

Dezernat Hydrogeologie, Grundwasser

Ermittlung von Nährstoffausträgen aus Drainagen



Britta Schmalz (Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
Technische Universität Darmstadt) & Michael Zacharias



🌊 Bisher wurde in Modellberechnungen zu Nährstoffeinträgen aus Drainagen in Fließgewässer von einer eher untergeordneten Rolle ausgegangen. Erste Ergebnisse zeigen aber, dass bei zahlreichen Analysen von Drainagewässern Nitratkonzentrationen mit mehr als 50 mg/l festgestellt wurden. Die Orientierungswerte für Ortho-Phosphat und Ammonium werden bei den untersuchten Oberflächengewässern an den meisten Messterminen ebenfalls überschritten.



Über 1 Mio. t

Stickstoff aus der Landwirtschaft werden jährlich seit 1995 in die Umwelt eingetragen (Umweltbundesamt, 2021).

Motivation und Fragestellung

Die Grund- und Oberflächengewässer in Hessen weisen bei einer landwirtschaftlichen Flächennutzung im Einzugsgebiet überwiegend hohe Nährstoffbelastungen auf. Im aktuellen hessischen Bewirtschaftungsplan (HMUKLV, 2021) sind insgesamt 29 Grundwasserkörper (GWK) in einem schlechten chemischen Zustand (Abb. 1). Dabei sind die Einstufungen von 23 GWK auf Schwellenwertüberschreitungen von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Phosphat zurückzuführen. Die Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in das Grundwasser belaufen sich in Hessen auf rund 12 000 t im Jahr. Insgesamt sind ca. 89 Prozent der Nitratbelastungen der hessischen Grundwässer durch landwirtschaftliche Flächennutzung verursacht (BACH et al., 2021).

Mit der Novellierung der Düngeverordnung (DüV, 2020) müssen in Hessen mindestens alle vier Jahre eutrophierte und mit Nitrat belastete Gebiete abgegrenzt sowie die Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Gewässer bewertet werden. Die methodische Vorgehensweise für die Ausweisung dieser Gebiete ist bundesweit einheitlich in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV GeA, 2022) vorgeschrieben. Eine wichtige Grundlage für die Gebietsausweisung ist die Quantifizierung landwirtschaftlicher Nährstoffeinträge in Grundwässer und Oberflächengewässer.

Modellhaft werden hierfür mit dem Modellverbund AGRUM-DE u. a. die Einflüsse über landwirtschaftliche Drainagen berechnet (ZINNBAUER et al., 2023). Bisher gab es in Hessen keine Möglichkeit, diese Modellergebnisse mit realen Daten zu validieren und zu vergleichen. Dieses Defizit beeinträchtigt die Akzeptanz insbesondere bei den landwirtschaftlichen Flächennutzern in Bezug auf die Umsetzung der Hessischen Ausführungsverordnung der Düngeverordnung (AV DüV, 2022).

