bereich reduzierender Verhältnisse wieder. Hier kann von einem potenziell guten Nitratabbaupotenzial ausgegangen werden. Gemäß NLWKN (2012) kann in situ Entgasung zu einer Unterschätzung des denitrifikationsbürtigen N₂ führen. Genannte Proben zeigen nach einer Plausibilitätsprüfung mit dem QS-Tool N₂/Ar Check jedoch keine Auffälligkeiten hinsichtlich abgelaufener Entgasungsprozesse.

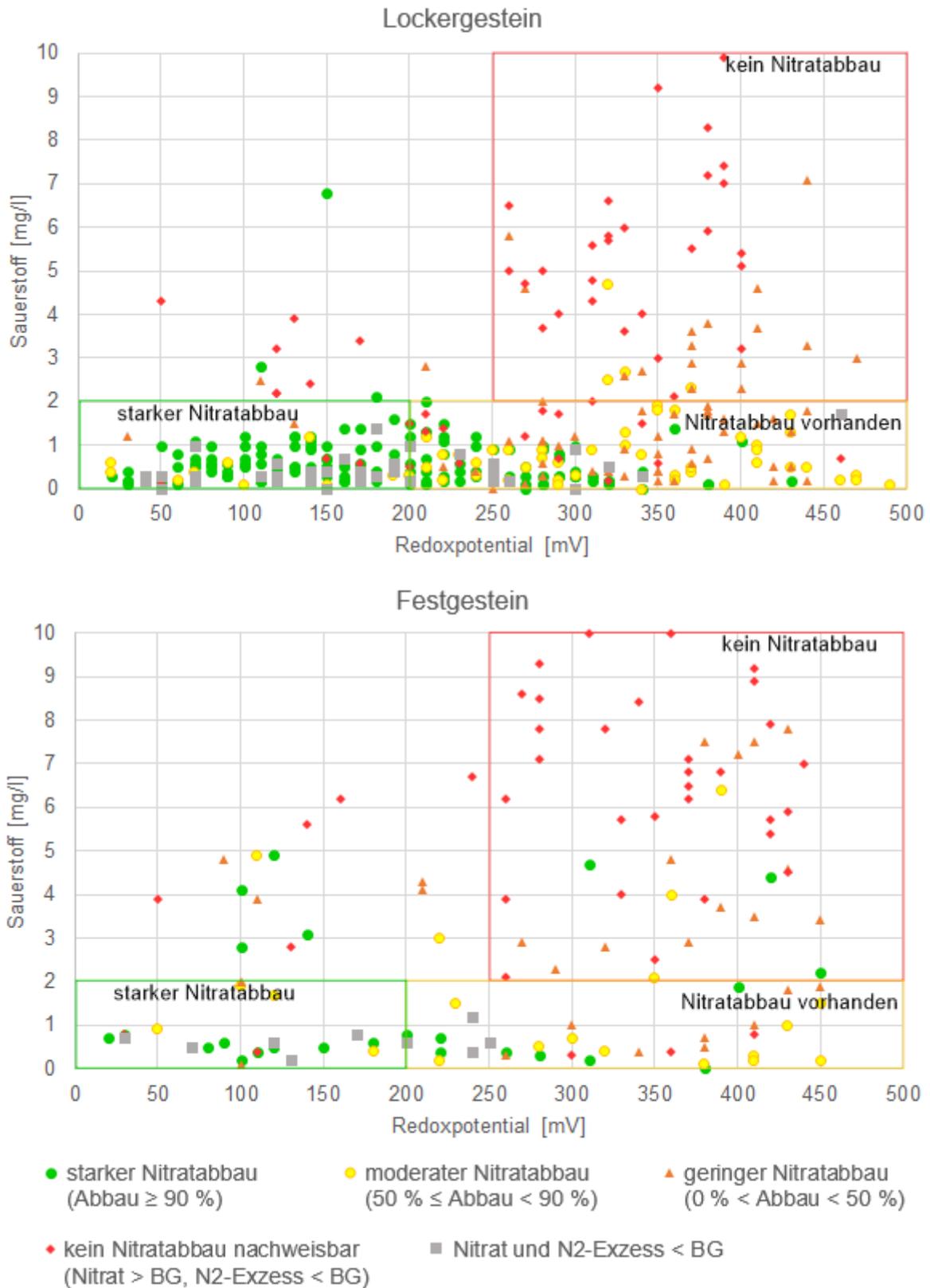


Abb. 17: Nitratabbauvermögen im Kontext des chemischen Milieus im Lockergestein (oben) und Festgestein (unten)

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.

Kluft-/Karstgrundwasserleiter können lokal vergleichsweise hohe hydraulische Durchlässigkeiten und damit einhergehend hohe Grundwasserfließgeschwindigkeiten aufweisen. Zum einen bedingen höhere Grundwasserfließgeschwindigkeiten i. d. R. eine erhöhte Sauerstoffanreicherung (oxidierendes Milieu), das auch in tiefere Grundwasserhorizonte vordringen kann.

