

Stand: 21.11.2022

Biomonitoring Nitrat 2021 und 2022 in Sachsen-Anhalt (unter Berücksichtigung früherer Daten)

Endbericht



Proasellus slavus (REMY 1948)

Biomonitoring Nitrat 2021 und 2022 in Sachsen-Anhalt

(unter Berücksichtigung früherer Daten)

Endbericht

Im Auftrage des

Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Halle/s.

LHW-Auftragsnummer: HA00002/2021

IGÖ GmbH Auftragsnummer: 237-21

Bearbeitung:

Dr. Heide Stein

Dr. Sven Berkhoff

Dr. Andreas Fuchs

PD Dr. Hans Jürgen Hahn

Institut für Grundwasserökologie IGÖ GmbH

Im Niederfeld 15

D-76829 Landau/Pfalz

Landau, im November 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung / Zielsetzung.....	2
2	Ökologisches Grundwassermonitoring in Deutschland.....	3
3	Das Biomonitoring Nitrat.....	4
4	Material und Methoden.....	9
4.1	Methodik der Probennahme.....	9
4.2	Datenaufbereitung und -analyse.....	9
5	Ergebnisse.....	12
5.1	Abiotik, organisches Material und Mikrobiologie.....	13
5.2	Fauna.....	14
5.2.1	Fauna - Allgemeine Befunde.....	14
5.2.2	Die Bedeutung der Landnutzung für die Besiedlung des Grundwassers.....	17
5.2.3	Biologische Bewertung.....	20
5.2.4	Schwellenwertanalyse Nitrat.....	22
6	Wissenschaftliche und praktische Anschlussfähigkeit.....	24
7	Zusammenfassung.....	25
8	Literaturverzeichnis.....	27
9	Anhang 1 Steckbriefe der Messstellen des Grundwasser-Biomonitorings Nitrat.....	28

Abkürzungsverzeichnis und Akronyme

BZE	Hydrogeologische Bezugseinheit(en)
DOC	Dissolved Organic Carbon (gelöster Kohlenstoff)
IGÖ	Institut für Grundwasserökologie IGÖ GmbH, Landau in der Pfalz
KOR	Koordinierungsraum (Flusseinzugsgebiet)
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
MDS	Multidimensionale Skalierung
MST	Messstelle(n)
MKZ	Messstellenkennzahl
ST	Sachsen-Anhalt
WHG	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz)
WRRL	EU Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG
WW	Wasserwerk

Ökologische Präferenzen

sb	stygobiont	sp	stygophil
sx	stygoxen	eö	euryök

1 Veranlassung / Zielsetzung

Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse des Biomonitorings Nitrat 2021 und 2022.

Die Nitratbelastung vieler Grundwasserkörper und deren Monitoring sind eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen. Vor dem Hintergrund der aktuellen Bemühungen um die Verminderung von Nitratreinträgen bzw. der Nitratbelastung soll nun der Versuch unternommen werden, Grundwassertiere als ergänzende Indikatoren für die Nitratbelastung bzw. die Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung zu verwenden. Hintergrund ist die Überlegung, dass die Fauna des Grundwassers sehr empfindlich auf Nahrungseinträge von der Erdoberfläche reagiert. Diese sind direkt mit der Intensität der Landnutzung korreliert, und die Fauna zeigt nicht zuletzt auch die Vulnerabilität des Grundwassers an. Dies erklärt die, in den Untersuchungen der Jahre 2015 – 2020 zum Aufbau eines Nitratbiomonitoringmessnetzes, festgestellte Korrelation zwischen der Art der Landnutzung und der Fauna. Von allen erfassten Umweltparametern erwies sich dabei Nitrat als derjenige Parameter, der die faunistischen Muster am besten erklärt.

Anders als chemische Befunde liefern Faunadaten keine Momentaufnahme der Verhältnisse, sondern spiegeln die Situation über einen längeren Zeitraum wider. Begleitend zu abiotischem Monitoring sollte deshalb in einer durch Nitrat belasteten Region, deren Grundwasserkörper nach WRRL-Zustandsbestimmung bezogen auf Nitrat als schlecht ausgewiesen sind, der Aufbau eines langfristigen Nitrat-Biomonitorings erfolgen. Aufbauend auf den Untersuchungen der Jahre 2015 -2020 wurden 15 Messstellen für die Untersuchungen der Jahre 2021 und 2022 ausgewählt und faunistisch beprobt. Die hydro-chemischen Daten stellte der LHW zur Verfügung.

Vor Beginn der Untersuchungen wurde die generelle Zielsetzung wie nachfolgend definiert:

- Aufbau eines Biomonitorings in einer nährstoffbelasteten Region zur Begleitung und Unterstützung des chemisch- physikalischen Monitorings.
- Überwachung der Entwicklung der Stickstoffbelastungen(Nitrat) im Grundwasser in einem als „belastet“ eingestuften Gebiet bzw. auf Ebene von Grundwasserkörpern.
- Einrichtung des Biomonitorings über eine zu definierende Laufzeit (> 10Jahren) und damit Orientierung auf den 3. Bewirtschaftungszeitraum nach WRRL ab 2021 und darüber hinaus.
- Der Nutzen des Biomonitorings soll insbesondere darin liegen, eine zusätzliche Möglichkeit zu schaffen, die Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen der Landwirtschaft auf der Fläche effektiver kontrollieren zu können.
- Dem entsprechend sollten die ausgewählten Messstellen auch einen Teil der entsprechenden landwirtschaftlichen „Problemgebiete“ repräsentieren.
- Das Biomonitoring soll somit einen Beitrag im Rahmen der Umsetzung der Gewässerschutzziele nach WRRL leisten.

Im Rahmen dieser aktuellen Studie sollte insbesondere geprüft werden, inwieweit Zusammenhänge zwischen dem Auftreten der Grundwasserfauna, der Landnutzung und der Hydrochemie, speziell Belastungsparametern wie Nitrat, bestehen. Weiterhin leisten diese Untersuchungen einen Beitrag zur Erfassung der Biodiversität im Grundwasser Sachsen-Anhalts.

Dazu wurden vor allem die im Rahmen des Biomonitorings Nitrat in den Jahren 2021 bis 2022 erhobenen Daten ausgewertet. Zusätzlich wurden noch die Daten der Beprobung 2020 sowie, für die Schwellenwertanalyse, alle geeigneten Daten seit 2008 berücksichtigt.

2 Ökologisches Grundwassermonitoring in Deutschland

Sowohl die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) als auch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) definieren Grundwasser als „aquatische Ökosysteme“ bzw. als „Gewässer“. Gewässer sind nachhaltig, unter Erhalt ihrer ökologischen Funktionsfähigkeit und ihrer Arten, zu bewirtschaften. Damit unterliegen sie dem Verschlechterungsverbot. Die Wasserbeschaffenheit wird laut Wasserhaushaltsgesetz (WHG) über die Chemie, die Menge und die Biologie definiert.

Zwar formulieren bisher weder die WRRL, das WHG noch die Grundwasserverordnung die Anwendung biologischer Parameter, doch bietet die Bioindikation bekanntermaßen zahlreiche Vorteile bei der Überwachung von Ökosystemen. Zu nennen ist hier zunächst die Reaktion der Organismen auf die Summe *aller* Umweltfaktoren, während man mit der Messung bzw. der Analyse abiotischer Parameter nur die Substanzen finden kann, nach denen gezielt gesucht wird. Weiterhin spiegeln Organismen die Umweltbedingungen über ihre Lebensdauer, die bei Grundwassertieren bis zu fünfzehn Jahre betragen kann, wider. Im Gegensatz dazu liefern abiotische Messungen eine Momentaufnahme der Verhältnisse.

Aus diesen Gründen sind biologische Bewertungs- und Monitoringverfahren seit Jahrzehnten für die Bewirtschaftung der Oberflächengewässer unabdingbar. Auch für das Grundwasser lassen sich biologische Bewertungsansätze erfolgreich anwenden.

Derzeit werden deshalb zahlreiche neue Verfahren zur Bioindikation und Bewertung entwickelt und auch angewandt. Zu nennen ist hier vor allem auch das Förderprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen (FONA)“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Aktuell läuft die Bewertung der Anträge für das Unterprogramm LURCH mit einem grundwasserökologischen Schwerpunkt.

Auch Fachbehörden setzen die Biologie zunehmend zur Überwachung des Grundwassers ein.

Ganz aktuell erschienen unter dem Titel „Umweltverträgliche Nutzung geothermischer Wärmespeicher - Ermittlung und Bewertung thermischer Veränderungen im Grundwasser“ die UBA-Texte 113/2022 (Hiester et al. 2022). Im Fokus stehen hier die Grundwasserökosysteme.

Angewandte Grundwasserökologie

Zunehmend findet anwendungsorientierte, grundwasserökologische Forschung statt. Im deutschsprachigen Raum waren das in den vergangenen Jahren vor allem die Universität Koblenz-Landau, die Universität Wien und das Institut für Grundwasserökologie IGÖ GmbH. Seit Kurzem befassen sich auch die Universität Halle und das KIT, vormals Universität Karlsruhe, mit dieser Thematik. Gerade letztere beide Einrichtungen haben einen Schwerpunkt bei der Bewertung von Wärmeeinträgen in das Grundwasser. Die Technologiezentren des DVGW in Dresden, Hamburg und Karlsruhe bearbeiten grundwasserökologische Fragestellungen (fast ausschließlich Mikrobiologie) vor dem Hintergrund der Trinkwasserversorgung. Einige dieser Vorhaben mit einem faunistischen Fokus oder faunarelevanten Komponenten seien hier kurz vorgestellt:

Forschung & Entwicklung

- DemoSpeicher: Entwicklung und Monitoring saisonaler Wärme- und Kältespeicherung zur Demonstration eines Aquiferspeichers in Deutschland (Fördergeber BMBF, 2022 – 2025)
- REGULATE: Regulation von Grundwasser in telegekoppelten sozial-ökologischen Systemen. (Fördergeber BMBF, 2020 - 2025), Näheres siehe Kapitel 6
- Bio-TGW: Biologisches Trink- und Grundwassermanagement - Großflächige Erprobung und Anwendung neuer genetischer Verfahren als Grundlage für die standardisierte, biologische Bewertung von Trink- und Grundwasser (Fördergeber BMBF, 2019 - 2023)
- Thermostress: Machbarkeitsstudie zur Entwicklung eines Bewertungs- und Vorhersageansatzes für Grundwasserökosysteme unter thermischem Stress (Fördergeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, 2020 - 2022)
- gwDNA - Entwicklung und Etablierung einer auf Umwelt-DNA-basierten Methode als Grundlage zur standardisierten, ökologischen Bewertung von Trink- und Grundwässern (Fördergeber BMWi, 2019 - 2021)
- GroundCare: Parametrisierung und Quantifizierung von Grundwasser-Ökosystemdienstleistungen als Grundlage für eine nachhaltige Bewirtschaftung (Fördergeber BMBF, 2015 - 2019)
- StygoTracing-EZG: Entwicklung eines Mikrosatelliten-basierten, faunistischen Tracerverfahrens zur Bestimmung von Wasserschutzgebieten, Wassereinzugsgebieten und Oberflächenwasser-Grundwasser-Wechselwirkungen (Fördergeber BMBF, 2016 - 2018)
- StygoTracing: Entwicklung eines Mikrosatelliten-basierten Tracerverfahrens zur Erfassung der Eintrags- und Ausbreitungspfade tierischer Organismen in Trinkwasserversorgungsanlagen (Fördergeber BMBF, 2014 - 2016)

Fachbehörden und Verbände

Baden-Württemberg führt, seit einer landesweiten Erfassung 2001/2002, bereits seit 2006 ein grundwasserfaunistisches Dauermonitoring durch. In Sachsen-Anhalt wurde nach einem Screening 2008 das Biomonitoring Nitrat etabliert. Seit einigen Jahren sind die Senatsverwaltung in Berlin sowie die Stadt Hannover dabei, ein grundwasserökologisches Dauermonitoringnetz aufzubauen. Auch in München finden seit mehreren Jahren von der Stadt finanzierte, grundwasserökologische Studien statt.

