

Agrarbedingte und nicht-agrarbedingte Nitrateintragsquellen in das Grundwasser in Hessen

Die Ursachen der Nitratbelastung des Grundwassers werden kontrovers diskutiert und die Bedeutung der Landwirtschaft wird dabei von deren Interessenvertretungen vielfach in Frage gestellt. Vor diesem Hintergrund wurden für Hessen die potenziellen Nitrateinträge in das Grundwasser aus verschiedenen Quellen quantifiziert und miteinander verglichen.

Martin Bach, Lukas Knoll, Joachim Kilian und Lutz Breuer

Die EU-Nitratrichtlinie verpflichtet die Mitgliedsstaaten, Nitrateinträge aus der Landwirtschaft in das Grundwasser zu vermindern und zu vermeiden. Weiterhin verpflichtet die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Bund und Länder dazu, spätestens bei Überschreiten einer Konzentration von 50 mg NO₃/l in einem Grundwasserkörper geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den „guten Zustand“ wiederherzustellen. Trotz dieser eindeutigen gesetzlichen Vorgaben hat sich die Situation der Grundwasserbelastung mit Nitrat in den vergangenen zwanzig Jahren in Deutschland jedoch nicht spürbar verbessert, wie unter anderem die Nitratberichte der Bundesregierung dokumentieren.

Die Europäische Kommission hat aus diesem Grund im Jahr 2013 bereits das zweite Vertragsverletzungsverfahren gegen die Bundesrepublik Deutschland wegen unzureichender Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie eingeleitet. Der Europäische Gerichtshof (EuGH) hat in seinem Urteil vom 21.06.2018 festgestellt, dass die BRD die EU-Nitratrichtlinie nachhaltig verletzt. Um den Vorgaben der EU-Kommission nachzukommen sowie zur Umsetzung des EuGH-Urteils wurde die Düngeverordnung im Jahr 2017 und erneut im Jahr 2020 novelliert. Die Novellierung beinhaltet auch die Ausweisung der sogenannten „roten Gebiete“, in denen die Stickstoffdüngung der Landwirtschaftsflächen gegenüber dem Optimalbedarf um 20 % reduziert werden muss. Insbesondere diese Vorschrift hat zu teilweise heftigen Protesten und Demonstrationen der Landwirtschaft geführt.

In der kontrovers geführten Debatte über Ursachen und Ausmaß der Nitratbelastung des Grundwassers in Deutschland wird von

Seiten der Landwirtschaft des Öfteren die Meinung vertreten, dass die Nitrateinträge in das Grundwasser nicht ursächlich oder nicht zu einem wesentlichen Anteil auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung zurückzuführen seien, vielmehr würde das Nitratproblem maßgeblich durch Einträge aus dem Siedlungsbereich wie beispielsweise undichte Abwasserkanäle oder durch Deponien verursacht. Als Beitrag zu dieser Diskussion wurde eine Abschätzung der agrarbedingten im Vergleich zu den nicht-agrarbedingten Nitrateinträgen in das Grundwasser in Hessen durchgeführt.

Methodischer Ansatz

Nitrateintrag in das Grundwasser erfolgt über die Auswaschung mit dem Sickerwasser aus dem durchwurzelten Bodenbereich. Der Nitrateintrag in einen Grundwasserkörper hängt vor allem von den verlagerbaren Nitratmengen in den Böden ab, deren Sickerwasser in das Grundwasser gelangt. Die verlagerbare Nitratmenge wird dabei, neben anderen Faktoren, von der N-Mineralisation im Boden und von der Stickstoffzufuhr bestimmt, wobei die N-Zufuhr sowohl durch natürliche Vorgänge wie N-Deposition mit dem Niederschlag und N-Bindung durch Leguminosen als auch durch Stickstoffdüngung stattfinden kann. Die verlagerbare Nitratmenge wird somit in erster Näherung durch die Art der Flächennutzung bzw. im Fall von landwirtschaftlich genutzten Flächen durch die Höhe der N-Düngung bestimmt. Die Abschätzung dieser potenziellen Nitrateinträge erfolgt flächenproportional mit dem Ansatz (Gl. 1):

$$\Sigma \text{ Anteil Flächennutzung} \times \text{nutzungsspezifischer Nitrateintrag} \quad (\text{Gl. 1})$$

Neben der Auswaschung mit dem Sickerwasser kann Stickstoff auch mit dem Austritt von Schmutzwasser aus der Abwasserentsorgung in den Untergrund gelangen und anschließend ebenfalls weiter in das Grundwasser verlagert werden. Diese Eintragsmengen sind proportional zum austretenden Abwasservolumen und dessen Stickstoffkonzentration (s. Gl. 2).