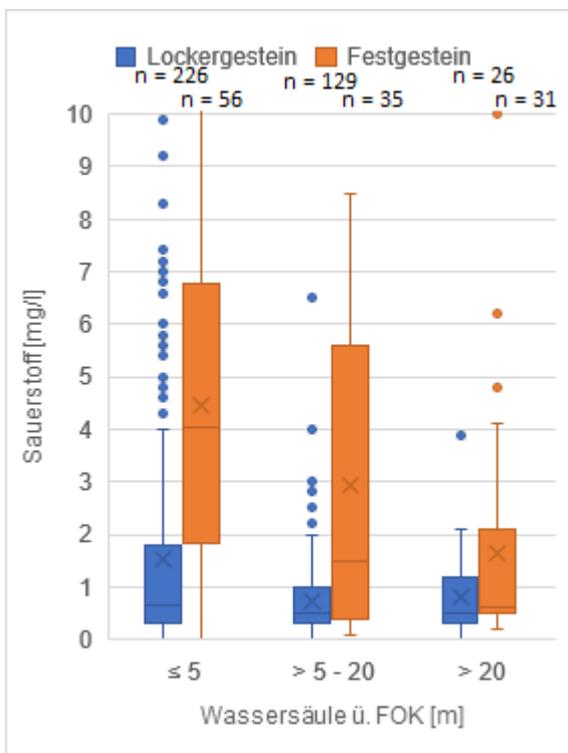


Abb. 18: Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe

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 potentiellen Grenzwertüberschreitungen im Grundwasser (50 mg/l Nitrat) entgegenzuwirken. Aus diesem Grund 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. Aktuell verhindert der Ablauf von Denitrifikationsprozessen in diesen Bereichen maßgeblich eine Überschreitung des Grenzwertes. Genannte Risikomesstellen sind in **Abb. 19** dargestellt. In diese Kategorie entfallen 17 % aller 510 untersuchten MST. An 19 % der MST wurden bereits Nitratkonzentrationen oberhalb des Grenzwertes von 50 mg/l festgestellt. Die Anzahl an MST mit gemessenen Nitratkonzentrationen > 50 mg/l würde sich ohne Denitrifikation demnach nahezu verdoppeln.

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. Absolut werden die meisten Risiko-MST in der Landnutzungskategorie Ackerland festgestellt. Erwartungsgemäß finden sich weniger Risiko-MST in Bereichen von Grünland und Wald / Gehölz wieder. Die mit jeweils nur einer MST vertretenen Landnutzungskategorien „Wasser“ und „Restflächen“ werden nicht mit dargestellt.