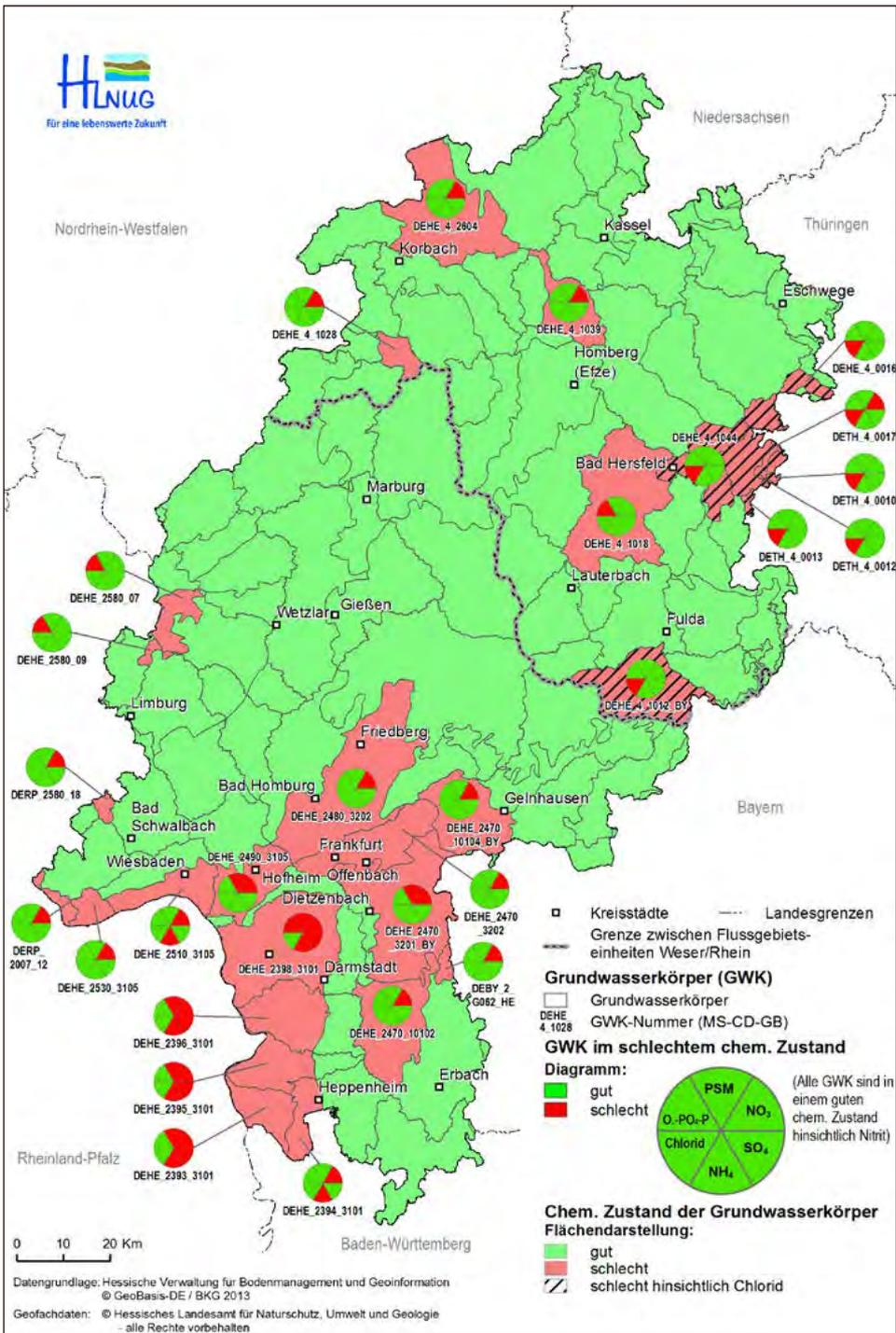


Abb. 1: Chemischer Zustand der hessischen Grundwasserkörper nach der aktuellen Bewertung im Rahmen des Bewirtschaftungsplans (2021–2027) zur Umsetzung der Wasser-rahmenrichtlinie



Grenzwert von Nitrat:

Der Grenzwert für Nitrat von 50 mg Nitrat je Liter ist nicht für eine lebenslange Exposition berechnet, sondern für eine akute Exposition von in diesem Fall besonders empfindlichen Säuglingen. Ein weniger saures Magenmilieu kann zur Reduktion des Nitrates zu Nitrit führen und dadurch die Sauerstoffaufnahme reduzieren.

Zusätzlich ist Deutschland im Zusammenhang mit dem Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland wegen unzureichender bzw. Nicht-Umsetzung der Nitratrichtlinie (Urteil des EuGHs vom 21.06.2018) verpflichtet, die Wirkungen der Aktionsprogramme (DüV) auf die Eutrophierung der Oberflächengewässer und der Nitratbelastung in den Grundwässern zu belegen und gegebenenfalls nachzusteuern, falls diese keine positive Entwicklung erkennen lassen.



AGRUM-DE:

AGRUM-DE ist ein deutschlandweiter Modellverbund, mit dem Analysen zur Wasserhaushalts-, Stoffaustrags- und Nährstoffmodellierung von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der WRRL in Deutschland durchgeführt werden können.

Die unmittelbaren Wirkzusammenhänge zwischen ergriffenen landwirtschaftlichen Flächenbewirtschaftungsmaßnahmen und Veränderungen in der Beschaffenheit der Gewässer sind nur schwer nachvollziehbar. Vor allem stellt sich die Frage des zeitlichen Wirkversatzes der ergriffenen Maßnahmen und der Entwicklung der chemischen Beschaffenheit der Grundwässer und Oberflächengewässer. Hierfür bedarf es hilfsweise modelltechnischer Ansätze (u. a. den Modellverbund AGRUM-DE), die vor allem kleinräumig noch sehr ungenaue und teilweise unzureichende Ergebnisse liefern. Dies liegt hauptsächlich an der geringen Auflösung qualitativ hochwertiger Daten für einzelne Eintragspfade wie den Drainagen. Deshalb müssen vor allem kleinere Einzugsgebiete näher betrachtet werden, um Rückschlüsse auf flächenhafte Nährstoffausträge ziehen zu können.