Für die Abschätzung der flächenbezogenen Nitrateinträge in Hessen wurden vier Nutzungsklassen unterschieden: „Landwirtschaft“, „Wald und naturnahe Vegetation“, „Siedlungsgebiete“ und

/ Kompakt /

- Die Landwirtschaft ist mit rund 90 % die wesentliche Quelle der potenziellen Nitrateinträge in das Grundwasser in Hessen.
- Die Einträge aus dem Siedlungsbereich sind mit rund 3 % nahezu ohne Bedeutung.
- Gemeinsam sind von Wasserwirtschaft und Agrarverwaltung mit dem Berufsstand effiziente und praktikable Lösungen zu entwickeln und umzusetzen.

„Deponien“. Die Anteile dieser Flächennutzungskategorien wurden aus dem Landbedeckungsmodell Deutschland (LBM-DE2015; [1]) für Hessen ausgewertet. Für die Siedlungsgebiete wurde zusätzlich der Versiegelungsgrad aus dem LBM-DE2015 übernommen. Als nutzungspezifische Nitrateinträge in das Grundwasser wurden die folgenden Stickstoffeinträge herangezogen: für die Landwirtschaftsfläche der Überschuss der N-Flächenbilanz, für Wald und naturnahe Flächen sowie für die nicht-versiegelten Siedlungsflächen Mittelwerte der Nitrat auswaschung nach Literaturangaben, und für Deponien wurden Grundwassermesswerte ausgewertet.

Stickstoffüberschuss der Landwirtschaftsflächen

Die Methodik und die Ergebnisse von Stickstoffbilanzen sind in der Fachwelt und der Umweltpolitik seit vielen Jahren eingeführt und unumstritten. Der Überschuss einer Bilanz entspricht der Differenz zwischen Zufuhr und Abfuhr während eines Bilanzjahres und kennzeichnet die potenzielle Freisetzung von reaktiven N-Verbindungen aus einer Bilanzeneinheit. Der Überschuss der N-Flächenbilanz wird dabei in zahlreichen Zusammenhängen als Indikator zur Quantifizierung der Grundwasserbelastung mit Nitrat aus der Landwirtschaft herangezogen und häufig auch als hydrosphärischer N-Überschuss bezeichnet. Die Überschüsse der N-Flächenbilanz Hessen mit Regionalgliederung Gemeinden wurden nach dem Ansatz von [2] auf Basis der Agrarstrukturhebung 2016 berechnet.

Für die Landwirtschaft in Hessen (Bezugsjahr 2016) wurde im Mittel eine N-Zufuhr von 191 kg N/ ha LF und eine Abfuhr von 130 kg N/ha LF berechnet, woraus ein N-Flächenbilanzüberschuss von 61 kg N/ha LF resultiert (**Tabelle 1**). Aus den Nährstoffberichten der anderen Bundesländer ergibt sich zusätzlich ein Import von rund 6.900 t N pro Jahr mit Wirtschaftsdüngern nach Hessen. Diese N-Menge wurde in der Bilanzierung jedoch nicht berücksichtigt, da der N-Transfer mit Wirtschaftsdüngern in Hessen räumlich nicht verortet werden kann. Mit Berücksichtigung des N-Transfers liegt die Zufuhr mit Wirtschaftsdünger in Hessen um rund 16 % und der N-Überschuss um rund 5 % über den Werten der **Tabelle 1**.

Austräge aus Wald und naturnaher Vegetation

Einer Literaturrecherche von [3] sowie eigenen Auswertungen zufolge variiert die Nitrat auswaschung aus Waldböden und anderen naturnahen Vegetationsformen in einem weiten Bereich und hängt vorrangig von den Standortbedingungen ab (**Tabelle 2**). Für die Abschätzung der Nitrateinträge in Hessen wurde eine Auswaschung von 5,2 kg N/ha unter Wald und anderer naturnaher Vegetation als flächengewichtetes Mittel der Medianwerte der einzelnen Vegetationstypen angesetzt.