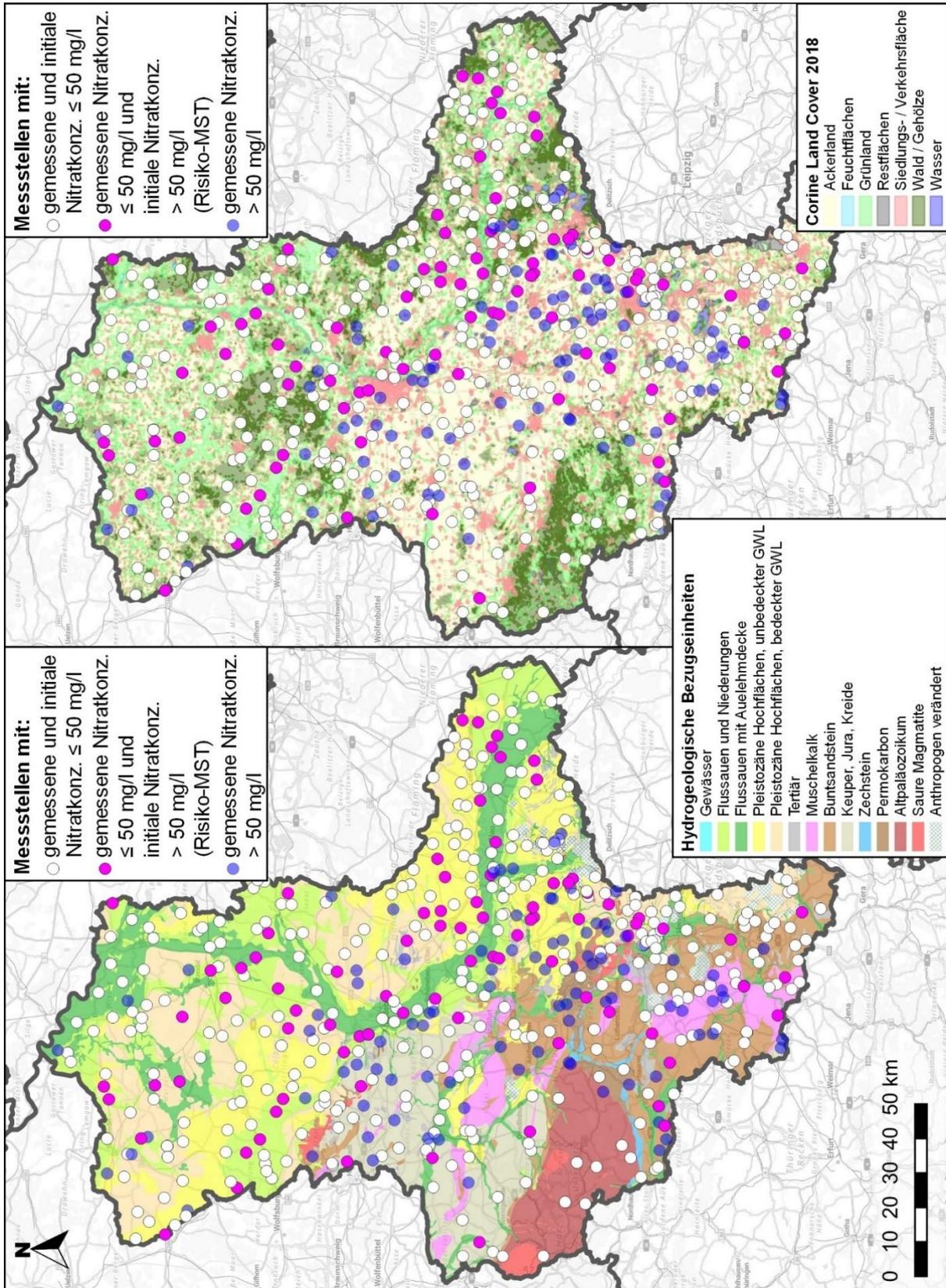


Abb. 19: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie (links) und der Landnutzung (rechts)

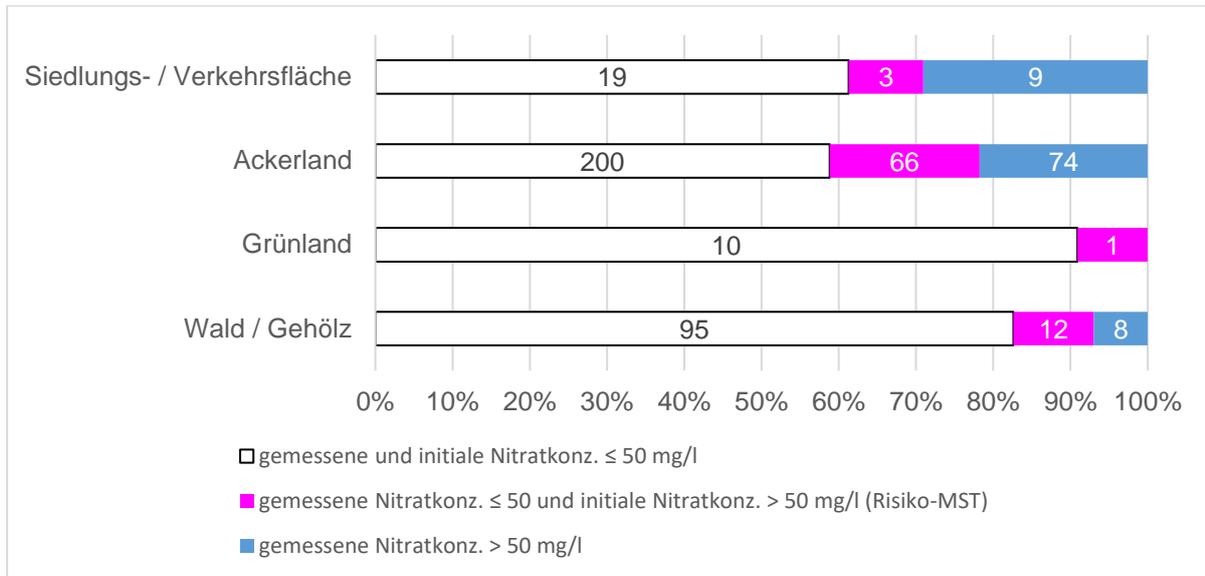


Abb. 20: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Landnutzung

Abb. 21 zeigt die Verteilung betroffener Risiko-MST, differenziert in Fest- und Lockergestein. Von insgesamt 86 Risiko-MST sind 75 im Lockergestein und 11 im Festgestein verfiltert. Das entspricht 20 % aller MST im Lockergestein bzw. 9 % aller MST im Festgestein. Der Anteil an MST mit mehr als 50 mg Nitrat/l im Grundwasser ist hingegen im Festgestein höher. Dieses Ergebnis scheint mit Blick auf die in Kapitel 3.3 gewonnenen Erkenntnisse plausibel. Die für Denitrifikationsprozesse optimalen Milieubedingungen finden 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.