Vor diesem Hintergrund sollen über das Kooperationsprojekt „Ermittlung von Nährstoffausträgen aus Drainagen eines Einzugsgebietes mit landwirtschaftlicher Nutzung zur Validierung der Modellansätze von AGRUM-DE“ (01.10.2021 bis 31.12.2024) zwischen der Technischen Universität Darmstadt (TU Darmstadt) und dem HLNUG diese Erkenntnislücken durch mehrjährige Messungen an landwirtschaftlichen Drainagen geschlossen werden. Hierbei untersucht die TU Darmstadt ein Einzugsgebiet hinsichtlich der diffusen Nährstoffausträge über Drainagen auf relevante Parameter (Stickstoff- und Phosphorverbindungen). Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen als Nährstofffrachten quantifiziert und qualitativ im Zusammenhang mit den Orientierungswerten bzw. Schwellenwerten für die Oberflächengewässer- (OGewV, 2020) und Grundwasserverordnung (GrwV, 2022) bewertet werden. Aufgrund der jahreszeitlichen Schwankungen der Abfluss- und Sickerwasserraten und auch der zeitlich im Jahresverlauf variierenden landwirtschaftlichen Flächenbewirtschaftungen erfolgen die Untersuchungen des Einzugsgebietes über mehrere Jahre. Nur so können statistisch abgesicherte Ergebnisse für die Modellplausibilisierung, -kalibrierung und -validierung verwendet werden.

Methoden

Untersuchungsgebiet

Das im Rahmen des Kooperationsprojektes ausgewählte Untersuchungsgebiet liegt nördlich von Richen, einem Stadtteil von Groß-Umstadt im südhessischen Landkreis Darmstadt-Dieburg. Die landwirtschaftlich genutzten Flächen sind zum Teil drainiert und entwässern in die Fließgewässer Amorbach, Richerbach und Röderbach. Die verschiedenen Zuflüsse des Richerbaches sowie der Amorbach fließen Richtung Norden

und münden nach ihrem Zusammenfluss als Ohlebach bei Babenhause in die Gersprenz (Abb. 2).

Für die Beantwortung der Fragestellung im Kooperationsprojekt ist ein geeignetes Gebiet erforderlich. Das Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb) der Technischen Universität Darmstadt betreibt seit 2016 ein hydrologisches Feldlabor im Gersprenz-Einzugsgebiet (Abb. 2) und seinem Fischbach-Teileinzugsgebiet.

Hydrologische Feldlabore werden eingerichtet und genutzt, um das Verständnis hydrologischer Prozesse zu erweitern, Modelle anzuwenden, zu entwickeln und in Bezug auf Sensitivitäten und Unsicherheiten zu testen sowie die Auswirkung von Klima- und Landnutzungswandel, Landmanagement und Wasserbewirtschaftung abzubilden (SCHMALZ et al., 2015). In diesen kleinen hydrologischen Untersuchungsgebieten finden langjährig angelegte intensive Datenerfassungs- und Forschungsaktivitäten statt.