Austräge aus dem Siedlungsbereich

Aus dem Siedlungsbereich kann Stickstoff durch drei verschiedene Vorgänge in das Grundwasser gelangen: Exfiltration aus dem Kanalisationssystem, Einträge aus Kleinkläranlagen und abflusslosen Gruben sowie Nitrat auswaschung aus nicht-versiegelten Siedlungs-

Tabelle 1: Zufuhr, Abfuhr und Überschuss der Stickstoff-Flächenbilanz für die Landwirtschaft in Hessen (Bezugsjahr 2016), (eigene Berechnung)

Bilanzgröße	Mittel Hessen (kg N/ha LF)
Zufuhr	
Mineraldünger	99,9
Wirtschaftsdünger (Tierhaltung)	46,1
Gärreste (Biogasanlagen)	16,4
Sonstige organische Düngen und Saatgut	5,4
N-Fixierung durch Leguminosen	13,5
Atmosphärische Deposition	9,5
Zufuhr gesamt	190,8
Abfuhr	-129,8
Überschuss	61,0

© Martin Bach et al.

Tabelle 2: Stickstoffauswaschung unter verschiedenen naturnahen Vegetationsformen nach Literaturangaben, (eigene Zusammenstellung); die zugrundeliegenden Literaturangaben können von den Autoren bezogen werden

Eintragsquelle	Spezifischer Eintrag	
	Median kg N/(ha x a)	Spannbreite kg N/(ha x a)
Nadelwald	8,9	0,5 – 26,4
Mischwald	6,1	0,5 – 39,1
Laubwald	3,7	1,2 – 39,1
Inhomogenes Grünland	4,6	0,7 – 25,0
Feuchtgebiete	1,1	0,4 – 4,1
Sonstige seminaturliche Vegetation	4,6	0,4 – 25,0
Mittel (flächengewichtet für Hessen)	5,2	

© Martin Bach et al.

flächen. Die Berechnung erfolgte für die drei Eintragspfade in Anlehnung an [4] für die Gemeinden in Hessen. Die Austräge mit der Abwasserexfiltration, das heißt dem Austritt von Abwasser aus undichten oder schadhafte Kanälen in den Bodenkörper, ergeben sich nach dem Ansatz:

$$\Sigma \text{ Länge Kanalisation} \times \text{Exfiltrationsrate} \times \text{N-Konzentration}_{\text{Abwasser}} \quad (\text{Gl. 2})$$

Die Kanallängen der öffentlichen Kanalisation in den Gemeinden wurden der Abwasserstatistik Hessen getrennt für Mischwasser-, Schmutzwasser- und Regenwasserkanäle entnommen, jeweils untergliedert nach Kanälen jünger als 40 Jahre (insgesamt 10.318 km in Hessen) sowie 40 Jahre und älter (29.257 km). Die Länge der privaten Kanalisation (Hausanschlüsse) wurde nach [4] mit 77.713 km geschätzt. Für die öffentlichen Kanäle <40 Jahre wurde nach [4] eine Abwasserexfiltrationsrate von 0,004 l/(s x km) angesetzt, für die öffentlichen Kanäle ≥ 40 Jahre von 0,01 l/(s x km) und für die privaten Kanäle 0,002 l/(s x km). Die N-Konzentration in Schmutzwasserkanälen wurde aus der N-Ausscheidung pro Einwohner und Tag und

dem Wasserverbrauch zu 85 g N/m³ berechnet. Für die N-Konzentration in Regenwasserkanälen mit dem Abfluss von versiegelten Flächen wurde ein N-Anfall aus Laubfall und tierischen Exkrementen von 4 kg N/(ha x a) angesetzt, die Abflussmenge wurde aus dem Jahresniederschlag und dem Anteil versiegelter Fläche berechnet. Die N-Konzentration mit der Abwasserexfiltration aus Mischwasserkanälen setzt sich aus dem Schmutzwasser- und dem Niederschlagsabfluss zusammen.