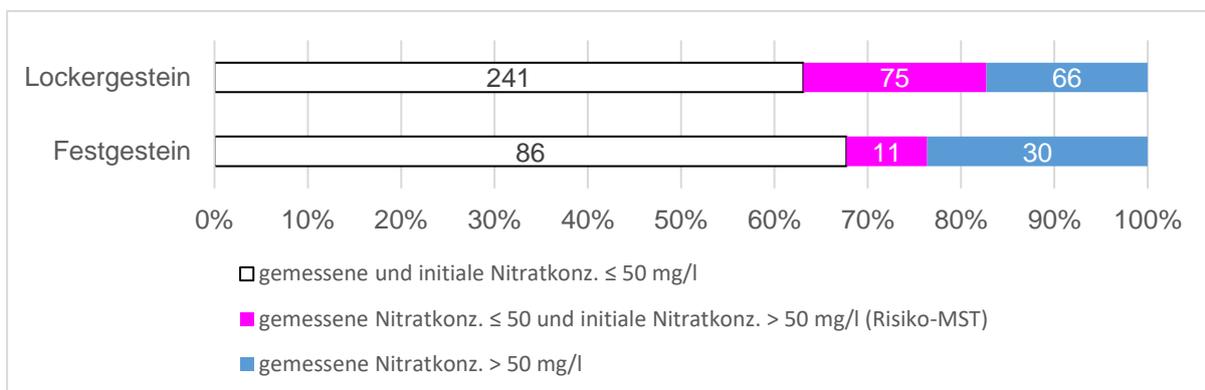


Abb. 21: Risiko-MST in Abhängigkeit von der Geologie

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-lithotropen Denitrifikation sind dies Sulfidverbindungen (z. B. Pyrit) – im Falle der chemo-organotropen 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.

3.5 Parameterentwicklung

Mit Durchführung der diesjährigen N₂/Ar-Messkampagne wurden landesweit mindestens 368 MST zweifach, 63 MST dreifach und 53 MST vierfach beprobt. Das Vorliegen mehrjähriger Analysedaten ermöglicht eine direkte Gegenüberstellung der erhobenen Parameter.

In **Abb. 22** sind die gemessenen Nitratkonzentrationen und initialen Nitratkonzentrationen der Erstbeprobung (x-Achse) den jeweils aktuellsten Messungen (y-Achse) gegenübergestellt. Befindet sich ein Datenpunkt oberhalb der eingezeichneten Linie, hat gegenüber der Erstbeprobung eine Zunahme des entsprechenden Wertes stattgefunden. Markierungen auf der Linie spiegeln Messwerte wider, die über diesem Zeitraum keiner Veränderung unterliegen. Eine Abnahme ist dann zu verzeichnen, wenn sich der Wert unterhalb der Linie befindet.