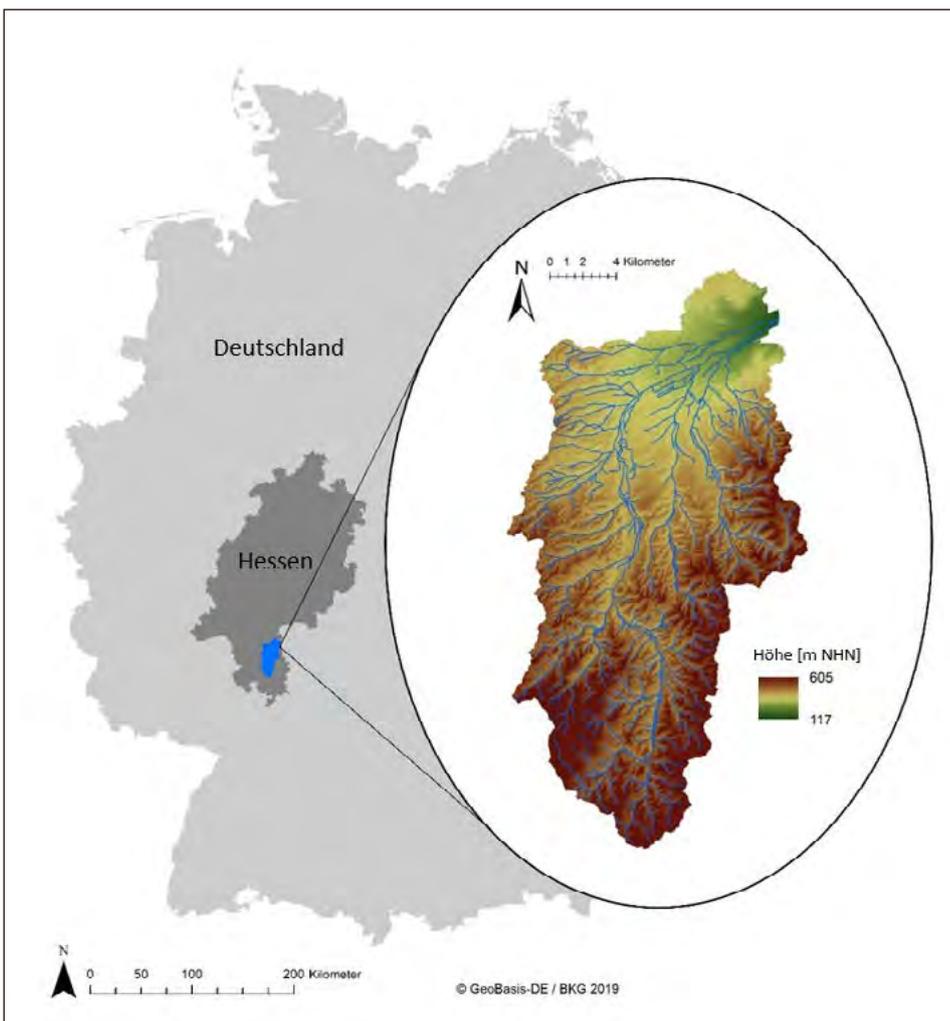


Abb. 2: Lage des Gersprenz-Einzugsgebiets (Abb. nach GROSSER & SCHMALZ, 2023)

So werden auch im ihwb-Feldlabor der Gersprenz zusätzlich zu den schon vorhandenen langjährigen Landesdaten weitere hochaufgelöste Messdaten und Zeitreihen erhoben (SCHMALZ & KRUSE, 2019; GROSSER et al., 2022). Es sind Sensoren installiert, die kontinuierlich Wassertemperatur, Wasserstand und elektrische Leitfähigkeit erfassen, z. T. aber auch Trübung, Sauerstoffgehalt und pH-Wert. Wöchentliche manuelle Messungen verdichten die Messdaten in ihrer räumlichen Auflösung. Zusätzlich liefert die ihwb-Wetterstation die wichtigsten Wetterparameter in hoher zeitlicher Auflösung. Ergebnisse aus hydrologischen Modellstudien im Rahmen von Dissertationen oder Bachelor- und Masterarbeiten ergänzen die Datenbasis und das Prozessverständnis und helfen bei der Beantwortung praxisrelevanter Fragestellungen (DAVID et al., 2021, 2023). Feldlabore werden außerdem für experimentelle Abschlussarbeiten, Feldpraktika und Exkursionen in der Lehre genutzt. In Fallstudien können Übungen und Messungen durchgeführt sowie Prozesse erklärt werden und erlauben so einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung der Studierenden. Auch im ausgewählten Untersuchungsgebiet, welches innerhalb des Feldlabors liegt, wurde bereits eine Bachelorarbeit (SCHULTE, 2022) erfolgreich abgeschlossen. Die gute Prozesskenntnis und Datenlage sowie bestehende Kontakte zu Akteuren und Anwohnern vor Ort sind eine sehr gut geeignete Basis für Forschungsprojekte und dieses Kooperationsprojekt.

Untersuchungsprogramm

Damit eine gesicherte Aussage über den flächenhaften Austrag von diesen landwirtschaftlich genutzten Flächen getroffen werden kann, umfasst das Untersuchungsprogramm des Kooperationsprojekts 14 Mess- und Probenahmepunkte. Diese unterteilen sich in sieben Drainagerohre (2, 3, 8, 9, 12, 15, 16), zwei Gräben (G-D2, G-D8) und fünf Oberflächengewässer (Roe1, Ri1, Ri2, Ri3, A1) (Abb. 3).

Es wurden dazu drei räumlich angeordnete Gruppen gebildet (Abb. 3).

I) Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes wird der Richerbach (Ri1) unterstromig von Richen einschließlich des Klärwerks und gleichzeitig oberstromig der untersuchten landwirtschaftlichen Flächen beprobt. Zudem wurden drei Drainagen (12, 15 und 16; Abb. 4) als Mess- und Probenahmepunkte in diesem Bereich ausgewählt.

II) Weiter nordwestlich werden Proben aus den Drainagerohren 8 und 9 entnommen, ebenso aus dem Graben unterhalb von 8, bevor er in den Röderbach fließt (G-D8). Der nächste Messpunkt wurde im Röderbach vor seiner Mündung in den Richerbach festgelegt (Roe1). Der Richerbach wird oberstromig vor (Ri2) und nach (Ri3) dem Zusammenfluss mit dem Röderbach untersucht.