Über Kleinkläranlagen und abflusslose Gruben erfolgt nur noch ein sehr geringer Teil der Abwasserentsorgung in Hessen. Dieser N-Eintrag wurde aus der Anzahl der daran angeschlossenen Einwohner, der N-Ausscheidung pro Kopf und mit Annahme einer N-Retention von 0,5 in Kleinkläranlagen und Gruben geschätzt. Für die Nitratauswaschung aus nicht-versiegelten Siedlungsflächen wurde aus einer Literaturrecherche ein Medianwert von 5 kg N/(ha x a) ermittelt. Die nach diesen Ansätzen berechneten Einträge aus dem Siedlungsbereich summieren sich auf insgesamt rund 1.900 t N/a (**Tabelle 3**), was bezogen auf 1.985 km² Siedlungsfläche in Hessen einem flächenspezifischen Eintrag von etwa 9,5 kg N/(ha x a) entspricht.

Austräge aus Deponien

Für 21 Deponiestandorte in Hessen, die der Eigenkontrollverordnung unterliegen, liegen Messwerte zur Nitratkonzentration im Anstrom und im Abstrom der Deponie vor (Zeitraum 2014 – 2019). Aus der Differenz zwischen der Nitratkonzentration im Grundwasser vor und nach der Passage lässt sich ableiten, ob mit dem Sickerwasser aus dem Deponiekörper ein Nitratintrag stattfindet. Für 15 der 21 Deponien wurde eine Abnahme oder konstante Nitratkonzentration ermittelt, für 5 Deponien eine geringfügige Zunahme und nur für eine Deponie eine Zunahme um rund 15 mg NO₃/l. Für die Bewertung der Nitratinträge in das Grundwasser wurde der Eintrag aus Deponien daher mit Null angesetzt. Im Mittel der 21 Deponien lag die Nitratkonzentration im Abstrom bei rund 10 mg NO₃/l, das Maximum betrug 35 mg NO₃/l. Eine mögliche Überschreitung des Schwellenwerts von 50 mg NO₃/l im Grundwasser kann somit in keinem Fall auf die untersuchten Deponien zurückgeführt werden. Zudem sind ordnungsgemäß aufgebaute Deponien mit einer Basisabdichtung versehen und das Sicker-

Tabelle 3: Potenzielle Nitratinträge in das Grundwasser in Hessen aus dem Siedlungsbereich

Eintragsquelle	Eintrag [t N/a]
Abwasserexfiltration zusammen, davon	1.221
– Mischwasserkanalisation	692
– Schmutz- und Regenwasserkanalisation	104
– Private Kanalisation (Hausanschlüsse)	425
Kleinkläranlagen und abflusslose Gruben	20
Auswaschung aus nicht-versiegelten Flächen	652
Siedlungsgebiete insgesamt	1.893

© Martin Bach et al.

wasser, das den Deponiekörper passiert, wird aufgefangen und gelangt nicht in das Grundwasser.

Ergebnisse und Diskussion

Mit den aufgeführten Ansätzen wurde eine potenzielle Nitratintragsmenge in das Grundwasser in Hessen von insgesamt rund 62.000 t N pro Jahr ermittelt (**Tabelle 4**). Die landwirtschaftliche Nutzung stellt dabei mit rund 89 % des Gesamteintrags die bei weitem bedeutendste Quelle dar, auf die Einträge aus Wald und anderen naturnahen Flächen entfallen rund 8 % und auf die Einträge aus dem Siedlungsbereich nur rund 3 %. Deponien spielen sowohl bei landesweiter Betrachtung als auch im lokalen Maßstab für den Nitratintrag in das Grundwasser keine Rolle. Die herausragende Bedeutung der Landwirtschaft für das Nitratproblem, die für Hessen festgestellt wird, steht im Einklang mit den Ergebnissen anderer Studien. Für Deutschland insgesamt schätzen [5] den Anteil der Landwirtschaft an der Nitratbelastung des Grundwassers auf 88 %. Für ein 800 km² großes Gebiet in Nordsachsen modellierten [6], dass 87 % der Nitratimmission in das Grundwasser aus Landwirtschaftsflächen und nur 3,6 % aus Siedlungen stammt. Aus den Angaben in [7] lässt sich für das (im Vergleich zu Hessen dichter besiedelte) Land Nordrhein-Westfalen der Anteil der Sied-