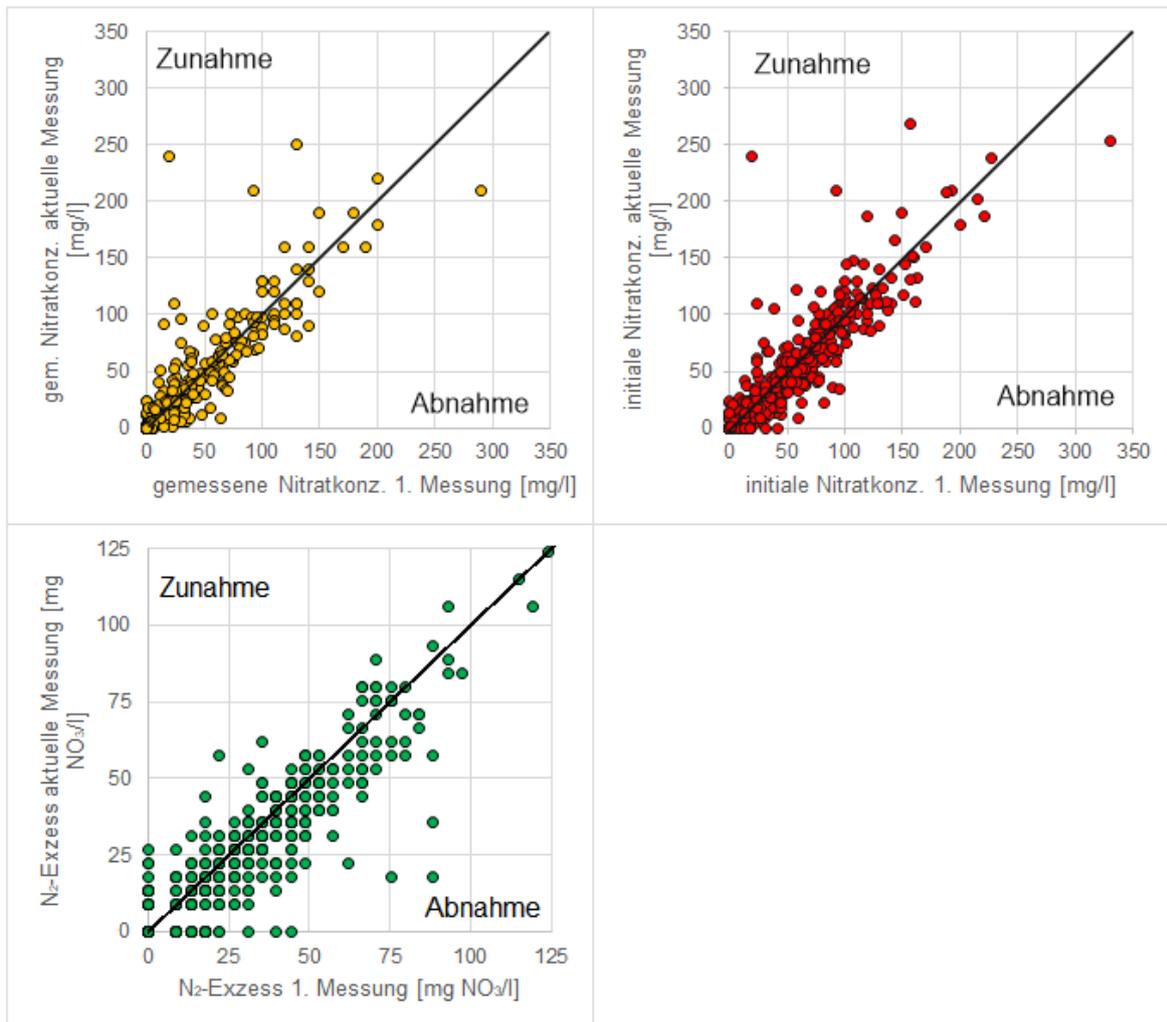


Abb. 22: Gegenüberstellung gemessener Parameter der Erstbeprobung und aktuellen Beprobung

Die mittlere gemessene Nitratkonzentration im Untersuchungszeitraum ist mit 24,4 (Erstmessung) gegenüber 25,6 mg/l (aktuellste Messung) nahezu unverändert geblieben. Die initiale Nitratkonzentration fiel im Mittel von 51 auf 49 mg/l, der Median von 42,5 auf 35,5 mg/l. Der Mittelwert des errechneten N₂-Exzess hat sich von 26,9 auf 23,7 mg NO₃/l verringert, der Median von 22,1 auf 17,7 mg NO₃/l.

Die in **Abb. 22** beschriebenen Parameterveränderungen wirken sich auch auf die Anzahl der Risiko-MST aus, bei denen die gemessene Nitratkonzentration per Definition ≤ 50 mg/l und die initiale Nitratkonzentration > 50 mg/l betragen. Fallen die initialen Nitratkonzentration bei gleichzeitig unveränderten gemessenen Nitratkonzentrationen, führt dies in der Konsequenz tendenziell zu einer Abnahme der Anzahl von Risiko-MST.

Die Entwicklung der 53 zwischen 2018 und 2024 vierfach beprobten MST, insb. mit Blick auf die Risiko-MST, ist der nachfolgenden **Abb. 23** zu entnehmen.

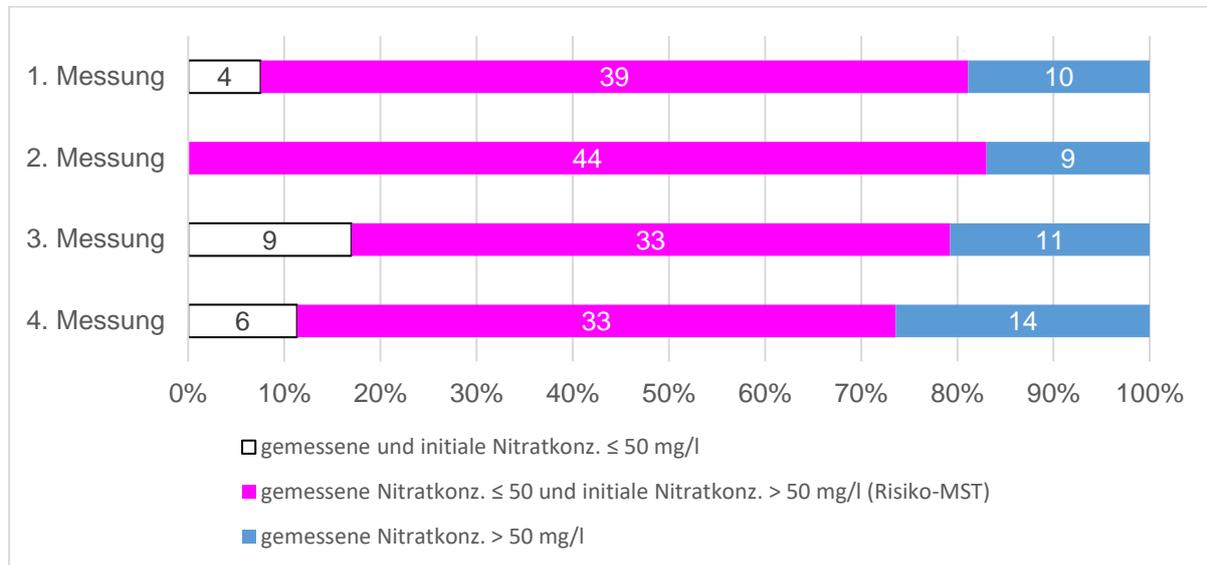


Abb. 23: Entwicklung der Risiko-MST zwischen Erst-, Zweit-, Dritt- und Viertbeprobung

Bezogen auf die betrachteten MST ist die Zahl der Risiko-MST rückläufig. Gleichzeitig ist jedoch auch ein geringer Anstieg von MST mit gemessenen Nitratkonzentrationen > 50 mg/l zu verzeichnen.