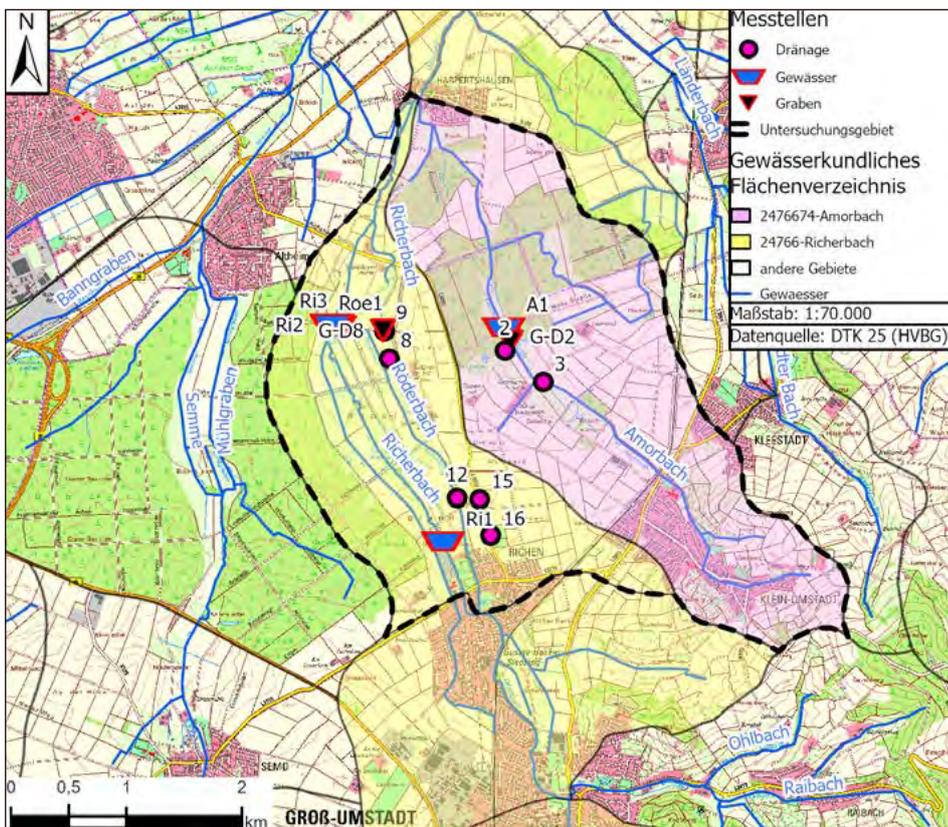


Abb. 3: Untersuchungsgebiet mit Lage der Mess- und Probenahmepunkte

III) Bei der nordöstlichen Messpunkt-Gruppierung fließt das Wasser von Drainagerohr 2 in einen Graben, der wiederum unterstromig vor seiner Mündung in den Amorbach beprobt wird (G-D2). Ein weiterer Messpunkt befindet sich unterstromig im Amorbach (A1).

Die Mess- und Probenahmekampagnen werden wöchentlich durchgeführt. Dafür wird jede Messstelle durch das ihwb aufgesucht und fotografisch dokumentiert. Bei wasserführenden Messstellen werden vor Ort Wasserstand, Querschnittsbreite, Profilart, ggf. Fließgeschwindigkeit, ggf. Abfluss, sowie Wassertemperatur, Sauerstoffkonzentration, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Trübung erfasst. Zudem wird an jeder Messstelle eine Wasserprobe genommen.

Alle Wasserproben werden im Anschluss an die jeweilige Messkampagne durch die Stadtwerke Groß-Umstadt im Labor der Kläranlage Groß-Umstadt analysiert. Dazu werden Küvetten-tests für die photometrische Auswertung auf Ammonium, Nitrit, Nitrat, Ortho-Phosphat und Gesamtphosphor verwendet (DIN 32645).

Schließlich erfolgt eine Aufbereitung und Plausibilisierung der vor-Ort-Messdaten und der Labordaten. Zusätzlich wird der Abfluss aus den Wasserstands- bzw. Fließgeschwindigkeitsdaten berechnet, um die Nährstofffrachten zu ermitteln.



Abb. 4: Beispiele der Mess- und Probenahmepunkte: Drainagen 8 (25.01.2022, oben), 15 (07.03.2023, Mitte) und 16 (22.02.2022, unten) © ihwb

Herausforderungen

Der routinemäßigen Durchführung der Feldkampagnen standen einige Herausforderungen entgegen. Zum einen ergaben sich Schwierigkeiten, die durch die Wasserführung bedingt waren. Dass Drainagen, aber auch kleine Bäche oder Gräben während der Sommermonate trockenfallen, war zu erwarten. An diesen Tagen konnten keine Wasserproben genommen werden. Bei hohen Wasserständen lagen die Drainagerohre jedoch teilweise unterhalb des Wasserspiegels, so dass ebenfalls keine Beprobung durchgeführt werden konnte. Auch an einigen Frost- und Eistagen war eine Probenahme an einigen wenigen Standorten nicht möglich. Durch die unterschiedlichen Wasserstände ändern sich auch die Fließquerschnitte. Die Definition und die Unregelmäßigkeit der Querschnitte stellen bei ihrer Vermessung für die Frachtberechnung eine große Herausforderung dar. So ist der Querschnitt im Graben G-D2 veränderlich, und im Drainageauslass 12 ist der Querschnitt undefiniert, so dass diese Drainage als Schüttung gekennzeichnet wurde. Eine Quantifizierung des Abflusses ist dadurch nicht möglich.