3 Das Biomonitoring Nitrat

Im Jahr 2015 begannen die ersten grundwasserfaunistischen Beprobungen mit Bezug zur Nitratproblematik in ausgewählten Regionen Sachsen-Anhalts (vornehmlich im südlichen Landesteil).

Die Auswahl geeigneter Messstellen wurde nach folgenden Kriterien hinsichtlich des Messstellenausbaus (physische Eignung), der Eignung in Bezug auf hydrochemische Parameter, speziell Nitrat, sowie den spezifischen Standortfaktoren vorgenommen:

Auswahlkriterien

- Lage der Messstelle im Betrachtungsgebiet/ GWK und Flächennutzung Landwirtschaft,
- Durchmesser mindestens 2 Zoll,
- Sauerstoffgehalt ≥ 1 mg/l,
- Messstelle repräsentativ für oberen Aquifer,
- Vorfeld-Messstelle von Trinkwassergewinnungsanlagen,
- Zugehörigkeit zu einem Landnutzungstyp entsprechend CORINE (Ackerland, Siedlung / Verkehrsfläche, Wald / Gehölze) und der wichtigsten Hydrogeologischen Bezugseinheiten (BZE).
- Referenzmonitoring: gute Besiedlung, repräsentative Verteilung
- Nitratmonitoring: gute Besiedlung, v.a. zwei Gebiete (Huy, Goldene Aue), später Eingrenzung auf ein „gut besiedeltes“ Kleineinzugsgebiet
- Orientierung vorerst auf einen größeren Untersuchungsraum (Agrargebiet) im GWK und erst später Eingrenzung auf ein „gut besiedeltes“ Kleineinzugsgebiet.

Für das Nitratmonitoring 2021 und 2022 standen insgesamt 15 Messstellen zur Verfügung. Sieben davon werden bereits seit dem Jahre 2008 bzw. 2009 regelmäßig faunistisch beprobt, so dass hier auswertbare Zeitreihen vorliegen (**Tab. 1, Abb. 1 und 2**). Die beiden 2020 unbesiedelten Messstellen (Brücken-Güte & Sangerhausen) wurden 2021 nicht mehr beprobt.

Tabelle 1: Stammdaten der in das grundwasserfaunistische Biomonitoring Nitrat 2021 und 2022 einbezogenen Messstellen. Lfd. Nr: Laufende Messstellennummer der Datenbank, MST = Messstelle, NT = Norddt. Tiefland, ZMG = Zentrale Mittelgebirge, BZE = Hydrogeologische Bezugseinheit, GWK = Grundwasserkörper, GWL = Grundwasserleiter.

MST-Nr.	Lfd. Nr.	MST	Hochwert	Rechtswert	Stygoregion	BZE	GW-Leitertyp	GWK	Landnutzung	Tiefe (m)
440050	9	Klein Chüden-Güte	5860304	649208	NT	Flussauen und Niederungen	Lockergestein	NI10 01	Ackerland	11,0
2402007	33	Gnölbzig 01/06	5727867	688226	ZMG	Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL	Lockergestein	SAL GW 020	Ackerland	14,0
340920	35	Klosterrohrbach OP	5701279	658610	ZMG	Flussauen mit Auenlehmedecke	Lockergestein	SAL GW 041	Ackerland	9,0
340350	55	Lengefeld 1/98	5706666	653641	ZMG	Buntsandstein	Kluft	SAL GW 038	Ackerland	31,0
340080	58	Vatterode 1/96	5718419	667182	ZMG	Permokarbon	Kluft	SAL GW 019	Ackerland	30,0
340962	65	Roßla 1/02	5703989	4434797	ZMG	Buntsandstein	Kluft	SAL GW 038	Siedlung / Verkehrsfläche	22,0
340952	67	Tromsdorf Herrengosserstedt 1/02	5666082	675586	ZMG	Keuper, Jura, Kreide	Kluft	SAL GW 011	Ackerland	30,0
340961	71	Haselbach 2/02 (Uftrungen)	5709752	638346	ZMG	Altpaläozoikum	Kluft	SAL GW 039	Wald / Gehölze	19,0
341000	92	Thürungen 6680	5701483	640967	ZMG	Flussauen und Niederungen	Lockergestein	SAL GW 041	Ackerland	5,0
342285	95	Uni MSH 2/11-Thürungen	5701849	640982	ZMG	Flussauen mit Auenlehmedecke	Lockergestein	SAL GW 041	Ackerland	8,0
340964	98	Tilleda 1/02	5699115	649016	ZMG	Flussauen und Niederungen	Lockergestein	SAL GW 041	Siedlung / Verkehrsfläche	7,0
342310	101	Bennungen NB2016	5703452	647323	ZMG	Flussauen mit Auenlehmedecke	Lockergestein	SAL GW 041	Siedlung / Verkehrsfläche	11,0
342240	102	Hackpfüffel	5699562	652928	ZMG	Flussauen mit Auenlehmedecke	Lockergestein	SAL GW 041	Ackerland	6,0
341010	103	Bösenrode	5703360	638692	ZMG	Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL	Lockergestein	SAL GW 041	Ackerland	17,0
340968	118	Grillenberg	5712215	660283	ZMG	Permokarbon	Kluft	SAL GW 040	Wald / Gehölze	19,5

Nur eine der Messstellen (Klein Chüden-Güte) liegt in der Stygoregion Norddeutsches Tiefland, alle anderen in der Stygoregion Zentrale Mittelgebirge (**Tab. 1**).

Damit decken die Messstellen des Nitratmonitorings drei Arten von Landnutzung ab: Ackerland, Siedlung/Verkehrsflächen und Wald/Gehölzstandorte. Es überwiegen bei weitem landwirtschaftliche Nutzflächen im Einzugsgebiet (**Tab. 1**). Haselbach 2/02 (Uftrungen) und Grillenberg liegen im Wald, Tilleda 1/02 und Bennungen NB2016 im Siedlungsbereich. Insbesondere Tilleda, aber auch Bennungen, unterliegen zusätzlich noch landwirtschaftlicher Nutzung im Umfeld des Siedlungsbereiches. Anders als im Zwischenbericht wurde die Landnutzung des Standortes Roßla 1/02 von Ackerland in Siedlungsbereich abgeändert, da anhand der Grundwasserströmung anzunehmen ist, dass der Siedlungsbereich aufgrund der Grundwasserfließrichtung einen großen Einfluss auf diesen Grundwasserstandort hat. Ansonsten entspricht die Landnutzung der Einteilung nach CORINE. Die meisten Messstellen befinden sich im Südharz im Südwesten Sachsen-Anhalts (**Abb. 1, Abb. 2**).

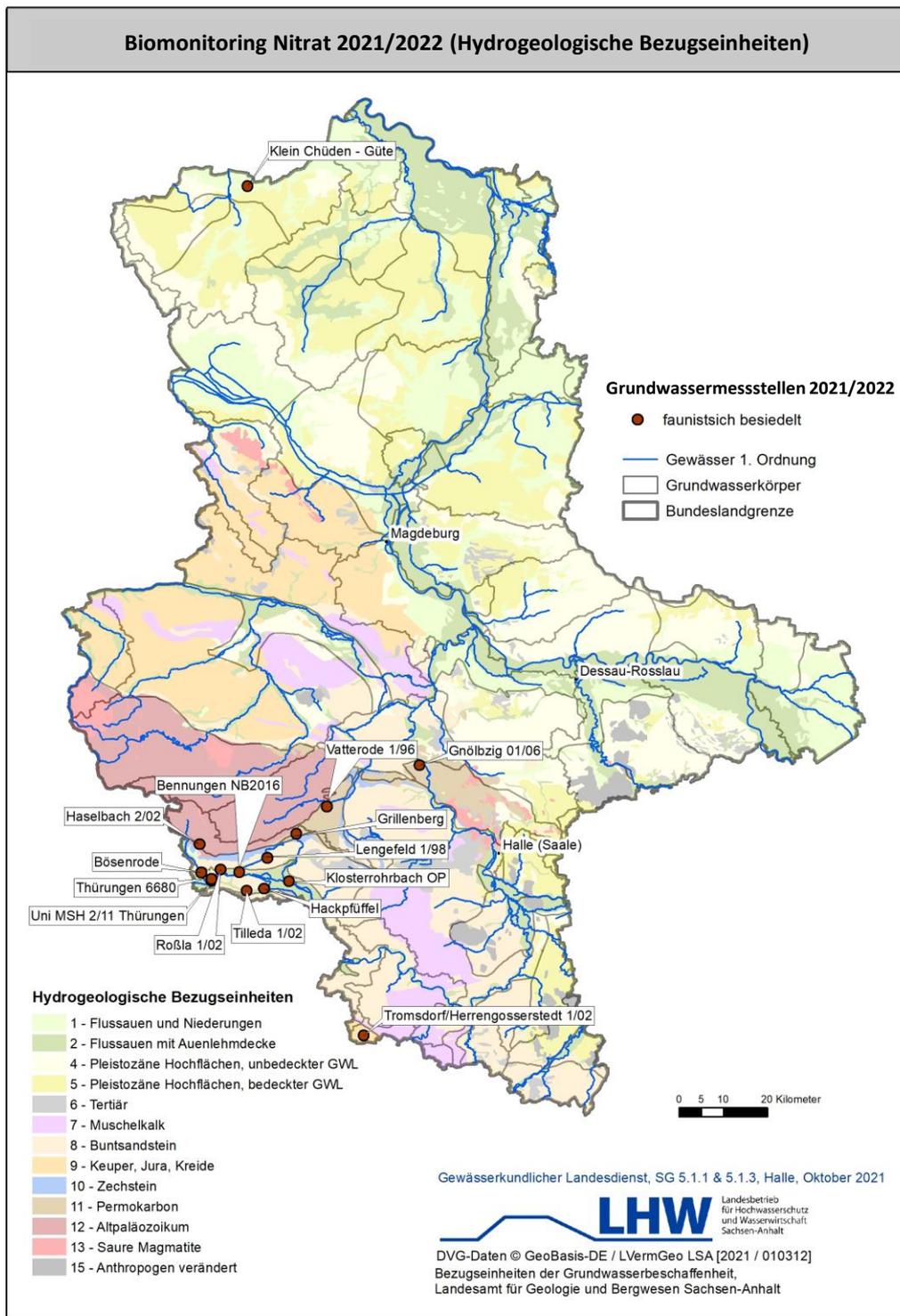


Abbildung 1: Übersicht des Untersuchungsgebiets des Grundwasser-Biomonitorings Nitrat der Jahre 2021 und 2022 unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Bezugseinheiten. Die beiden 2020 unbesiedelten Messstellen (Brücken-Güte & Sangerhausen) wurden ab 2021 nicht mehr beprobt.