Abb. 24 zeigt die Parameterentwicklung anhand von Mittelwerten aus 53 MST, die innerhalb der vergangenen sechs Jahre vierfach beprobt wurden. Es gilt zu berücksichtigen, dass hier nur eine kleine Teilmenge betrachtet wird und etwaige Parameterentwicklungen von der Gesamtbetrachtung in **Abb. 22** abweichen können.

Auffällig ist das Abfallen der Sulfat-Konzentration (SO_4^{2-}), welche als Produkt einer chemo-lithotrophen Denitrifikation ansteigen kann. Demgegenüber steht eine konstante bis leicht steigende N_2 -Exzess-Konzentration. Der geringe Anstieg von Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) kann ein Hinweis auf den Ablauf chemo-organotropher Denitrifikationsprozesse sein. Insgesamt sind die Parameterschwankungen in Verbindung mit den vergleichsweise wenigen Messwerten und kurzen Zeiträumen jedoch zu groß, um verlässliche Aussagen hinsichtlich einer möglichen Trendentwicklung treffen zu können. Hydrogeologische (Transport-)Prozesse laufen über vergleichsweise lange Zeiträume ab. Die hier beobachteten Parameterentwicklungen, bzw. -veränderungen sind vermutlich primär auf Schwankungen natürlicher Größen zurückzuführen (insb. Grundwasserneubildung). Eine tatsächliche Trendableitung ge-

messener Parameter ist erst mit der Betrachtung langjährig und kontinuierlich erhobener Datenreihen möglich. Es gilt abzuwarten, ob sich der beobachtete Trend der Sulfat-Konzentration auch in künftigen Messungen fortsetzt.

Eine 2023 durchgeführte raum-zeitliche Betrachtung gemessener und initialer Nitratkonzentrationen an ausgewählten MST hat gezeigt, dass das in den Proben gemessene Nitrat vor ca. 16 – 42 Jahren in das Grundwasser eingetragen wurde [4]. Diese Erkenntnisse decken sich mit den im Rahmen der Nährstoffmodellierung des Landes Sachsen-Anhalt (WOLTERS et al., 2023) landesweit ermittelten Grundwasserfließzeiten, die in den quartären Lockergesteinsregionen überwiegend > 25 Jahre betragen.