Zum anderen wurden die hydrologischen Gegebenheiten im Gebiet durch Biberaktivitäten verändert. So führten diese seit etwa Mitte Juli 2022 am Richerbach ca. 150 m unterstrom der Messstelle Ri3 zu einem dauerhaften Rückstau an den Messstellen Ri2, Ri3 und temporär auch an Roe1 und G-D8. Die Messstelle Ri3 wurde daher im Juni 2023 aufgegeben. Weitere Biberdämme im Untersuchungsgebiet haben bislang zu keiner direkten Beeinträchtigung der Messstellen geführt, allerdings kommt es abschnittsweise zu Rückstau im Richerbach und Überflutungen der anliegenden landwirtschaftlichen Flächen mit seitlichem Abfluss in den westlich gelegenen Flutgraben und ggf. auch darüber hinaus.

Gesetzlicher Rahmen

Die Einordnung der Gewässergüte erfolgte für die Drainagen nach den Schwellenwerten der Grundwasserverordnung und für die Oberflächengewässer nach den Orientierungswerten der Oberflächengewässerverordnung.

Tab. 1: Schwellenwerte für die Drainagen nach der GrwV (2022) bzw. Orientierungswerte für die Oberflächengewässer nach der OGewV (2020)

Drainagen			Oberflächengewässer		
Nitrat (NO ₃)	50	mg/l	Nitrat (NO ₃) bzw. Nitrat-N (NO ₃ -N)	50 bzw. 11,295	mg/l
Ammonium (NH ₄)	0,5	mg/l	Ammonium (NH ₄) bzw. Ammonium-N (NH ₄ -N)	0,1288 bzw. 0,1	mg/l
Ortho-Phosphat (PO ₄)	0,5	mg/l	Ortho-Phosphat (o-PO ₄) bzw. Ortho-Phosphat-Phosphor (o-PO ₄ -P)	0,3066 bzw. 0,1	mg/l

Erste ausgewählte Ergebnisse

Im Folgenden wird der Fokus auf die Ergebnisse von Nitrat, Ammonium und Ortho-Phosphat für den Zeitraum Sept. 2022 bis März 2023 gelegt.

Tabelle 2 zeigt, dass bei den Drainagen die jeweiligen Schwellenwerte hauptsächlich für Nitrat (8, 9, 15) sowie Ortho-Phosphat (2, 3, 8) mehrfach überschritten wurden. Ammonium wurde nur an einem Messtermin in Drainage 8 überschritten. Bei den Gräben und Bächen ist für Ammonium und Ortho-Phosphat an fast allen Messstellen eine häufige und z. T. deutliche Überschreitung der Orientierungswerte festzustellen, während nur an einer Messstelle (Ri1) und nur an einem Messtermin eine Nitrat-Überschreitung des Orientierungswertes erfasst wurde. Diese Ergebnisse werden ebenfalls in den Abbildungen 5 bis 7 deutlich.

Tab. 2: Überschreitung [%] der Schwellenwerte bei den untersuchten Drainagen, Gräben und Bächen im Zeitraum Sept. 2022 bis März 2023

Messstelle	Messungen	Nitrat	Ammonium	Ortho-Phosphat
2	5	0 %	0 %	40,0 %
3	14	0 %	0 %	14,3 %
8	13	30,8 %	7,7 %	38,5 %
9	8	100,0 %	0 %	0 %
12	15	6,7 %	0 %	0 %
15	14	92,9 %	0 %	0 %
16	0	-	-	-
G-D2	6	0 %	0 %	16,7 %
G-D8	14	0 %	14,3 %	78,6 %
A1	23	0 %	0 %	0 %
Ri1	30	3,3 %	63,3 %	36,7 %
Ri2	30	0 %	86,7 %	73,3 %
Ri3	30	0 %	83,3 %	66,7 %
Roe1	28	0 %	17,9 %	39,3 %

Trockene Witterung in Verbindung mit hohen Temperaturen führt im Sommer zur Austrocknung der Böden, so dass die Drainagen dann regelmäßig kein Wasser führen. Auch für den dargestellten Zeitraum konnte festgestellt werden, dass erst im November die erste der ausgewählten Drainagen wieder wasserführend war. Sogar die Niederschläge Mitte Sept. 2022 waren nicht ausreichend, um die Wurzelzone zu sättigen, so dass Wasser über die Drainagen abgeführt werden konnte. Die Niederschläge um Weihnachten 2022 führten hingegen zu Drainageabflüssen bei der Mehrheit der Messpunkte (außer 9 und 16). Generell gibt es eine zeitliche Verzögerung zwischen Niederschlag und Nährstoffaustrag (Abb. 5 bis 7).