Biomonitoring Nitrat 2021/2022 (CORINE Landnutzung)

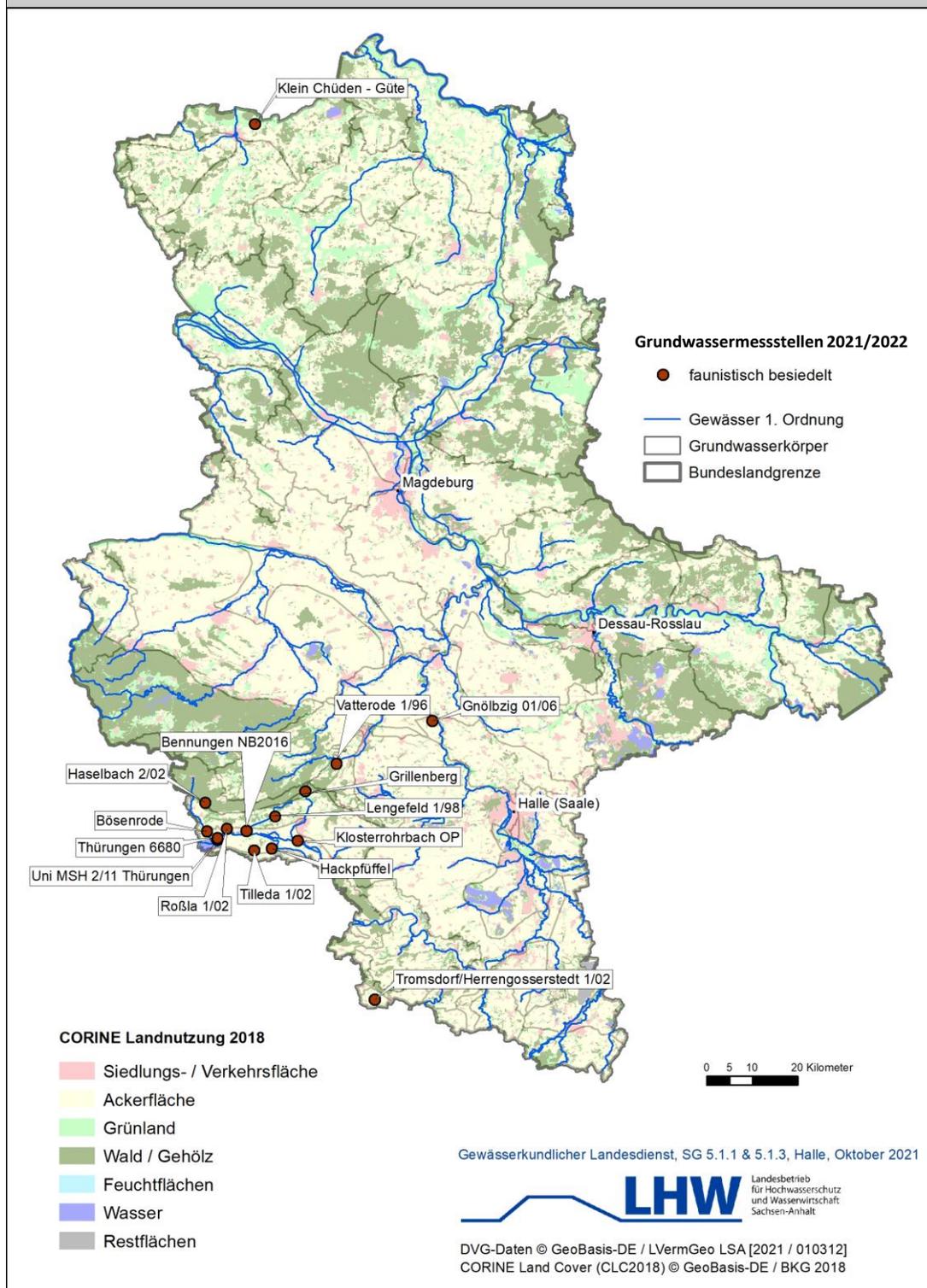


Abbildung 2: Übersicht des Untersuchungsgebiets des Grundwasser-Biomonitorings Nitrat 2021 und 2022 unter Berücksichtigung der Landnutzung (CORINE). Die beiden 2020 unbesiedelten Messstellen (Brücken-Güte & Sangerhausen) wurden ab 2021 nicht mehr beprobt.

4 Material und Methoden

Die Untersuchungshäufigkeit betrug wie in den Vorjahren 1 Probe je Jahr und Messstelle; bei der faunistischen Beprobung kam wie in den vorigen Untersuchungen der Netzsammler mit einer Maschenweite von 74 µm zum Einsatz. Beprobt wurden 15 Messstellen (Tab. 1). Die Probennahmen des Jahres 2021 wurden im Zeitraum vom 28. bis 31. März und die des Jahres 2022 vom 28. bis 29. April durchgeführt. Die Beprobung 2020 fand vom 5. bis 7. Mai statt.

4.1 Methodik der Probennahme

Die **Faunap**roben wurden mittels eines Netzsammlers vom Grunde der Messstellen entnommen. Bei dem eingesetzten Netzsammler, handelt es sich um ein modifiziertes Cvetkov-Netz, dass mit einem Sammelgefäß verbunden ist. An einer Schnur und beschwert mit einem Edelmetallgewicht wird der Netzsammler in den Pegel abgelassen. Durch Aufschlagen des Gewichts wird der Sumpf mit den darin befindlichen Tieren aufgewirbelt und dann durch das durchgezogene Netz gefiltert.

Die Methode basiert darauf, dass Grundwassermessstellen bzw. Beobachtungsrohre zur Grundwasserüberwachung, aber auch andere Formen von Brunnen oder längere Zeit im Sediment exponierte Schlagrohre für die Fauna wie Fallen wirken (Tiere dringen über die Schlitzungen aus dem umgebenden Aquifer aktiv in die Pegelrohre ein). Hier befinden sie sich zunächst in der freien Wassersäule des Beobachtungsrohres. Da die meist blinden Tiere nun keinen Kontakt mehr zum sie normalerweise umgebenden Sediment haben, versuchen sie, diesen Kontakt wiederherzustellen. Im einfachsten Fall geschieht dies durch die Bewegung nach unten (positive Thigmotaxis). Somit gelangen sie an den Grund der Messstelle, in den Sumpf. Hier häufen sich die Tiere an. Die Besiedlungsstruktur des Pegelsumpfes integriert dabei die Fauna der vorhandenen Filterstrecke. Der Netzsammler liefert halbquantitative Ergebnisse und erweist sich aufgrund seiner leichten Handhabung als besonders vorteilhaft bei der Beprobung von tiefen Grundwassermessstellen (> 25 m) sowie bei Untersuchungen mit biogeographischem Bezug.

Dazu wurde der Netzsammler auf den Grund der Messstelle abgelassen, nachfolgend zehnmal ca. 1,5 m über den Pegelsumpf angehoben und wieder auf diesen fallen gelassen. Diese Proben wurden im Gelände mit 96 %igem Ethanol fixiert und mit Eosin B angefärbt. Danach wurden sie im Labor auf Großgruppenniveau (meist Ordnungsebene) sortiert und die Gruppen der Krebse (Crustacea) und der Ringelwürmer (Oligochaeta, Aphanoneura und Archiannelida) auf Artniveau bestimmt.

Die **hydrochemischen Proben** wurden vom Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) gewonnen und in dessen Labor analysiert. In der Regel erfolgte die Probennahme nicht zeitgleich mit den faunistischen Proben.

4.2 Datenaufbereitung und –analyse

Da die hydrochemischen Proben in der Regel zeitversoben zu den Faunaproben gewonnen wurden, konnten sie zunächst nicht *direkt* einer Faunaprobe zugeordnet werden. Deshalb

wurde die zeitlich nächstgelegene chemische Probe mit dem entsprechenden faunistischen Datensatz verbunden. Bei manchen Proben waren nicht immer Daten aus dem gleichen Jahr verfügbar. In solchen Fällen wurden die verfügbaren chemischen Daten der betroffenen Messstelle gemittelt und dieser Wert dann für die weitere Auswertung genutzt. Bei Messwerten, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen, wurden diese durch die Hälfte des Wertes der Nachweisgrenze ersetzt.

Für die statistische Auswertung wurden die faunistischen Daten (Artenzusammensetzung der Einzelproben) mit den entsprechenden Daten der einzelnen Standorte und deren chemischen Analysedaten verknüpft und für die einzelnen Fragestellungen aufbereitet. Die Datenanalyse erfolgte mittels der Programme SPSS v. 15.0 (SPSS Corporation), PRIMER v. 6 (Primer-E. Ltd.) und „R“ (Paket TITAN2). Anhand der faunistischen Daten wurde für jede Probe eine **Bewertung nach UBA** (Umweltbundesamt, s. Griebler et al 2014) durchgeführt. Dabei wird zwischen „gut“ und „nicht-gut“, also zwischen naturnahen und nicht naturnahen Messstellen, unterschieden. Wesentliche Kriterien sind dabei die Anteile der Crustaceen (Krebstiere) und Oligochäten (Wenigborsterwürmer), wobei hohe Anteile an Oligochäten auf eine Störung und hohe Anteile an Krebstieren auf natürliche Verhältnisse hinweisen. Aufgrund der natürlicherweise hohen Anteile an Oligochäten im Grundwasser der Norddeutschen Tiefebene ist das Verfahren dort nur sehr eingeschränkt anwendbar.

Der **Grundwasser-Fauna-Index (GFI)** dient zur Abschätzung der Stärke des hydrologischen Austausches zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser. Er beruht jedoch nicht auf faunistischen, sondern auf rein abiotischen Daten. Der Index berechnet sich aus der Standardabweichung der Temperatur (SD [T]), dem relativen Detritusgehalt und dem Sauerstoffgehalt. Da die Standardabweichung der Temperatur in die Formel einbezogen wird, kann der GFI nur für Standorte berechnet werden, die mehrfach, mindestens 3x beprobt wurden.

Je größer der errechnete GFI-Wert ist, desto stärker ist der Eintrag von Oberflächenwasser.

Standorte mit schwachem Oberflächenwassereinfluss:

GFI-Werte < 2,0; GFI-Klasse 1

Standorte mit mittlerem Oberflächenwassereinfluss:

GFI-Werte >2,0 und < 10,0; GFI-Klasse 2

Standorte mit deutlichem Oberflächenwassereinfluss:

GFI-Werte > 10,0; GFI-Klasse 3

Der sogenannte **Oberflächenindex („OBELIX“)**, der sich gerade in der Erprobungsphase befindet, wurde von der IGÖ GmbH entwickelt, um den Oberflächeneinfluss auf das Grundwasser faunistisch zu bewerten. Der OBELIX berechnet sich aus der „Besiedlungsdichte“, dem „Anteil Stygobionte auf Großgruppenniveau“, dem „Anteil Oligochaeta“ und einem sogenannten „Gemeinschaftsindex“. In der aktuellen Auswertung wurde der OBELIX auf Großgruppen- und Artniveau berechnet.

Je größer der errechnete OBELIX-Wert ist, desto stärker ist der Einfluss von Oberflächenwasser. Der Begriff Oberflächenwasser wird im vorliegenden Bericht für infiltrierendes Wasser aus Oberflächengewässern und auch für versickerndes Niederschlagswasser ins Grundwasser verwendet.

Standorte die sehr gut bis gut abgeschirmt sind:

OBELIX ≤ 1,5: Klasse 1

Standorte mit moderatem bis starkem hydrologischen Austausch

OBELIX > 1,5 ≤ 3: Klasse 2

Standorte mit sehr starkem hydrologischem Austausch:

OBELIX > 3-7: Klasse 3

Die Biodiversität der untersuchten Standorte wurde über den **Shannon-Wiener-Index** (H') ermittelt, einem Diversitätsmaß, das nicht nur die Artenzahlen, sondern auch deren mengenmäßige Verteilung innerhalb der Gemeinschaft berücksichtigt. Je größer H' , desto besser ist in der Regel die damit betrachtete Gemeinschaft zu bewerten.

Zur Berechnung der Korrelationen zwischen chemischen und faunistischen Daten wurde die **Rangkorrelation nach Spearman** verwendet. Die Stärke dieser Zusammenhänge wird mit den Korrelationskoeffizienten „ r “ angegeben, der in einem Bereich zwischen -1 (negative Korrelation) und 1 (positive Korrelation) liegt. Der Koeffizient wird dabei wie folgt interpretiert: $r < 0,2$ sehr geringe Korrelation; $r < 0,5$ geringe Korrelation; $r < 0,7$ mittlere Korrelation; $r < 0,9$ hohe bis sehr hohe Korrelation (UNTERSTEINER 2005).

Die Überprüfung von Unterschieden in Parameterausprägungen zwischen Gruppen erfolgte mittels des **Mann-Whitney U-Test**.

Zum Abgleich der abiotischen Daten mit den mit der Simper-Analyse berechneten Ähnlichkeiten wurden **Box-Plot-Grafiken** verwendet, die die wichtigsten Eigenschaften einer Verteilung mit fünf Werten darstellen. Dabei markieren die untere und obere Linie den kleinsten bzw. größten Wert, die untere Begrenzung der Box ist das erste Quartil (Q1, 25 % der Werte sind kleiner), die obere Begrenzung das dritte Quartil (Q3, 25 % der Werte sind größer). Die mittlere Linie kennzeichnet den Median (jener Wert, unterhalb und oberhalb dessen jeweils die Hälfte der Einzelwerte liegen) (JANSEN & LAATZ 2007).