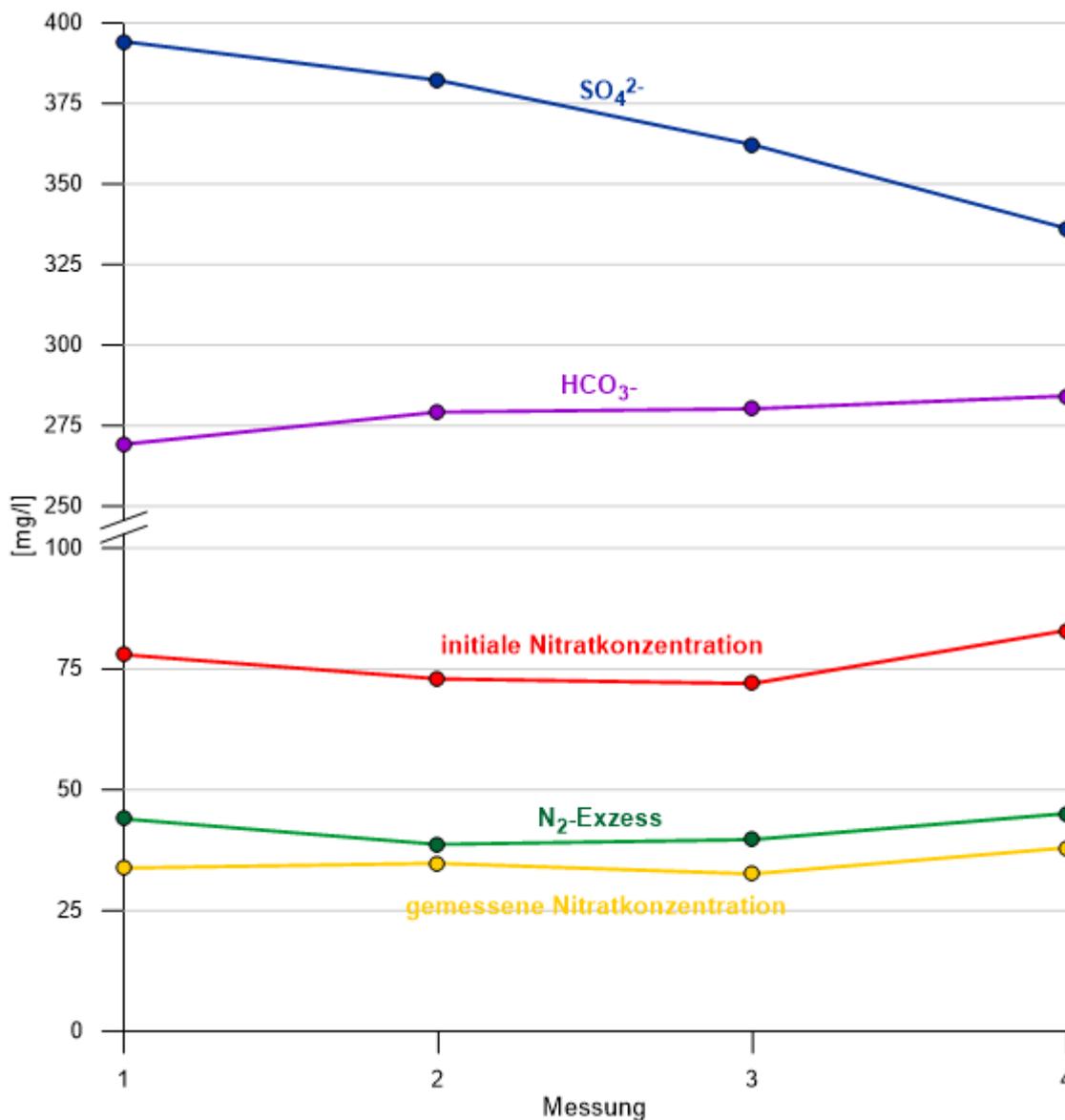


Abb. 24: Parameterentwicklung der Mittelwerte 53 vierfach beprobter MST

4 Zusammenfassung und Ausblick

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

In diesem Bericht wurden insgesamt 510 N₂/Ar-Analyseergebnisse aus den Jahren 2018 – 2024 ausgewertet. Die Datengrundlage bilden neben den 118 diesjährig ausgewerteten Proben auch ausgewählte Analyseergebnisse von 392 Proben der vorangegangenen Messkampagnen (2018 – 2023), die im Rahmen der diesjährigen Messkampagne nicht erneut beprobt wurden. Die Analyseergebnisse wurden unter Verwendung des N₂/Ar-Checktools des LBEG auf ihre Plausibilität überprüft. Von den diesjährigen 118 Proben wurden alle Analyseergebnisse als 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. Die Untersuchungen haben ergeben, dass der in der Trinkwasserverordnung sowie in den EG-WRRL festgelegte Grenzwert von 50 mg Nitrat/l an 19 % aller 510 betrachteten Messstellen überschritten wird – im Festgestein (grob Süden und Westen) häufiger als im Lockergestein (Norden und Osten). Die gemessenen Nitratkonzentrationen bewegen sich zwischen 0 und 450 mg/l (Mittelwert: 26,2 mg/l; Median: 2,7 mg/l). Während Nitrat im Lockergestein überwiegend in geringen Grundwassertiefen (< 5 m) gemessen wurde, werden im Festgestein auch in größeren Wassertiefen (> 5 m) vergleichsweise hohe Nitratkonzentrationen beobachtet. Die landesweiten initialen Nitratkonzentrationen liegen weit höher als die im Grundwasser gemessenen (maximal 472 mg/l; Mittelwert: 55,2 mg/l; Median: 44,0 mg/l). So wurde für 36 % 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 die N₂/Ar-Methode nur Nitratreinträge in das Grundwasser erfasst bzw. berechnen kann, liegen die tatsächlichen Nitratreinträge in den Boden vermutlich höher. Grundsätzlich gilt zu berücksichtigen, dass die ermittelten Nitratkonzentrationen nur Aufschluss über die punktuellen Verhältnisse zum Messzeitpunkt im Bereich der Messstelle bzw. deren Filterstrecke geben.

Aktuell konnte an 71 % aller untersuchten MST ein aktiver Nitratabbau festgestellt werden. 38 % entfallen in die Kategorie „starker Nitratabbau“ mit einem Abbau \geq 90 %.

Tendenziell wurde in Lockergesteinsbereichen ein höheres Abbauvermögen als im Festgestein festgestellt. Die erhobenen Daten zeigen, dass das chemische Milieu des Grundwassers entscheidend für Denitrifikationsprozesse ist. Reduzierende Verhältnisse bilden zusam-

men mit dem Vorhandensein eines Reduktionsmittels (z. B. Schwefel- oder organische Kohlenstoffverbindungen) die Voraussetzung. Im Festgestein herrschen häufiger oxidierende Verhältnisse, die keinen Nitratabbau zulassen. An 9 % der untersuchten MST lagen sowohl Nitrat als auch N₂-Exzess unterhalb der Bestimmungsgrenze. In Verbindung mit einem reduzierenden Milieu kann im Bereich dieser MST von einem guten Abbaupotenzial ausgegangen werden.