Tabelle 4: Potenzielle Nitratinträge in das Grundwasser in Hessen aus verschiedenen Quellen

Eintragsquelle	Fläche		Stickstoffeintrag		
	[km ²]	[%]	[kg N/(ha x a)]	[t N/a]	[%]
Agrarbedingte Quellen					
Landwirtschaftsflächen	9.160	43,4	59,8	54.793	88,5
Nicht-agrarbedingte Quellen					
Wald und naturnahe Vegetation	9.942 ¹	47,1	5,2	5.200	8,4
Siedlungsgebiete	1.985	9,4	9,5	1.893	3,1
Deponien	15	< 0,1	0,0	0	0,0
Summe nicht-agrarbedingte Quellen	11.942	56,6		7.093	11,5
Hessen insgesamt	21.102	100,0		61.885	100,0

¹ einschl. Wasserflächen

© Martin Bach et al.

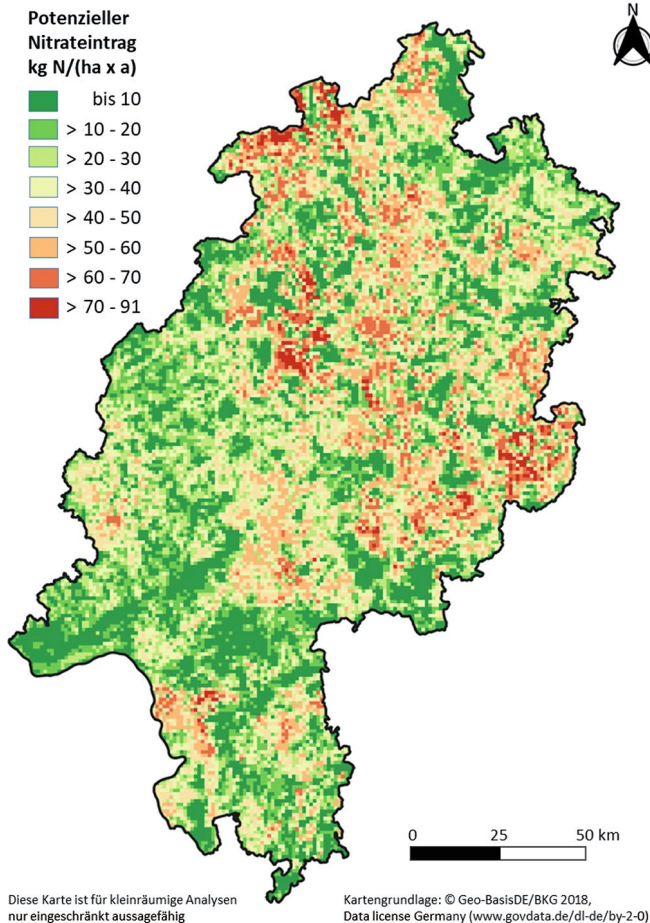


Bild 1: Flächenbezogener (1 km x 1 km) potenzieller Nitratreintrag in das Grundwasser in Hessen (Summe aller Quellen)

vorliegenden Studie lediglich die N-Austräge mit der Abwasserexfiltration berücksichtigt, dann beträgt der flächenspezifische N-Austrag im Mittel aller Gemeinden 6,9 kg N/(ha x a), was mit dem Wert von 7,0 kg N/(ha x a) N-Fracht mit Abwasserexfiltration aus der Untersuchung von [10] für das Stadtgebiet Darmstadt übereinstimmt.

Im **Bild 1** ist die räumliche Verteilung der potenziellen Nitratreinträge in das Grundwasser in der Summe aller Quellen für ein 1 km x 1 km-Raster Hessen dargestellt. Das Verteilungsmuster wird im Wesentlichen bestimmt durch die Anteile der drei Nutzungskategorien Landwirtschaft, Wald (einschließlich naturnaher Vegetation) und Siedlung in den einzelnen Rastern. Vor allem die stärker landwirtschaftlich geprägten Regionen wie unter anderem Wetterau, Ried, hessische Senke und Warburger Börde sind durch vergleichsweise hohe potenzielle Nitratreinträge gekennzeichnet. Die Betriebe in Nord- und Osthessen weisen meist einen höheren Viehbesatz auf, was höhere Bilanzüberschüsse im Vergleich zu den Marktfruchtbetrieben im südlichen Landesteil zur Folge hat.