Um die Biozönosen der einzelnen Pegel miteinander zu vergleichen, wurde die Bray-Curtis-Ähnlichkeit der Tiergemeinschaften aller untersuchten Messstellen berechnet. Hierzu wurden die Daten 4. Wurzel-transformiert, um den dominierenden Einfluss von Taxa mit hohen Abundanzen auf die Analyse abzuschwächen. Auf den Ähnlichkeitsberechnungen basieren weitere multivariate Analysen wie die PERMANOVA, die DISTLM und das CAP Verfahren.

Die nichtparametrische Varianzanalyse **PERMANOVA** testet die Zugehörigkeit zu einer Datengruppe (sog. Faktoren, z.B. Hydrogeologie oder Landnutzung) und prüft die Stärke des Einflusses unterschiedlicher Faktoren auf die Tiergemeinschaften (CLARKE & GORLEY 2006). Das PERMANOVA-Verfahren ist eine Kombination aus einer multifaktoriellen Varianzanalyse (MANOVA) und einem anschließenden Signifikanztest (post-hoc Test), das für die Analyse der Variabilität in multivariaten, nicht normalverteilten Datensätzen geeignet ist.

Die Zusammenhänge zwischen der faunistischen Besiedlung und den abiotischen Parametern wurden mittels einer nichtparametrischen, multivariaten Regression (**DISTLM**, Distance-based linear models) untersucht. Die DISTLM-Methode versucht die Variabilität in der Besiedlung (abhängige Variable) durch den Einfluss abiotischer Parameter (Prädiktorvariablen) zu erklären (Clarke & Gorley 2006).

Das **CAP-Verfahren** (Canonical Analysis of Principal coordinates) ist eine nichtparametrische Diskriminanzanalyse. Sie überprüft die Zuordnung von Fällen (z.B.

Standorten) zu einer bestimmten Gruppe (z. B. Art der Landnutzung) anhand einer beliebig wählbaren Distanzmatrix (CLARKE & GORLEY 2006).

Zur Berechnung der vergleichenden Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung von Einzelproben, Standorten, Untersuchungsgebieten oder unterschiedlichen Faktoren (z.B. Landnutzung) wurde eine **SIMPER-Analyse** (SIMilarity PERcentage) durchgeführt. Die SIMPER ermöglicht auch die Ermittlung typischer oder trennender Arten zwischen Standorten oder Gruppen (CLARKE & WARWICK 2001).

Das Programm **TITAN** in R ermöglicht Schwellenwertanalysen mit Umweltparametern entlang von Gradienten (z. B. hier Nitratkonzentration) hinsichtlich deren Auswirkungen auf Organismen.

Anhand der Schwellenwertanalyse (Threshold Indicator Taxa Analysis, TITAN) wird getestet, ob sich die Tiergemeinschaften der untersuchten Messstellen entlang des Gradienten Nitrat verändern. Dieser Gradient wird vom Programm aus den gemessenen Nitratkonzentrationen aller Einzelmessungen generiert. Für jedes Taxon wird ein eigener Umschlagspunkt entlang des Gradienten (Nitrat) berechnet (Baker & King 2010). Darüber werden geeignete Indikatortaxa identifiziert, um für den Nitrat-Gradienten einen Schwellenwert auf Basis der Lebensgemeinschaften zu ermitteln. Die statistische Aussagekraft wird über Bootstrapschätzungen erzielt. Die TITAN-Analysen werden mit Einzelmessungen durchgeführt, um keinen Informationsverlust zu haben. Seltene Taxa werden in der Analyse berücksichtigt (BAKER & KING 2010).

5 Ergebnisse

Die Analyse der im Rahmen des Biomonitorings Nitrat 2021/2022 erhobenen Daten erfolgte zusammen mit den Daten aus dem Jahr 2020 (45 Datensätze). Im Vordergrund standen mögliche Zusammenhänge zwischen dem Auftreten der Grundwasserfauna, der Landnutzung und der Hydrochemie, speziell Belastungsparametern wie Nitrat. Für die Nitrat-Schwellenwertanalyse mit TITAN wurden alle geeigneten Faunadaten seit 2008 verwendet, insgesamt 195 Datensätze.

5.1 Abiotik, organisches Material und Mikrobiologie

Die meisten hydrochemischen Befunde der Jahre 2020 bis 2022 sind unauffällig (**Tab. 2**).

Tabelle 2: Die wichtigsten physikochemischen Messwerte des Grundwasser-Biomonitorings Nitrat der Jahre 2020 bis 2022. MST = Messstelle, * = Nitrat > 50 mg/L.

MST	Datum	Feldparameter				Laborparameter										
		T (°C)	O ₂ (mg/L)	Lf (µS/cm)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/l)	oPO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	K (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Fe (mg/l)	DOC (mg/l)	Detritus (Schätz-klassen)	KBE/ml (22 °C)	KBE/ml (36 °C)	Coli-forme (MPN/ml)
Klein Chüden-Güte	05.05.2020	10,4	5,6	221	6,1	16	0,01	16	4,8	50	25	1,9	0	30		1
Klein Chüden-Güte	29.03.2021	11,5	6,4	207	6,9	14	0,01	15	4,4	48	25	1,6	1	0,054	0,009	0,5
Klein Chüden-Güte	29.04.2022	12,1	5,3	179	6,2	13	0,01	12	4,9	38	25	1,9	1	0,05	0	0,5
Gnölbzig 01/06	06.05.2020	11,2	6,5	2030	7	110*	0,02	210	9,5	480	25	2,2	1	10	13	0,5
Gnölbzig 01/06	28.03.2021	15,3	7	1932	6,5	97*	0,02	170	9,3	460	25	1,5	1	0,083	0,044	0,5
Gnölbzig 01/06	27.04.2022	12,3	6,8	1774	7,4	89*	0,02	180	10	430	25	1,5	0	0,01	0,01	0,5
Klosterrohrbach OP	06.05.2020	11,4	2,7	1510	7,1	29	0,02	180	5,2	390	25	1	0	40	71	0,5
Klosterrohrbach OP	31.03.2021	10	2,6	1492	6,7	33	0,02	120	4,8	380	25	1,1	0			0,5
Klosterrohrbach OP	28.04.2022	10,9	2,1	1323	7,2	31	0,02	120	5	380	25	0,9	2	0	0	0,5
Lengefeld 1/98	06.05.2020	11,8	6,6	825	7	53*	0,02	30	2,9	75	25	0,7	0			0,5
Lengefeld 1/98	30.03.2021	10,8	8,2	819	6,6	51,4*	0,02	29,7	3,13	86	25	0,7	1			
Lengefeld 1/98	28.04.2022	10,3	7,1	780	7,1	48	0,02	31	3,1	70	25	0,9	2			0,5
Vatterode 1/96	06.05.2020	11,1	4,1	789	7	28	0,04	63	3,7	67	25	0,8	0		173	1030
Vatterode 1/96	30.03.2021	12	3,8	813	6,6	42	0,04	47	3,7	61	25	1	2	0,276	0,063	1
Vatterode 1/96	28.04.2022	11,2	6,3	823	7,1	35	0,04	53	3,8	63	25	1,1	3	0,01	0	0,5
Roßla 1/02	06.05.2020	11,2	6,8	1059	7,1	62*	0,03	74	6,9	100	25	1	2	30	9	3
Roßla 1/02	30.03.2021	10,3	7,8	1018	6,7	58*	0,03	71	6,7	100	25	0,8	2		0,026	1
Roßla 1/02	28.04.2022	10,3	7,7	879	7,1	62*	0,04	75	7	100	25	0,9	2	0,02	0,01	1
Tromsdorf Herrengosserstedt 1/02	06.05.2020	11,1	5,3	2830	7	89*	0,01	70	6	1500	25	2	1	0,102	0,038	10
Tromsdorf Herrengosserstedt 1/02	31.03.2021	11,5	5,3	2880	6,7	94,1*	0,01	61,35	5,66	1484	25	2,2	1			
Tromsdorf Herrengosserstedt 1/02	29.04.2022	10,6	7,2	2600	7,1	84*	0,01	55	5,8	1500	25	2,4	1	0,01		0,5
Haselbach 2/02 (Ufrungen)	07.05.2020	9,4	7,8	398	7	13	0,01	12	1,4	49	25	0,7	0	10	4	3
Haselbach 2/02 (Ufrungen)	30.03.2021	9,5	8,4	405	6,9	19	0,01	8,3	1	43	25	0,6	1	0,053	0,011	0,5
Haselbach 2/02 (Ufrungen)	28.04.2022	10	6,9	361	7,5	18	0,01	10	1,4	46	25	0,6	1	0,01		0,5
Thürungen 6680	07.05.2020	12,7	2,3	733	7,3	15	0,01	45	5,8	190	60	0,5	1			
Thürungen 6680	30.03.2021	10	6,4	790	6,7	24	0,01	42	7	190	330	0,7	1	0,079	0,021	0,5
Thürungen 6680	28.04.2022	10,5	4,8	727	7,3	21	0,01	42	6,5	190	90	0,5	1	0,16	0,1	0,5
Uni MSH 2/11-Thürungen	07.05.2020	11,1	7,6	799	6,9	26	0,01	35	2,5	240	25	0,5	1			
Uni MSH 2/11-Thürungen	30.03.2021	11	8,4	789	6,7	32	0,01	27	2,4	200	25	0,5	1	0,048	0,007	0,5
Uni MSH 2/11-Thürungen	28.04.2022	10,3	7,6	719	7,3	28	0,01	29	2,5	230	25	0,5	1	0,04	0	0,5
Tilleda 1/02	06.05.2020	11,9	3,4	1049	7,1	19	0,02	39	6,3	130	25	1,1	2	770	220	1490
Tilleda 1/02	31.03.2021	9,2	6,1	1269	6,6	49	0,03	64	9,1	240	70	2,1	2		0,036	0,5
Tilleda 1/02	28.04.2022	10,6	4	910	7,3	31	0,02	48	9,5	220	70	1,3	2	0,19	0,06	10
Bennungen NB2016	07.05.2020	13,3	8,7	1883	7,1	71*	0,01	64	9,9	830	25	0,5	1	300	225	0,5
Bennungen NB2016	30.03.2021	13	9,5	1825	6,4	39	0,01	66	10	760	25	0,8	2		0,079	0,5
Bennungen NB2016	28.04.2022	11,7	8,6	1737	7,2	180*	0,01	95	9,9	730	25	0,8	1	0,11	0,04	0,5
Hackpfüffel	06.05.2020	10,7	5	1375	6,9	53*	0,01	81	7	220	130	1,6	3	190	164	69
Hackpfüffel	31.03.2021	9,1	4,5	1079	6,7	58*	0,02	120	6,8	210	200	1,6	3		0,031	9
Hackpfüffel	28.04.2022	10,3	3,4	955	7,3	49	0,01	64	3,5	180	80	1	3			
Bösenrode	07.05.2020	9,5	3,4	494	7,1	17	0,03	27	3,3	290	25	0,6	1	0,25	0,15	54
Bösenrode	30.03.2021	7,7	7,5	446	6,8	16,6	0,03	21	2,58	180	36,3	0,64	1			
Bösenrode	28.04.2022	9,2	5,2	491	7,3	22	0,03	17	2,1	100	80	0,9	3	0		0,5
Grillenberg	06.05.2020	10,3	7,8	547	10	19	0,06	52	2,7	73	25	0,6	1			
Grillenberg	30.03.2021	10,9	8,7	533	6,7	23	0,06	55	2,8	77	120	1	1	0,053	0,015	0,5
Grillenberg	28.04.2022	10,4	7,9	517	7,4	26	0,06	44	2,9	79	25	0,9	2	0,07	0,01	0,5

Die Nitratwerte liegen bei 6 Standorten über 50 mg/l, wobei die Höchstwerte in Bennungen NB2016 (180 mg/l), Gnölbzig 01/06 (110 mg/l), und *Tromsdorf Herrengosserstadt 1/02* (94 mg/l) erreicht werden (**Tab. 2**). Auch die Kaliumwerte sind an einer Reihe von Standorten erhöht (> 5 mg/l). Dazu gehören u. a. wieder Bennungen NB2016 (10 mg/l), Gnölbzig 01/06 (10 mg/l) und *Tromsdorf Herrengosserstadt 1/02* (5,8 mg/l). Erhöhte Nitrat- und Kaliumkonzentrationen sind Indikatoren für landwirtschaftliche Nutzung, da sie in Düngemitteln enthalten sind. Beide Parameter korrelieren deutlich und hochsignifikant miteinander (Spearman-Test: $p < 0,001$, $r = 0,582$, $n = 45$).