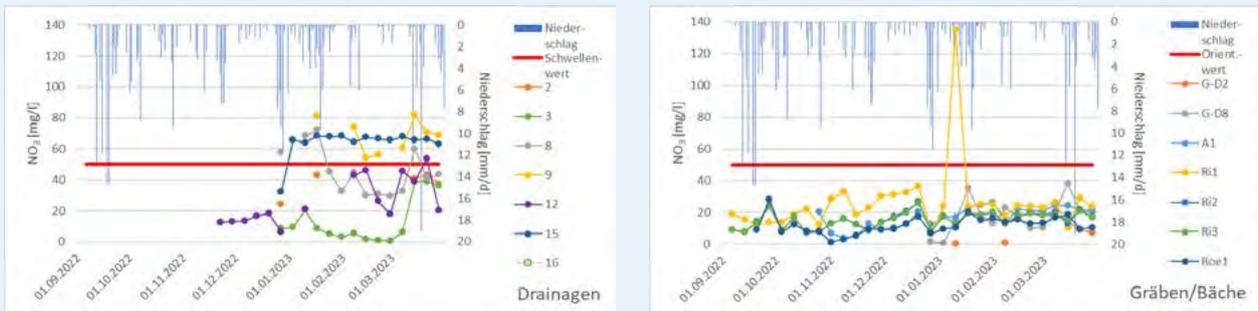


Abb. 5: Nitrat-Konzentrationen der Drainagen (links) und Gräben und Bäche (rechts)

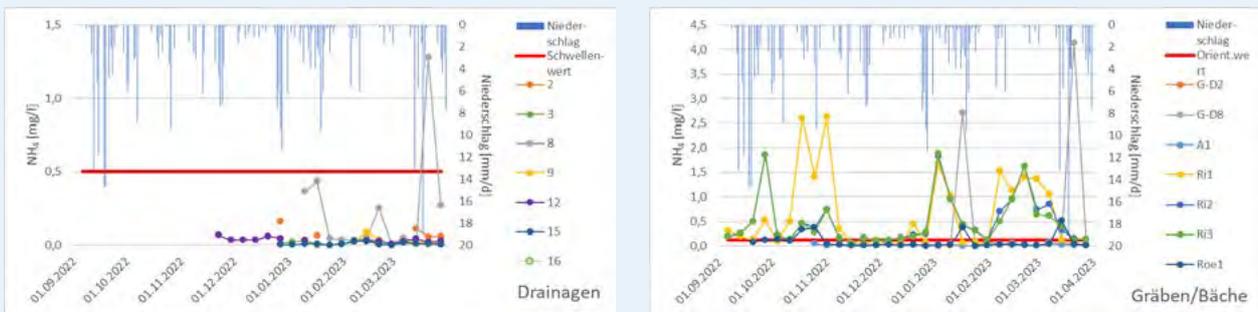


Abb. 6: Ammonium-Konzentrationen der Drainagen (links) und Gräben und Bäche (rechts)
(Hinweis: unterschiedliche Skalierung der vertikalen Achsen für Ammonium (NH₄))

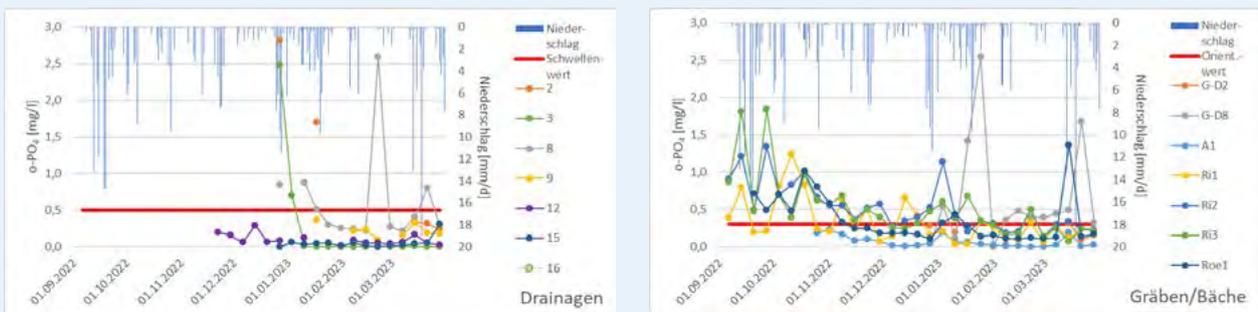


Abb. 7: Ortho-Phosphat-Konzentrationen der Drainagen (links) und Gräben und Bäche (rechts)



Ausblick

Eine Modellierung der Phosphor (P)-Einträge aus diffusen und punktuellen Quellen mit dem Modell MEPhos wurde für Hessen zuletzt 2020 aktualisiert (TETZLAFF et al., 2020). Schwerpunkte der Aktualisierung waren die Modellierung des gesamten Phosphors (P_{ges}). Als Ergebnis der Modellierung zeigte sich, dass der P_{ges} -Eintrag über Drainagen mit $0,08 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ eine untergeordnete Rolle spielt. Dieses Ergebnis wird in den kommenden zwei Jahren mit den erhobenen Daten aus dem Kooperationsprojekt für das Einzugsgebiet abgeglichen werden. Weiterhin werden die in den Drainagen gemessenen Stickstoffparameter mit den Ergebnissen der Modellrechnungen mit DENUZ-WEKU abgeglichen, um die berechneten Sickerwasserkonzentrationen der Nitratfrachten zu plausibilisieren.