Bei der Interpretation von **Bild 1** ist zu berücksichtigen, dass die potenziellen Nitratreinträge nicht mit der Nitratkonzentration im Grundwasser gleichzusetzen sind. Welche Menge des dargestellten Nitratreintragungspotenzials tatsächlich mit dem Sickerwasser in einen Aquifer verlagert wird und welche Nitratkonzentration im Grundwasser dadurch verursacht wird, hängt von weiteren Faktoren ab. In erster Linie sind das die Sickerwassermenge an einem Standort, die über die Verdünnung der Nitratmenge und die Geschwindigkeit der Sickerwasserverlagerung entscheidet, sowie das Ausmaß der Denitrifikation in der durchwurzelten Bodenzone, der ungesättigten Zone und im Grundwasser selbst. Im Modellansatz von AGRUM-DE beispielsweise werden diese (und weitere) Faktoren miteinander verknüpft, um die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser zu berechnen, unter anderem als Bewertungsgröße für die Ausweisung von mit Nitrat belasteten Gebieten.

Großskalige Ansätze wie die hier vorgestellte Abschätzung der Nitratreintragquellen in das Grundwasser sind unvermeidlich mit methodischen Unsicherheiten verbunden. Für die Ermittlung der N-Flächenbilanzüberschüsse wird als Größenordnung der Unsi-

lungsf lächen am potenziellen Nitratreintrag auf höchstens 8,6 % schätzen.

Auch der Wert des spezifischen N-Eintrags von 9,5 kg N/(ha x a) im Mittel der hessischen Siedlungsf lächen liegt in der gleichen Größenordnung wie andere Untersuchungen [6, 8, 9]. Werden in der

Mittwoch, 17. November 2021 / 19.30 Uhr
JUNGES FORUM IM GESPRÄCH

Numerische Berechnungen zum Einfluss von Baumbewuchs auf die Standsicherheit von Stauhaltungsdämmen

Referentin: Saskia Grauduschus (Junges Forum NRW)
 Durchführung: via Videokonferenz (Link)



cherheit etwa $\pm 10\%$ angegeben [2]. Auch mit Annahme eines 10% geringeren N-Bilanzüberschusses auf der Landwirtschaftsfläche würde sich die Bewertung für Hessen jedoch nur graduell verschieben, der Anteil der Landwirtschaft vermindert sich dann geringfügig auf $87,4\%$ und der Anteil der die Siedlungsfläche steigt auf $3,4\%$. Selbst wenn man annimmt, dass die potenzielle Eintragsmenge aus Siedlungsgebieten doppelt so hoch ist wie in **Tabelle 4** berechnet, dann dominiert die Landwirtschaft weiterhin mit $85,9\%$ gegenüber $5,9\%$ aus dem Siedlungsbereich. In der vorliegenden Studie wurde außerdem nicht berücksichtigt, dass sich ein Teil der Abwasserkanäle im Grundwasserschwankungsbereich oder vollständig im Grundwasser befindet. In diesen Abschnitten des Kanalisationsnetzes tritt, aufgrund der umgekehrten Druckverhältnisse, in Fall von Leckagen keine Abwasserexfiltration, sondern Infiltration von Grundwasser in die Kanäle auf; in Bayern betrifft das etwa $20 - 25\%$ der Kanalisation [11]. In Hessen ist zumindest für die Niederungsgebiete wie unter anderem das Hessische Ried und die Untermainsenke ebenfalls davon auszugehen, dass Teile der Abwasserkanäle im Grundwasserschwankungsbereich liegen, wodurch der tatsächliche Eintrag aus Abwasserexfiltration in diesen Regionen vermindert wird.

Als Fazit ist festzuhalten, dass das Nitratreintragspotenzial in das Grundwasser in Hessen ebenso wie im Bundesgebiet insgesamt zum weit überwiegenden Teil auf die N-Überschüsse in der Landwirtschaft zurückzuführen ist. Insbesondere in den durch landwirtschaftliche Nutzung geprägten Regionen, in denen es nur vergleichsweise wenig Siedlungsfläche gibt, kommen keine weiteren relevanten Ursachen in Frage. Gerade diese Regionen sind es jedoch, in denen die Grundwasserkörper häufig aufgrund zu hoher Nitratreinträge nicht im „guten Zustand“ nach WRRL sind. Auf diesen Ergebnissen aufbauend sind gemeinsam von Wasserwirtschaft und Agrarverwaltung mit dem Berufsstand effiziente und praktikable Lösungen zu entwickeln und umzusetzen.