Die Koloniebildenden Einheiten (KBE) weisen auf Oberflächenwassereinfluss hin und gehen einher mit dem Nachweis coliformer Keime. Die höchsten KBE-Konzentrationen wurden an den Standorten Bennungen NB2016, Tilleda, Vatterode 1/96, Gnölbzig 01/06 und Thürungen 6680 gefunden (**Tab. 2**).

5.2 Fauna

Im Fokus dieser Auswertung standen die Faunadaten des Biomonitorings Nitrat der Jahre 2020 bis 2022. Unter anderem sollte ihre Eignung für dieses Monitoring geprüft werden, vor allem aber Zusammenhänge zwischen dem Auftreten der Fauna und abiotischen Parametern, insbesondere Nitrat.

5.2.1 Fauna - Allgemeine Befunde

Die Mehrheit der 15 Messstellen des Biomonitorings Nitrat 2021/2022 liegt in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten, 2 im Wald und 3 in Siedlungen (s. **Tab. 1**). Von den 15 Proben des Jahres 2022 wurden in 4 Proben keine Tiere gefunden. In den Untersuchungsjahren 2020 und 2021 waren alle betreffenden GWM besiedelt (**Tab. 3**). Auffallend ist die im Vergleich zu anderen Regionen hohe Stetigkeit der grundwassertypischen Amphipoden.

Im Zuge der dreimaligen Beprobung der 15 GWM im Zeitraum 2020 bis 2022 wurden insgesamt 1038 Tiere gesammelt. Davon konnten 696 Individuen bis zur Art und 40 Tiere bis zur Gattung bestimmt werden (Tab. 3 u. 4). Dabei wurden 22 Tierarten (Crustacea und Annelida) und 6 weitere Tiergruppen (Nematoda, Acari, aquat. Insecta, Rotifera, Tardigrada, Gastropoda) im Grundwasser Sachsen-Anhalts festgestellt (Tab. 3 u. 4).

Tabelle 3: Faunistische Großgruppen. Taxa-Standort-Matrix des Grundwasser-Biomonitorings Nitrat der Jahre 2020-2022. MST = Messstelle.

MST	Datum	Crustacea						Annelida			Sonstige					Summe	
		Amphipoda	Cyclopoida	Harpacticoida	Parastenocaridae	Bathynellacea	Ostracoda	Nauplii	Oligochaeta	Troglochaetus	Polychaeta	Nematoda	Acari	quat. Insecta	Rotifera		Tardigrada
Klein Chüden-Güte	05.05.2020							2			3						5
Klein Chüden-Güte	29.03.2021				8			6			14						28
Klein Chüden-Güte	29.04.2022							10			2						12
Gnölbzig 01/06	06.05.2020					7											7
Gnölbzig 01/06	28.03.2021					1		1									2
Gnölbzig 01/06	27.04.2022																0
Klosterrohrbach OP	06.05.2020	1															1
Klosterrohrbach OP	31.03.2021		1					1	1								3
Klosterrohrbach OP	28.04.2022	3														1	4
Lengefeld 1/98	06.05.2020	3	3														6
Lengefeld 1/98	30.03.2021	6	3														9
Lengefeld 1/98	28.04.2022		2														2
Vatterode 1/96	06.05.2020		37														37
Vatterode 1/96	30.03.2021		36				1							2			39
Vatterode 1/96	28.04.2022																0
Roßla 1/02	06.05.2020	12	56			3	5	1									77
Roßla 1/02	30.03.2021	4	18			1		1						1			25
Roßla 1/02	28.04.2022	3	35					2									40
Tromsdorf Herrengosserstedt 1/02	06.05.2020	1	4					3									8
Tromsdorf Herrengosserstedt 1/02	31.03.2021	2	4					2									8
Tromsdorf Herrengosserstedt 1/02	29.04.2022		2														2
Haselbach 2/02 (Uftrungen)	07.05.2020	1	5			6											12
Haselbach 2/02 (Uftrungen)	30.03.2021		3			4		2	1				1				11
Haselbach 2/02 (Uftrungen)	28.04.2022	2	3								1						6
Thürungen 6680	07.05.2020	1						1									2
Thürungen 6680	30.03.2021	1															1
Thürungen 6680	28.04.2022																0
Uni MSH 2/11-Thürungen	07.05.2020	2	9	51				6		1							69
Uni MSH 2/11-Thürungen	30.03.2021	5	4	4													13
Uni MSH 2/11-Thürungen	28.04.2022	4		6													10
Tilleda 1/02	06.05.2020		185				12					1					198
Tilleda 1/02	31.03.2021		47				9	2				1				1	60
Tilleda 1/02	28.04.2022		37	3		2											42
Bennungen NB2016	07.05.2020		17	1													18
Bennungen NB2016	30.03.2021	1	25														26
Bennungen NB2016	28.04.2022																0
Hackpüffel	06.05.2020	7	5			17											29
Hackpüffel	31.03.2021	8	5			29											42
Hackpüffel	28.04.2022	6	7			20		1									34
Bösenrode	07.05.2020	1	5														6
Bösenrode	30.03.2021		14				2										16
Bösenrode	28.04.2022		47				1				2						50
Grillenbergl	06.05.2020	5	28							4							37
Grillenbergl	30.03.2021	10	13														23
Grillenbergl	28.04.2022	6	12														18

Die in der Norddeutschen Tiefebene gelegene Messstelle Klein-Chüden war, typisch für diese Stygoregion, insgesamt dünn und überwiegend mit Würmern (Oligochaeten/Wenigborster und Nematoden/Fadenwürmern) besiedelt (Tab. 3, Tab. 4) Im Jahr 2021 traten außerdem noch Kleinkrebse der Raupenhüpferlinge (*Parastenocaridae*, *Parastenocaris phyllura*) auf.

Dagegen zeichnet sich der 2020 neu hinzugekommene Waldstandort Grillenberg vor allem auch durch seine grundwassertypischen Flohkrebse (Amphipoda) und dem stygobionten Hüpferling *Diacyclops langoidoides* (Cyclopoida) aus (Tab. 3 u. 4).

5.2.2 Die Bedeutung der Landnutzung für die Besiedlung des Grundwassers

Der Fokus des Nitratmonitorings liegt in der Verknüpfung faunistischer Daten mit Landnutzung und hydrochemischen Daten. Dabei sind jedoch auch weitere, für die Fauna relevante Umweltparameter, wie z. B. die hydrogeologischen Bezugseinheiten (BZE) oder die Grundwasserkörper (GWK) zu berücksichtigen. Gerade von letzteren wird ebenfalls ein großer Einfluss auf die Fauna angenommen (s. a. Hahn et al. 2019).

Zwischen der Fauna, naturräumlichen Faktoren und der Landnutzung ergaben sich signifikante Zusammenhänge (Tab. 5). Dabei hat die Zugehörigkeit der Messstellen zu einer bestimmten Stygoregion (Norddeutsche Tiefebene oder Zentrale Mittelgebirge), deren Fauna sich sehr stark unterscheidet, die größte Bedeutung. Fast genauso stark ist der Einfluss der Landnutzung, aber auch die Effekte von Hydrologischer Bezugseinheit (BZE), Grundwasserkörper (GWK) und Grundwasserleiter (GWL) sind signifikant.

Tabelle 5: PERMANOVA: Einfluss von Stygoregion (Stygoreg/NT/ZMG), hydrogeologischer Bezugseinheit (BZE), Grundwasserkörper (GWK), Grundwasserleiter (GWL) und Landnutzung auf die Fauna des Grundwassers. Je höher der Pseudo-F- Wert und je kleiner die Fehlerwahrscheinlichkeit p desto stärker der Einfluss des untersuchten Faktors.

Faktor	n	Pseudo-F	Signifikanz p
Stygoreg NT/ZMG	45	3,2967	0,0008*
BZE	42	2,4581	0,0001*
GWK	42	2,4475	0,0002*
GWL	42	2,1228	0,0449*
Landnutzung	42	3,1163	0,0002*

Die Zuordnung einer beliebigen Probe anhand seiner Besiedlung zu einer bestimmten Landnutzung (Tab. 6) war vor allem für die Waldstandorte (83 %) und die Ackerlandstandorte (70 %) möglich. Dagegen wurde die Hälfte der Proben aus dem Siedlungsbereich durch die Software den Ackerlandstandorten zugeordnet. Dies dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, dass eine Reihe von Messstellen am Ortsrand, also an der Grenze zu landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen, so dass eine eindeutige Zuordnung kaum möglich ist (z.B. Roßla und Bennungen).

Tabelle 6: CAP, Berechnung der Zuordnung der Proben zur jeweiligen Art der Landnutzung anhand der Fauna, n=42

Faktor: Landnutzung	Classified				Total	%correct
	Ackerland	Wald / Gehölze	Siedlung / Verkehrsfläche			
Orig. group						
Ackerland	21	3	6	30	70	
Wald / Gehölze	1	5	0	6	83,333	
Siedlung / Verkehrsfläche	3	0	3	6	50	

Signifikante, exklusive Indikatorarten für Wald/Gehölze und Siedlung/Verkehrsfläche wurden nicht gefunden (SIMPER-Analyse, nicht dargestellt). Dagegen lassen sich die beiden UBA Bewertungen („gut“, „nicht-gut“) faunistisch unterscheiden (PERMANOVA $p=0,0328$ pseudo-F =2,0896), was aber auch methodisch bedingt ist. Laut SIMPER-Analyse sind typische Arten in als gut bewertete Messstellen auch typische Grundwasserarten (*N. nollii*, *D. langoidoides*, *D. languidus*, *C. subterraneus* mit insgesamt 91%). In als nicht-gut bewerteten Messstellen war *T. beraneckii* typisch (100%).

Anhand einer nicht-parametrischen Regressionsanalyse, der DISTLM, wurden nur Kalium und DOC als relevante Parameter ermittelt (Tab. 7). Dabei dürfte das Kalium in den festgestellten Konzentrationen vor allem für die Landnutzung, in geringerem Maße auch für die naturräumliche Situation stehen, während der DOC die Nahrungsverfügbarkeit widerspiegelt. Dabei erklären die berücksichtigten Parameter nur 49 % der Varianz. Anders als in den Auswertungen früherer Jahre ließ sich kein signifikanter Einfluss des Nitrats auf die Gemeinschaften feststellen. Allerdings ist Nitrat positiv mit der Kaliumkonzentration korreliert (s. unten).

Tabelle 7: DISTLM-Analyse: DISTLM, Einfluss verschiedener Umweltparameter auf die Fauna des Grundwassers. Je höher der Pseudo-F-Wert und je kleiner die Fehlerwahrscheinlichkeit p desto stärker der Einfluss des untersuchten Faktors. Die signifikanten Parameter sind fett gedruckt. n = 42

Variable	R ²	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.	res.df
Detritus	3,69E-02	3000,3	1,3802	0,2061	3,69E-02	3,69E-02	36
T	6,08E-02	1938,1	0,88879	0,5181	2,39E-02	6,08E-02	35
pH	8,83E-02	2233,3	1,0249	0,438	2,75E-02	8,83E-02	34
Lf	0,11587	2244,1	1,0308	0,4087	2,76E-02	0,11587	33
O2	0,14644	2483,9	1,146	0,3358	3,06E-02	0,14644	32
DOC	0,21016	5178,3	2,5011	0,0255*	6,37E-02	0,21016	31
NO3	0,2223	986,32	0,46822	0,8457	1,21E-02	0,2223	30
Cl	0,25406	2580,8	1,2347	0,2795	3,18E-02	0,25406	29
SO4	0,29411	3254,6	1,5887	0,1536	4,01E-02	0,29411	28
K	0,37376	6472	3,4338	0,0062*	7,96E-02	0,37376	27
Fe	0,41982	3743,5	2,0645	0,0666	4,61E-02	0,41982	26
Mn	0,45688	3011,2	1,7057	0,1399	3,71E-02	0,45688	25
Zn	0,49376	2996,8	1,7484	0,1194	3,69E-02	0,49376	24

Eine Spearman-Rangkorrelationsanalyse lieferte grundsätzlich ähnliche Ergebnisse wie die DISTLM (s. oben), mit signifikanten Korrelationen zwischen den Nahrungsparametern Detritus und DOC und der Fauna (Detritus: Tierzahl $p=0,001$, $r=0,478$, $n=45$, Taxazahl $p=0,033$, $r=0,319$, DOC: Anteil Crustacea $p=0,035$, $r= - 0,331$; Anteil Oligochaeta $p=0,035$, $r=0,331$).