Das Kooperationsprojekt soll bis Ende 2026 verlängert werden, um die Datenbasis weiter zu verbessern. Zum einen sollen die Drainagen und Entwässerungsgräben weiter untersucht werden, um die jahreszeitlichen Schwankungen und Jahreseffekte besser zu erfassen. Zum anderen sollen die Untersuchungen auch auf die im Einzugsgebiet vorhandenen P-Gehalte im Boden ausgeweitet werden, um bessere Rückschlüsse auf die durch die Düngung verursachten Einträge abbilden zu können.



DENUZ-WEKU:

DENUZ-WEKU sind Stoffausstragsmodelle, die Bestandteil des Modellverbundes AGRUM-DE sind.

Literatur

- AV DüV (2022): Ausführungsverordnung zur Düngeverordnung; geändert durch die Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung zur Düngeverordnung vom 21.11.2022.
- AVV GeA (2022): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV Gebietsausweisung - AVV GeA); BAnz AT 16.08.2022 B2.
- BACH, M., BREUER, L., KNOLL, L. & KILIAN, J. (2021): Nicht-agrarbedingte im Vergleich zu den agrarbedingten Einflussfaktoren auf die Nitratbelastung von Grundwasserkörpern in Hessen; Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Z. III 7 - 79d 16.11.02).
- DAVID, A. & SCHMALZ, B. (2021): A Systematic Analysis of the Interaction between Rain-on-Grid-Simulations and Spatial Resolution in 2D Hydrodynamic Modeling. *Water*, 13(17), 2346. DOI: 10.3390/w13172346.
- DAVID, A., RUIZ RODRIGUEZ, E. & SCHMALZ, B. (2023): Importance of catchment hydrological processes and calibration of hydrological-hydrodynamic rainfall-runoff models in small rural catchments. *Journal of Flood Risk Management*: e12901; 30 p. DOI: 10.1111/jfr3.12901.
- DIN 32645 (2008): Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung. Ausgabe 2008-11.
- GROSSER, P.F., XIA, Z., ALT, J., RÜPPEL, U. & SCHMALZ, B. (2022): Virtual field trips in hydrological field laboratories: The potential of virtual reality for conveying hydrological engineering content. *Education and Information Technologies*: 27 p. DOI: 10.1007/s10639-022-11434-5.
- GROSSER, P.F. & SCHMALZ, B. (2023): Projecting Hydroclimatic Extremes: Climate Change Impacts on Drought in a German Low Mountain Range Catchment. *Atmosphere* 14(8): 1203. DOI: 10.3390/atmos14081203.
- GrwV (2022): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV) - Grundwasserverordnung vom 09.11.2010 (BGBl. I S. 1513), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 12.10.2022 (BGBl. I S. 1802).

- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) (2021): Umsetzung der Wasser-rahmenrichtlinie in Hessen: Bewirtschaftungsplan 2021-2027; ISBN: 978-3-89274-435-1; (<https://flussgebiete.hessen.de/information/bewirtschaftungsplan-2021-2027>).
- OGewV (2020): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) - Oberflächengewässerverordnung vom 20.06.2016 (BGBl. I S. 1373), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 09.12.2020 (BGBl. I S. 2873).
- SCHMALZ, B. & KRUSE, M. (2019): Impact of land use on stream water quality in the German low mountain range basin Gersprenz. *Landscape online*, 72: 1-17. DOI 10.3097/LO.201972.
- SCHMALZ, B., LOOSER, U., MEESENBURG, H., SCHRÖDER, U. & SCHUMANN, S. (2015): Kleine hydrologische Untersuchungsgebiete in deutschsprachigen Ländern Mitteleuropas. Projektbericht. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 59(4): 184-189.
- SCHULTE, C. (2022): Nährstoff-Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen über Dränagen in Oberflächengewässer – Auswertung einer Messkampagne in Südhessen. Bachelorarbeit an der TU Darmstadt im Studiengang B.Sc. Umweltingenieurwissenschaften.
- TETZLAFF, B., TA, P., ZANG, C., MICHAELIS, B. & ZACHARIAS, M. (2020): Modellierung des Phosphor-Eintrags aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer Hessens; Projektbericht im Auftrag des HLNUG; 71 Seiten.
- ZINNBAUER, M., EYSOLDT, M., HENSELER, M., HERRMANN, F., KREINS, P., KUNKEL, R., NGUYEN, H., TETZLAFF, B., VENOHR, M., WOLTERS, T. & WENDLAND, F. (2023): Quantifizierung aktueller und zukünftiger Nährstoffeinträge und Handlungsbedarfe für ein deutschlandweites Nährstoffmanagement – AGRUM-DE; Thünen Report 108; ISBN 978-3-86576-256-6.