Die im Grundwasserleiter natürlich vorkommenden Reduktionsmittel sind in ihrer Verfügbarkeit begrenzt. 86 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 beobachtet. Im Verhältnis befinden sich Risiko-MST häufiger im Locker- als im Festgestein.

Erste Vergleiche an vierfach beprobten MST (innerhalb von ca. 6 Jahren) zeigen keine eindeutigen bzw. keine belastbaren Trends der im Grundwasser gemessenen Nitratkonzentrationen. Aufgrund des für hydrogeologische Prozesse vergleichsweise kurzen Zeitraumes zwischen den Messungen ist eine verlässliche Trendableitung noch nicht möglich. 2023 durchgeführte Untersuchungen haben in diesem Zusammenhang exemplarisch gezeigt, dass das heute im Grundwasser gemessene Nitrat vor einem bis mehreren Jahrzehnten eingetragen wurde.

Vor diesem Hintergrund sollten in Zukunft weitere N₂/Ar-Untersuchungen unternommen werden. Dafür bilden die bisherigen vom Land Sachsen-Anhalt ausgewählten MST eine gute Grundlage.

5 Verwendete Projektunterlagen und Datengrundlage

- [1] GeoDienste GmbH (2021): N₂/Ar-Untersuchungen an Grundwassermessstellen in Sachsen-Anhalt, Endbericht zur Messkampagne 2020
- [2] GeoDienste GmbH (2022): N₂/Ar-Untersuchungen an Grundwassermessstellen in Sachsen-Anhalt, Endbericht zur Messkampagne 2021
- [3] GeoDienste GmbH (2022): N₂/Ar-Untersuchungen an Grundwassermessstellen in Sachsen-Anhalt, Endbericht zur Messkampagne 2022
- [4] GeoDienste GmbH (2023): N₂/Ar-Untersuchungen an Grundwassermessstellen in Sachsen-Anhalt, Endbericht zur Messkampagne 2023
- [5] HYDOR Consult GmbH (2019): N₂/Ar-Untersuchungen im Grundwasser in Sachsen-Anhalt
- [6] HYDOR Consult GmbH (2020): N₂/Ar-Untersuchungen im Grundwasser in Sachsen-Anhalt
- [7] HYDOR Consult GmbH (2017): Charakterisierung der Milieubedingungen im Grundwasser als Voraussetzung für die Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in Sachsen-Anhalt.
- [8] Geologie – Bezugseinheiten der Grundwasserbeschaffenheit, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
- [9] CLC – CORINE Land Cover (CLC 2018) © GeoBasis-DE / BKG 2018
- [10] Kartengrundlage: © basemap.de / BKG Oktober 2023
- [11] Geobasisdaten - Geobasisdaten © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, [2016 / 010312]

6 Literatur

- BMEL (2024):* Bericht der Bundesrepublik Deutschland gemäß Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, Nitratbericht 2024, S. 13
- CREMER, DR. N. (2016):* Nitratabbauprozesse im Grundwasser – aktuelle Kenntnisse, Untersuchungsmethoden und Abschätzung der „Lebensdauer“ des Nitratabbaus, Erftverband
- 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.
- KÖLLE, W. (2001):* Wasseranalysen richtig beurteilt. - Wiley-VCH, Weinheim

- KONRAD, C. (2006):* Methoden zur Bestimmung des Umsatzes von Stickstoff, dargestellt für drei pleistozäne Grundwasserleiter Norddeutschland. – Dissertation TU Dresden, unveröffentl.
- KNOLL et al. (2020):* Räumliche Verteilung der integrierten Nitratreduktion über die ungesättigte Zone und den Grundwasserkörper in Deutschland, Water
- 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
- LAWA (2022):* Ermittlung der Denitrifikations-Standortbedingungen Methodensammlung und Methodenentwicklung, Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Ermittlung von Verweilzeiten und Denitrifikation in der ungesättigten und gesättigten Zone. Förderprogramm der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- LLG (2018):* Quantifizierung des Nitrat-Abbaus in der ungesättigten Zone von Schwarzerden im Labormaßstab, Fachgespräch „Nährstoffe“
- NLWKN (2012):* Messungen des Exzess-N₂ im Grundwasser mit der N₂/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. Reihe Grundwasser Band 15, Herausgeber: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasser-wirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden
- NLWKN (2020):* Ergebnisse von Stickstoff-Argon-Untersuchungen zur Quantifizierung des Nitrat-Abbaus im Grundwasser Niedersachsens. Reihe Grundwasser Band 42, Herausgeber: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden
- WOLTERS, T., TA, P., TETZLAFF, B., WENDLAND, F. (2023):* Fortführung und Weiterentwicklung der Nährstoffmodellierung Sachsen-Anhalt, Endbericht: Stand 06.01.2023, FZ Jülich

- Dieser Bericht gilt nur in seiner Gesamtheit -