Nitrat und andere Stickstoffparameter korrelieren im aktuellen Datensatz nicht mit der Fauna ($p > 0,05$, $n = 45$), jedoch signifikant mit Kalium (Spearman-Test: $p<0,001$, $r = 0,582$, $n = 45$). Zwischen Kalium und der Shannon-Wiener-Diversität wurden signifikant negative Korrelationen gefunden ($p=0,016$, $r= - 0,357$) sowie zwischen der Taxazahl ($p=0,038$, $r= - 0,310$) Diese Befunde in Zusammenhang mit der Landnutzung, die häufig auch mit dem Eintrag von Oberflächenwasser ins Grundwasser einhergeht, spiegeln sich auch in der Darstellungsweise als Boxplots (s.unten, **Abb. 3** und 4) wider.

Die Ernährungs-/Belastungsparameter Koloniebildende Einheiten/KBE, DOC und Detritus sind unter Siedlung/Verkehrsflächen und den landwirtschaftlich genutzten Flächen (Ackerland und Grünland) höher als unter Wald/Gehölzen (**Abb. 3**), wobei die Unterschiede nicht signifikant sind (U-Test, $p>0,05$).

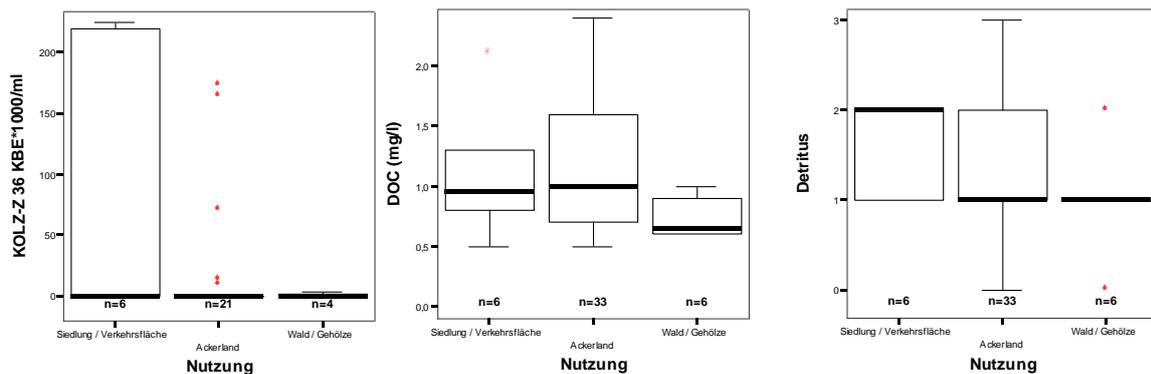


Abbildung 3: Boxplots stellen KBE (36 °C), DOC und Detritus in Abhängigkeit von der Landnutzung dar.

Die Nitrat- und Kaliumkonzentrationen sind unter Siedlung/Verkehrsflächen und unter Ackerland größer als unter Wald/Gehölzen (**Abb. 4**). Dabei korrelieren beide Ionen auch sehr stark mit der Leitfähigkeit (Spearman-Korrelation: $p < 0,001$, $r > 0,7$, $n = 45$). Dies weist darauf hin, dass die Landnutzung durch die BZE geprägt ist: In der Regel sind karbonatische Gesteine und Böden mit stärker mineralisierten Wässern fruchtbarer als silikatische. Entsprechend der intensiveren Landnutzung sind in den karbonatischen BZE die Nitratkonzentrationen im Grundwasser höher (s. a. Hahn et al. 2019).

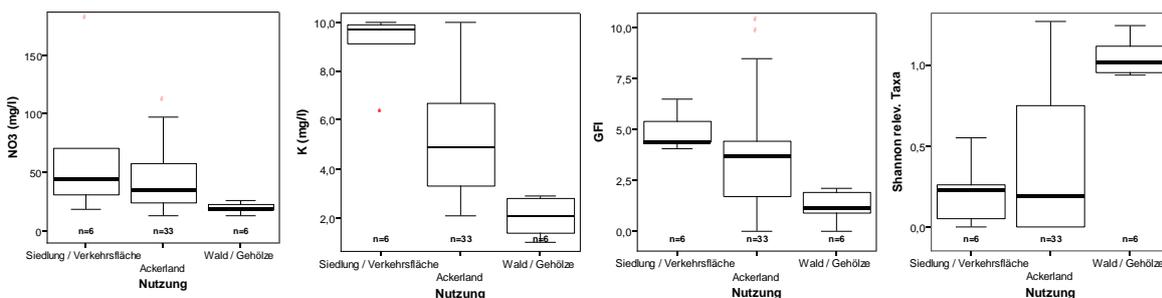


Abbildung 4: Boxplots stellen Nitrat, Kalium, GFI/Grundwasser-Fauna-Index, Shannon-Wiener-Index in Abhängigkeit von der Landnutzung dar.

Ebenso ist auch der GFI/Grundwasser-Fauna-Index, der Oberflächenwassereinfluss anzeigt, unter den intensiv genutzten Siedlungsbereichen und dem Ackerland höher als im Wald (**Abb. 4**). Anders als sein Name vermuten lässt, berechnet sich der GFI aus abiotischen Parametern. Diese sind für die Grundwasserfauna von essentieller Bedeutung, nämlich Sauerstoff, die Standardabweichung der Wassertemperatur und die Detritusmenge. Damit steht der GFI für die von oben eingetragene, bioverfügbare Energie, also vor allem auch für Nahrung in Form von organischem Material. Die Übereinstimmung mit Abbildung 3 bestätigt diesen Zusammenhang.

Genau umgekehrt verhält es sich mit Shannon-Wiener-Index (H) (**Abb. 4**), einem Diversitätsmaß, das nicht nur die Artenzahlen, sondern auch deren mengenmäßige Verteilung innerhalb der Gemeinschaft berücksichtigt. Je größer H, desto besser ist in der Regel die damit betrachtete Gemeinschaft zu bewerten. Im Falle der Messstellen des Monitorings Nitrat steigt erwartungsgemäß die Diversität der Fauna mit abnehmender

Nutzungsintensität, ist also unter Siedlung/Verkehrsflächen und Ackerland am niedrigsten und unter Wald/Gehölzen am höchsten.

In der Tat spiegeln diese Befunde die Intensität der Landnutzung wider und decken sich mit dem Bericht von Hahn *et al.* (2019). Im Gegensatz zu 2019 beruhen die aktuellen Ergebnisse aber auf deutlich geringeren Stichprobenzahlen.

5.2.3 Biologische Bewertung

In den vergangenen Jahren wurden mehrere Indices zur ökologischen Bewertung des Grundwassers entwickelt.

Der einfachste davon ist die Bewertung nach dem Verfahren des Umweltbundesamtes/UBA (Griebler *et al.* 2014), die nur zwischen „+ gut“ und „- nicht gut“ unterscheidet. Ein wichtiges Kriterium dabei ist der Anteil der Wenigborster (Oligochäten) in den Proben. Deshalb lässt sich das UBA-Verfahren nur sehr eingeschränkt auf die Norddeutsche Tiefebene, wo Oligochäten natürlicherweise typisch für die Grundwasserfauna sind, anwenden.

Entsprechend wird auch die im Quartären Nordraum gelegene Messstelle *Klein Chüden-Güte* an allen drei Probennahmeterminen faunistisch als „- nicht gut“ eingestuft (**Tab. 8**). Die Messstelle liegt darüber hinaus aber auch in einer ackerbaulich genutzten Region, die OBELIX-Klassen 2-3 weisen auf einen mittleren bis deutlichen Oberflächeneinfluss hin.

Tabelle 8: Bewertung der Einzelproben: MST = Messstelle. Grün: Schwacher Oberflächeneinfluss, Gelb: Mittlerer Oberflächeneinfluss, orange: deutlicher Oberflächeneinfluss.

MST	Datum	Landnutzung	Besiedelt?	Anteil Stygobionte Individuen (%)	Bewertung			
					UBA-Bewertung	GFI-Klasse	OBELIX-Klasse (Großgr.)	OBELIX-Klasse (Artn.)
Klein Chüden-Güte	05.05.2020	Ackerland	ja	100	- nicht gut	0,0	3,5	3,5
Klein Chüden-Güte	29.03.2021	Ackerland	ja	100	- nicht gut	2,0	2,8	1,8
Klein Chüden-Güte	29.04.2022	Ackerland	ja	100	- nicht gut	1,8	5,5	5,5
Gnölbzig 01/06	06.05.2020	Ackerland	ja	100	+ gut	3,4	1,0	1,0
Gnölbzig 01/06	28.03.2021	Ackerland	ja	100	- nicht gut	3,5	2,3	1,7
Gnölbzig 01/06	27.04.2022	Ackerland	nein		-	0,0		
Klosterrohrbach OP	06.05.2020	Ackerland	ja	100	+ gut	0,0	0,5	0,5
Klosterrohrbach OP	31.03.2021	Ackerland	ja	100	- nicht gut	0,0	2,1	1,5
Klosterrohrbach OP	28.04.2022	Ackerland	ja	100	+ gut	3,3	0,8	0,8
Lengefeld 1/98	06.05.2020	Ackerland	ja	100	+ gut	0,0	0,9	0,8
Lengefeld 1/98	30.03.2021	Ackerland	ja	100	+ gut	3,7	0,8	0,8
Lengefeld 1/98	28.04.2022	Grünland	ja	0	+ gut	4,8	1,3	2,0
Vatterode 1/96	06.05.2020	Ackerland	ja	0	+ gut	0,0	1,7	2,5
Vatterode 1/96	30.03.2021	Ackerland	ja	0	+ gut	4,1	1,7	2,5
Vatterode 1/96	28.04.2022	Ackerland	nein		-	6,4		
Roßla 1/02	06.05.2020	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	100	+ gut	3,7	1,8	1,4
Roßla 1/02	30.03.2021	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	85,71	+ gut	3,9	1,5	1,3
Roßla 1/02	28.04.2022	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	34,48	+ gut	3,9	1,6	1,8
Tromsdorf Herrngosserstedt 1/02	06.05.2020	Ackerland	ja	100	- nicht gut	1,5	2,0	1,4
Tromsdorf Herrngosserstedt 1/02	31.03.2021	Ackerland	ja	71,43	- nicht gut	1,5	1,5	1,3
Tromsdorf Herrngosserstedt 1/02	29.04.2022	Ackerland	ja	100	+ gut	1,7	1,3	1,0
Haselbach 2/02 (Ufrungen)	07.05.2020	Wald / Gehölze	ja	100	+ gut	0,0	1,4	1,3
Haselbach 2/02 (Ufrungen)	30.03.2021	Wald / Gehölze	ja	100	- nicht gut	2,1	2,3	1,8
Haselbach 2/02 (Ufrungen)	28.04.2022	Wald / Gehölze	ja	100	+ gut	1,9	1,1	0,9
Thürungen 6680	07.05.2020	Ackerland	ja	98,11	+ gut	3,1	1,8	1,4
Thürungen 6680	30.03.2021	Ackerland	ja	100	+ gut	5,1	0,5	0,5
Thürungen 6680	28.04.2022	Ackerland	nein		-	4,4		
Uni MSH 2/11-Thürungen	07.05.2020	Ackerland	ja	90,91	- nicht gut	3,8	3,1	1,8
Uni MSH 2/11-Thürungen	30.03.2021	Ackerland	ja	81,82	+ gut	4,0	1,5	1,3
Uni MSH 2/11-Thürungen	28.04.2022	Ackerland	ja	100	+ gut	3,8	1,3	0,9
Tilleda 1/02	06.05.2020	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	0	+ gut	4,0	2,2	3,3
Tilleda 1/02	31.03.2021	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	2,56	+ gut	5,4	2,5	3,5
Tilleda 1/02	28.04.2022	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	16,13	+ gut	4,4	1,8	2,4
Bennungen NB2016	07.05.2020	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	5,56	+ gut	4,4	2,0	2,7
Bennungen NB2016	30.03.2021	Siedlung / Verkehrsfläche	ja	7,14	+ gut	6,5	1,4	1,9
Bennungen NB2016	28.04.2022	Siedlung / Verkehrsfläche	nein		-	4,4		
Hackpüffel	06.05.2020	Ackerland	ja	100	+ gut	10,3	1,3	1,2
Hackpüffel	31.03.2021	Ackerland	ja	100	+ gut	9,8	1,3	1,2
Hackpüffel	28.04.2022	Ackerland	ja	83,87	+ gut	8,5	1,4	1,4
Bösenrode	07.05.2020	Ackerland	ja	25	+ gut	3,3	1,0	1,2
Bösenrode	30.03.2021	Ackerland	ja	7,14	+ gut	4,9	1,7	2,3
Bösenrode	28.04.2022	Ackerland	ja	0	+ gut	7,0	2,0	2,9
Grillenberg	06.05.2020	Wald / Gehölze	ja	28,57	+ gut	0,9	1,7	2,0
Grillenberg	30.03.2021	Wald / Gehölze	ja	100	+ gut	0,9	1,2	1,0
Grillenberg	28.04.2022	Wald / Gehölze	ja	100	+ gut	1,3	1,2	1,0