Danksagung

Dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie ist für die fachliche Unterstützung zu danken. Die Studie wurde vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz finanziert (Nr. Z. III 7 – 79d 16.11.02).

Hinweis

Die Studie kann unter folgender Adresse abgerufen werden:
<https://jilupub.ub.uni-giessen.de/handle/jilupub/254>

Literatur

- [1] BKG, 2018: Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2015). Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt a.M.
- [2] Häußermann, U., Bach, M., Klement, L., Breuer, L., 2019: Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 – 2017. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, UBA-Texte 131/2019.
- [3] Beisecker, R., Evers, J., Jacobsen, et al., 2012: Diffuse Stoffausträge aus Wald und naturnahen Nutzungen. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Abschlussbericht.

- [4] Nguyen, H. H., Venohr, M., 2021: Harmonized assessment of nutrient pollution from urban systems including losses from sewer exfiltration: a case study in Germany. *Environ Sci Pollut Res.* (<https://doi.org/10.1007/s11356-021-12440-9>).
- [5] Bach, M., Knoll, L., Häußermann, U., Breuer, L., 2020: Nitratbelastung des Grundwassers in Deutschland - Ist das Messnetz schuld? *Wasserwirtschaft* 6/2020, 12 – 17.
- [6] Uhlig, M., Gebel, M., Halbfaß, S., Liedl, R., 2010: Mesoskalige Modellierung der grundwasserbürtigen Nitratbelastung von Fließgewässern. *Grundwasser* 15, 163 – 176.
- [7] Wendland, F., Bergmann, S., Eisele, M., et al., 2020: Stickstoffeintrag ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Nordrhein-Westfalens (2014-2016). GROWA + NRW 2021, Teilbericht V. Forschungszentrum Jülich, 70 S.
- [8] Kliebsch, K., Müller, U., Ploeg, R., 1998: Nitrataustrag aus einer ländlichen Siedlungsfläche in Nordwestdeutschland. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161, 571 – 576.
- [9] Serhal, H., Bernard, D., Khattabi, J. E., Sabine, B. L., Shahrou, I., 2009: Impact of fertilizer application and urban wastes on the quality of groundwater in the Cambrai Chalk aquifer, Northern France. *Environmental Geology*, 57(7), 1579 – 1592.
- [10] Beier, M., 2008: Urbane Beeinflussung des Grundwassers: Stoffemissionen und -immissionen am Beispiel Darmstadts. Technische Universität Darmstadt (Diss.).
- [11] Horstmeyer, N., Helmreich, B., Drewes, J. E., 2016: Zustandsanalyse der bayerischen Kanalisation. Teil 1: Vorgehensweise und allgemeine statistische Angaben zum Kanalnetz. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 63(5), 378 – 387.

Autoren

Dr. Martin Bach

Prof. Dr. Lutz Breuer

Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement
 Justus-Liebig-Universität Gießen
 Heinrich-Buff Ring 26
 35392 Gießen
 E-Mail: martin.bach@umwelt.uni-giessen.de
 E-Mail: lutz.breuer@umwelt.uni-giessen.de

Dr. Lukas Knoll

Prof. Joachim Kilian

Unger Ingenieure Ingenieurgesellschaft mbH
 Julius-Reiber-Straße 19
 64293 Darmstadt
 E-Mail: lu.knoll@unger-ingenieure.de
 E-Mail: j.kilian@unger-ingenieure.de



Nitratbelastung



Lipp, A.: Partizipation betroffener Akteursgruppen zur Minderung der Nitratbelastung des Grundwassers. In: WASSER UND ABFALL, Ausgabe 10/2020. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.
www.springerprofessional.de/link/18475530

Bach, M.; Knoll, L. et al.: Nitratbelastung des Grundwassers in Deutschland - Ist das Messnetz schuld? In: WasserWirtschaft, Ausgabe 6/2020. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.
www.springerprofessional.de/link/18039050