Seit 2020 wurden noch an fünf weiteren Standorten sechs Proben (von insgesamt 45) ebenfalls als „- nicht gut“ bewertet. Alle betroffenen Standorte sind zwar durch eine typische Grundwasserfauna geprägt, jedoch sind sie dünn besiedelt und es überwiegen die Anteile der Wenigborsterwürmer (Oligochaeta). Alle anderen besiedelten Messstellen wurden als „+ gut“ bewertet. Dieses Ergebnis spricht für eine grundsätzlich gelungene Standortauswahl.

Der OBELIX, der die Zusammensetzung der Tiergemeinschaften im Zusammenhang mit Oberflächeneinfluss abbildet, weist in Klein-Chüden auf einen deutlichen Einfluss hin (**Tab. 8**). Ebenso ist an den landwirtschaftlich genutzten Standorte Vatterode, Thürungen, Bösenrode und sowie die im Siedlungsbereich gelegenen Standorte Roßla, Bennungen und Tilleda zumindest zeitweise ein mittlerer bis starker Oberflächeneinfluss erkennbar. Die Tiergemeinschaft der Waldstandorte Haselbach und Grillenberg war dagegen grundwassertypischer.

Der Grundwasser-Fauna-Index gibt die Stärke des Oberflächeneinflusses auf das untersuchte Grundwasser an. Demnach wurde der stärkste Oberflächenwassereinfluss in

Hackpüffel festgestellt. In Hackpüffel wurde viel Detritus festgestellt, der im GFI berechnet wird. Faunistisch weisen die zahlreichen Funde von Muschelkrebsen auf einen Zustrom von Oberflächenwasser hin. Die gute Bewertung anhand der UBA-Methode resultiert aus dem hohen Anteil von Krebstieren und dem Fehlen von Oligochäten.

Für die meisten Standorte wird nach dem GFI, ein mittlerer Oberflächeneinfluss angezeigt, an vier Standorten auch ein schwacher und nur in Hackpüffel auch ein deutlicher Oberflächeneinfluss. Dieses Muster deckt sich nach Erfahrung der Bearbeiter mit den üblichen Verhältnissen in anderen Gebieten und spricht ebenfalls für eine repräsentative Auswahl der Untersuchungsstandorte.

5.2.4 Schwellenwertanalyse Nitrat

Das Softwarepaket TITAN erlaubt die Ermittlung von Indikatorarten und deren Präferenzen entlang von Umweltgradienten und Schwellenwerten für Lebensgemeinschaften. Dazu wurden alle Faunadaten seit 2008 verwendet, sofern Nitratwerte verfügbar waren, die Proben nicht verockert waren und Sauerstoffkonzentrationen > 1 mg/l aufwiesen. Berücksichtigt wurden nur Proben aus der Stygoregion „Zentrale Mittelgebirge“. Proben aus der Norddeutschen Tiefebene wurden von der Analyse ausgeschlossen. Insgesamt flossen 195 Datensätze in die Analyse mit ein (Abb. 5).

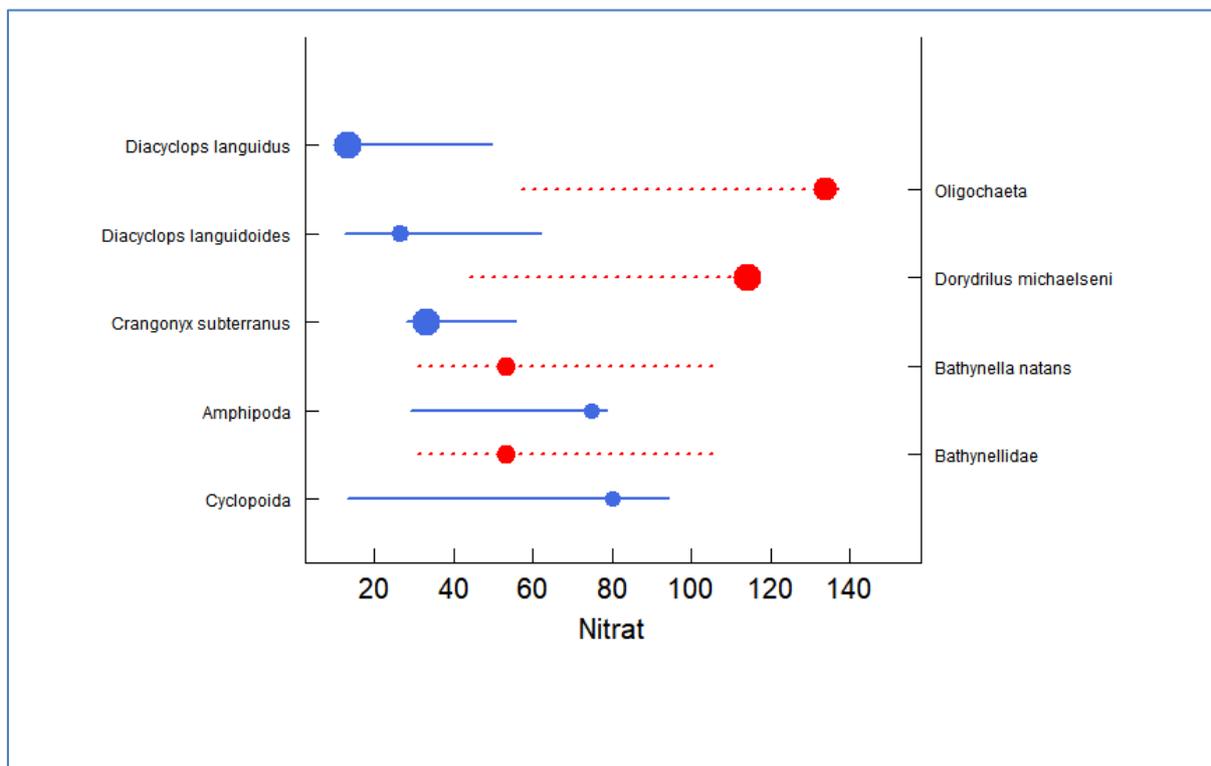


Abbildung 5: Umschlagspunktanalyse der Indikatorarten: Alle Arten, die negativ (blau) auf erhöhte Nitratkonzentrationen reagieren, besitzen Umschlagspunkte unterhalb von 80 mg/l. Nur zwei Arten und zwei höhere Taxa sind nitratolerant (rot). Punkte markieren Umschlagspunkte, durchgezogene/ gestrichelte Linien geben das 95% Konfidenzintervall an. n = 195.

TITAN ermöglicht es, Indikatorarten und –taxa für die ausgewählten Umweltparmeter auf unterschiedlichen Signifikanzniveaus zu indentifizieren. Danach reagieren die Hüpferlinge (Cyclopoida) *Diacyclops languidoides* und *Diacyclops languidus* sowie der Höhlenflohkrebs (Amphipoda) *Crangonyx subterranea* empfindlich auf Nitrat, ebenso die zugehörigen Großgruppen Amphipoda und Cyclopoida (Abb. 5): Dabei liegen die Umschlagpunkte der genannten Arten deutlich unter 40 mg/l, für die der Großgruppen unterhalb von 80 mg/l. Eine breite ökologische Spanne gegenüber Nitrat zeigen die Brunnenkrebse.

Sehr tolerant gegenüber Nitrat verhalten sich die Oligochäten (Wenigborsterwürmer) und der zur gleichen Gruppe gehörige *Dorydrilus michaelsoni*. Damit bestätigt sich die bisherige Erfahrung, dass Oligochäten gute Störungsanzeiger für beeinträchtigte Grundwässer sind.

Während Abbildung 5 einzelne Indikatorarten dartellt, zeigt Abbildung 6 die Veränderung der gesamten Gemeinschaften entlang des Nitratgradienten, bzw. den Schwellenwert, bei dem die Gemeinschaften kippen. Die blauen und roten Punkte zeigen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens nitratempfindlicher bzw. –toleranter Taxa. Die Linien stehen für die Gemeinschaften. Wo der Verlauf der blauen Linie am steilsten ist, zwischen 30 und 60 mg/l Nitrat, verändern sich die Gemeinschaften am stärksten und die nitratoleranten Taxa ersetzen die sensiblen.

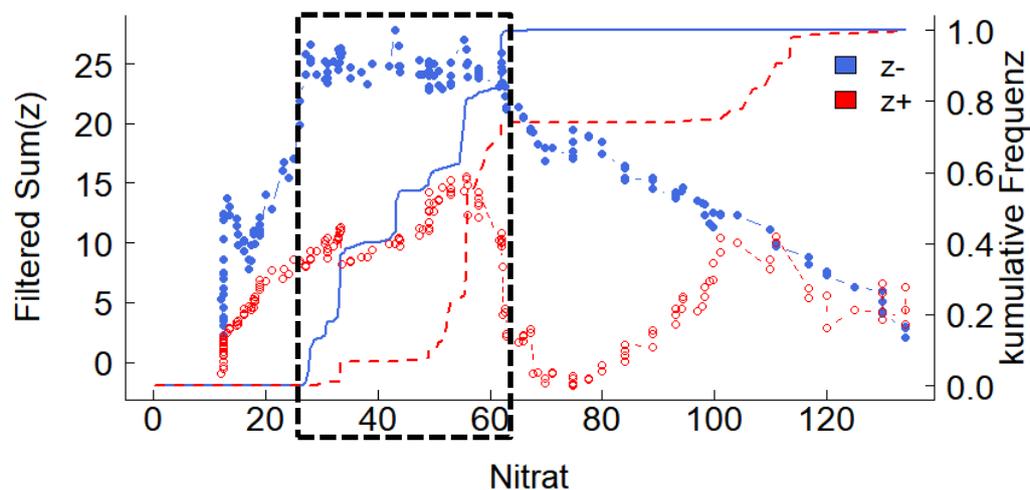


Abbildung 6: Exemplarische Ergebnisse (TITAN) für die Identifikation von ökologisch begründeten Nitratschwellenwerten der Grundwassergemeinschaften in Sachsen-Anhalt. Es gibt sensitive Indikatorarten, die negativ (blau) auf erhöhte Nitratkonzentrationen reagieren und Arten, die erhöhte Nitratkonzentrationen tolerieren (rot). Das schwarze, gestrichelte Rechteck markiert den Bereich, in dem der Schwellenwert (30 - 60 mg/l) für Nitrat liegt, ab dem sensitive Arten zurückgehen. n = 195

Da nicht nur Arten, sondern auch Großgruppen wie die Oligochäten, Amphipden, Cyclopoiden und Bathynelliden mit in die Analyse mit eingingen, lässt sich ein exakter Schwellenwert nicht ermitteln. Der Schwellenwert für die Gemeinschaften liegt zwischen 30 und 60 mg/l Nitrat. Würden mehr Datensätze und mehr Arten bei der Analyse berücksichtigt, ließe sich der Schwellenwert für Nitrat mit hoher Wahrscheinlichkeit genauer definieren.

Nach wie vor stellt sich allerdings die Frage, ob sich die beobachteten Kippunkte tatsächlich ursächlich auf das Nitrat zurückführen lassen, oder ob dahinter ein landnutzungsabhängiges Bündel unterschiedlicher Parameter steckt, wie organisches Material, Pestizide und Düngemittel. Darauf zumindest weisen auch die Zusammenhänge zwischen Kalium, Nitrat und Fauna hin (s. Kap. 5.2.2). Für Kalium liefert die TITAN-Analyse einen faunistischen Schwellenwert von etwa 5 mg/l (nicht dargestellt), was sehr gut mit der von Hölting (1996) genannten Grenze zu belastetem Grundwasser übereinstimmt.

6 Wissenschaftliche und praktische Anschlussfähigkeit

Das Biomonitoring Nitrat ist seit 2021 auch Anknüpfungspunkt für das fächerübergreifende Nachwuchsforschungsvorhaben, REGULATE („Regulation von Grundwasser in telegekoppelten sozial-ökologischen Systemen“), das sich mit der nachhaltigen Bewirtschaftung von Grundwasser vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie befasst. Weitere Informationen finden sich unter: <http://www.regulate-project.eu>.

Die Nachwuchsforschungsgruppe untersucht aktuelle Herausforderungen im Management von Grundwasser in Europa (Abb. 7) vor dem Hintergrund akuter Trockenheit, qualitativer Belastungen, zunehmender Konflikte und komplexer institutioneller Rahmenbedingungen. Das Team aus Wissenschaftler*innen der Natur- und Sozialwissenschaften erarbeitet Lösungsstrategien für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Grundwasser auf unterschiedlichen Governance-Ebenen.

D

Forschungsfragen

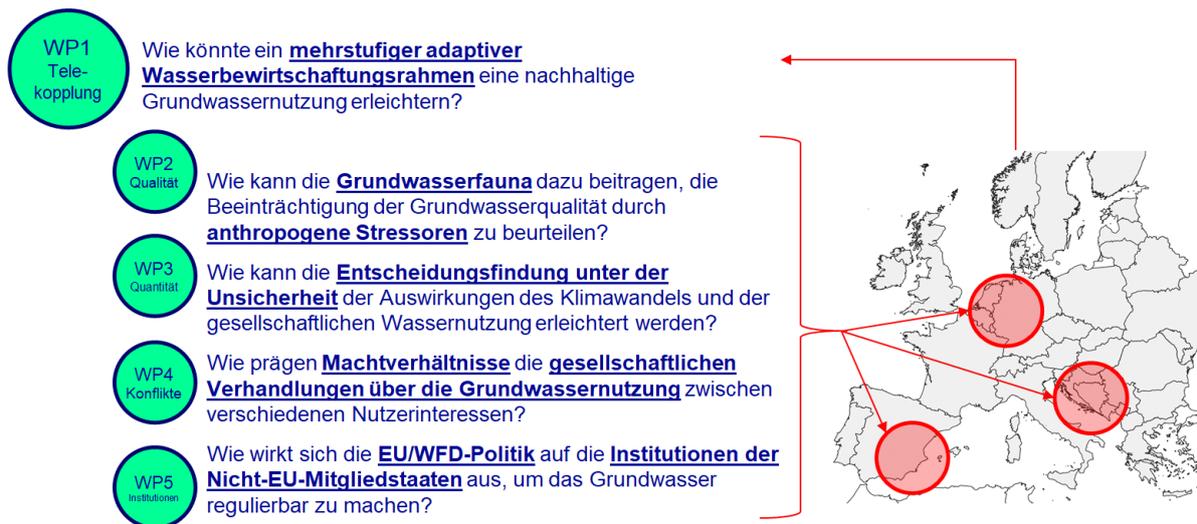


Abbildung 7: Das Projekt REGULATE, Forschungsfragen und Projektstandorte

Von vier Projektstandorten, davon zwei in Deutschland, wurde der Bereich Mansfeld-Südharz, wo es zahlreiche divergierende Interessen bezüglich des Wassers gibt, als zentrale Fallstudie ausgewählt. Hier organisiert das Projekt einen transdisziplinären Prozess, anhand dessen alle Projektmitglieder gemeinsam mit Praxisakteuren an der Entwicklung eines Leitbildes für nachhaltiges Grundwassermanagement in der Region arbeiten. Dazu wurden

bereits drei von fünf mit den Akteuren geplante Treffen abgehalten, die auf großes Interesse stießen.

Ein Arbeitspaket des Projektes (WP 2 „Qualität“) zielt darauf ab, ökologische Indikatoren zu identifizieren, um die Qualität von Grundwasserökosystemen bewerten zu können. Dies geschieht durch die Untersuchung der Artengemeinschaften von Grundwasserökosystemen in mehreren Fallstudien. Hier knüpft REGULATE auch direkt an das Biomonitoring Nitrat in der Region „Goldene Aue“ an. Dort wurden an 11 der 15 Biomonitoring-Standorte zusätzliche Beprobungen durchgeführt, die dabei gesammelten Tiere jedoch noch nicht bestimmt. Die Projektdaten stehen dem Biomonitoring Nitrat zur Verfügung.

Weiterhin ist geplant, im Rahmen von REGULATE einen deutschlandweiten, umfangreichen Datensatz mittels einer faunistischen Schwellenwertanalyse (s. Abb. 5 und 6) bezüglich Nitrat und anderer Belastungsparameter zu testen. Nach den Ergebnissen der hier vorgestellten Schwellenwertanalysen ist mit der Identifikation weiterer Indikatorarten und möglicherweise eines faunistischen Bewertungsansatzes zu rechnen.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen des Biomonitorings Nitrat 2021 wurde geprüft, inwieweit Zusammenhänge zwischen dem Auftreten der Grundwasserfauna, der Landnutzung und der Hydrochemie, speziell Belastungsparametern wie Nitrat, bestehen. Dazu wurden 15 Grundwassermessstellen faunistisch und, zeitlich davon etwas abweichend, hydrochemisch beprobt. Die Mehrheit dieser Messstellen liegt in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten, 2 im Wald und 3 in Siedlungen.

Die meisten hydrochemischen Befunde der Jahre 2021 und 2022 sind unauffällig. Unter Siedlung/Verkehrsflächen und unter Ackerland und Grünland sind die Nitratkonzentrationen größer als unter Wald/Gehölzen. In den Untersuchungsjahren lagen die Konzentrationen bei 9 Standorten < 50 mg/l, die übrigen 6 Messstellen erreichten maximal 180 mg/l.

Alle 15 untersuchten Messstellen waren durch vielzellige Tiere besiedelt. Insgesamt wurden 2022 313 Tiere aus 22 Taxa gesammelt. Als besonders artenreich erwiesen sich 2021 die Messstellen Roßla 1/02 und Haselbach 2/02. Im Zuge der dreimaligen Beprobung der 15 GWM im Zeitraum 2020 bis 2022 wurden insgesamt 1038 Tiere aus 28 Taxa gesammelt.

Nach dem UBA-Verfahren wurden 11 Messstellen als „+ gut“ bewertet. Vier weitere Messstellen wurden als „- nicht gut“ (Klein Chüden, Klosterrohrbach, Gnölbzig, Haselbach) bewertet. Nach dem GFI wird für die meisten Standorte ein mittlerer Oberflächeneinfluss angezeigt, in vier Messstellen wurde ein schwacher und in einer Messstelle (Hackpfüffel) ein deutlicher Oberflächeneinfluss festgestellt. Dies scheint den natürlichen Verhältnissen zu entsprechen und weist, wie die Befunde nach UBA, auf eine repräsentative Auswahl der Untersuchungsstandorte hin.

Wie bereits bei früheren Auswertungen war die Landnutzung der stärkste die Fauna prägende Faktor, und es ergaben sich deutliche, jedoch für die Untersuchungen 2021 und 2022 nicht signifikante Unterschiede in der Besiedlung, abhängig von der Landnutzung. Die Ernährungs- und Belastungsparameter KBE und DOC, die Nitrat- und

Kaliumkonzentrationen und der GFI waren unter Siedlung/Verkehrsflächen und unter Ackerland und Grünland größer als unter Wald/Gehölzen. Bei der Shannon-Wiener-Diversität verhielt es sich erwartungsgemäß umgekehrt.

Anders als bei den vorangegangenen Untersuchungen erwies sich diesmal nicht Nitrat als der prägende Parameter, sondern Kalium. Beide Substanzen korrelierten jedoch miteinander, wie auch mit den Faunadaten. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Tiere weniger auf einzelne Parameter, sondern auf die Intensität der Landnutzung und damit auf die Summe der damit verbundenen Stressoren reagieren.

Die faunistische TITAN-Schwellenwertanalyse ergab für Nitrat Gemeinschaftsschwellenwerte zwischen 30 und 60 mg/l und für Kalium 5 mg/l und Kippunkte für einzelne Taxa. In Verbindung mit dem Projekt REGULATE wird angestrebt, auf dieser Grundlage ein faunistisches Bewertungssystem zu entwickeln. Ebenfalls als Ergebnis von REGULATE ist für die Region die Entwicklung eines Leitbildes für nachhaltiges Grundwassermanagement vorgesehen.

Die Anwendungsrelevanz der ökologischen Grundwasserforschung und des Monitorings wird zunehmend deutlicher und hat in den vergangenen Jahren zu einer Vielzahl von Forschungsinitiativen aber auch konkreten Anwendungen geführt.

8 Literaturverzeichnis

- BAKER M. E. & KING R. S. (2010): A new method for detecting and interpreting biodiversity and ecological community thresholds. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 25-37.
- CLARKE K. R. & GORLEY R. N. (2006): PRIMER. (Version 6): user manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth UK.
- CLARKE K. R. & WARWICK R. M. (2001): Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 1st edition. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK. 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- GRIEBLER, C., STEIN, H., KELLERMANN, C., STEUBE, C., BERKHOFF, S. FUCHS, A., BRIELMANN, H. & HAHN, H. J. (2014): Entwicklung biologischer Bewertungsmethoden und -kriterien für Grundwasserökosysteme. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFO-Plan FKZ 3708 23 200, Umweltbundesamt Dessau, ISSN 1862-4804, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-biologischer-bewertungsmethoden>.
- HAHN, H. J., FUCHS, A. & BERKHOFF, S. (2019): Biomonitoring Nitrat 2018/2019 in Sachsen-Anhalt. Biologisches Monitoring seit 2008 mit Schwerpunkt auf den Untersuchungen 2018 und 2019 zum Biomonitoring Nitrat – Untersuchung im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt; Vergabenummer 118/S/0041/HAL.
- HIESTER U., JUNGK, V., CANZLER, W., POETKE, D. & ULRICH, K.-U. (2022): Umweltverträgliche Nutzung geothermischer Wärmespeicher - Ermittlung und Bewertung thermischer Veränderungen im Grundwasser. – UBA-Texte 113/2022, Umweltbundesamt, Berlin, 255 S.
- HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie. Stuttgart.
- HÜTTER, L. (1994): Wasser und Wasseruntersuchung. – 6. Auflage, Salle + Sauerländer, Frankfurt und Salzburg
- JANSSEN J. & LAATZ W. (2007): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem Version 8 und das Modul Exakte Tests. 6. Aufl. Springer.S. 694.
- 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.
- UNTERSTEINER H. (2007): Statistik - Datenauswertung mit Excel und SPSS Für Naturwissenschaftler und Mediziner. 1. Auflage. Stuttgart. S. 192.

**9 Anhang 1 Steckbriefe der Messstellen des Grundwasser-
Biomonitorings Nitrat**