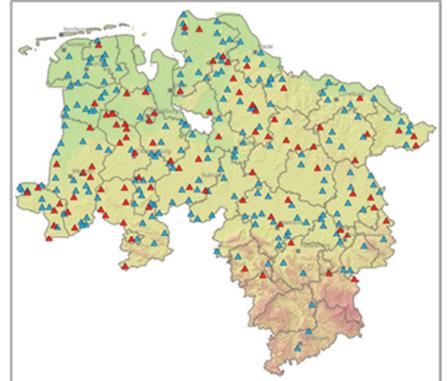




Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz



Themenbericht

Arzneimittel im Grundwasser Niedersachsens

Landesweites Screening
von 2015 bis 2018



Niedersachsen



Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Themenbericht

Arzneimittel im Grundwasser Niedersachsens

Landesweites Screening
von 2015 bis 2018



Niedersachsen

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
Am Sportplatz 23
26506 Norden

Der vorliegende Bericht wurde erarbeitet durch:
Dr. Lars Germershausen, NLWKN Betriebsstelle Hannover-Hildesheim

Mit Unterstützung durch:
Christel Karfusehr, NLWKN Betriebsstelle Cloppenburg
Hubertus Schültken, NLWKN Betriebsstelle Hannover-Hildesheim

Bildnachweis Titelseite:
Medikamente (Foto links) - S. Selmigkeit 2020
Grundwassermessstelle (Foto rechts unten) - NLWKN Betriebsstelle Hannover/Hildesheim

1. Auflage: Oktober 2021, 350 Stück
Schutzgebühr: 5,00 € zzgl. Versand

Bezug:
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
- Veröffentlichungen -
Göttinger Chaussee 76 A
30453 Hannover

Online verfügbar unter: www.nlwkn.niedersachsen.de → Service → Veröffentlichungen/Webshop

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Zusammenfassung	2
1 Einleitung	3
2 Regionale Untersuchungen in Niedersachsen	4
3 Arzneimittel in der Umwelt	5
3.1 Anwendung und Verbrauch	6
3.2 Eintragspfade in die Umwelt	9
3.3 Verhalten in der Umwelt	10
3.4 Umweltrelevanz und ökotoxikologische Wirkung	12
4 Methodik	13
4.1 Entwicklung des Messnetzes und der Untersuchungszeiträume	13
4.1.1 Messstellen und Probenahme ab 2015	13
4.1.2 Erweiterung des Messnetzes in 2016	15
4.1.3 Zusätzliche Messstellen ab 2017	16
4.1.4 Tiefenlage der Grundwassermessstellen	17
4.2 Probenahme und Analytik	18
4.3 Im landesweiten Screening untersuchte Parameter	19
5 Ergebnisse	22
5.1 Nachweise von Wirkstoffen und Metaboliten	22
5.2 Regionale Verteilung der Nachweise	26
5.3 Nachweise und Verteilung von Antibiotika im Grundwasser	30
5.4 Nachweise und Verteilung von nicht antibiotisch wirkenden Stoffen im Grundwasser	32
6. Auswertung der Ergebnisse nach Anwendungsbereichen und Wirkstoffgruppen	33
6.1 Regionale Verteilung der Rückstände mit Bezug auf die Anwendungsbereiche	34
6.1.1 Rückstände aus dem humanmedizinischen Bereich	37
6.1.2 Rückstände aus dem veterinärmedizinischen Bereich	39
6.1.3 Rückstände von Wirkstoffen mit Zulassung in Human- und Veterinärmedizin	41
6.2 Regionale Verteilung der Antibiotikarückstände mit Bezug auf den Viehbesatz	44
6.3 Tiefenverteilung der positiven Befunde	48
6.4 Einfluss durch Böden und Untergrund	50
6.5 Vergleich mit Ergebnissen aus der Schwerpunktuntersuchung des NLWKN in viehstarken Gebieten	51
7 Fazit und Ausblick	57
Literatur	59
Anhang	64

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Projekte in Niedersachsen zur Untersuchung von Arznei- oder Röntgenkontrastmitteln im Grundwasser seit 2012.....	5
Abb. 2: Viehbesatzdichte in Großvieheinheiten (GV) je Hektar (ha) landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) in den kreisfreien Städten und Gemeinden Niedersachsens 2016 (verändert nach LSN 2018).....	8
Abb. 3: Eintragspfade von Arzneimitteln in unterschiedliche Umweltkompartimente (NLWKN 2018, verändert nach UBA 2014).....	10
Abb. 4: Im Jahr 2015 untersuchte Grundwassermessstellen.....	14
Abb. 5: Entwicklung des Messnetzes zur Untersuchung auf Rückstände von Arzneimitteln und Metaboliten im Grundwasser Niedersachsens.....	16
Abb. 6: Die Anteile, der von 2015 bis 2018 untersuchten Grundwassermessstellen, nach Tiefenbereichen (Tiefe der Filteroberkante unter der Geländeoberfläche).....	18
Abb. 7: Anzahl der Grundwassermessstellen, an denen zwischen 2015 und 2018 Rückstände von Arzneimittelwirkstoffen und -metaboliten nachgewiesen wurden.....	23
Abb. 8: Die sieben im Grundwasser nachgewiesenen Arzneimittelwirkstoffe und -metaboliten mit den höchsten gemessenen Konzentrationen.....	24
Abb. 9: Im Grundwasser nachgewiesene Arzneimittelwirkstoffe und -metaboliten mit gemessenen Konzentrationen von unter 100 ng/l.....	25
Abb. 10: Regionale Verteilung der Grundwassermessstellen mit und ohne Rückständen von Arzneimittelwirkstoffen oder -metaboliten.....	26
Abb. 11: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe und Metaboliten an den jeweiligen Grundwassermessstellen.....	28
Abb. 12: Größenordnung der Nachweise von Arznejmitterückständen im Grundwasser und die regionale Verteilung.....	29
Abb. 13: Lage der Grundwassermessstellen, an denen im Rahmen des landesweiten Screenings Antibiotikarückstände nachgewiesen wurden.....	31
Abb. 14: Lage der Grundwassermessstellen, an denen im Rahmen des landesweiten Screenings Rückstände von nicht-antibiotisch wirkenden Arzneimitteln nachgewiesen wurden.....	32
Abb. 15: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Arzneimittelrückständen in Gebieten mit über und bis zu 15 Einwohnern mit Kleinkläranlagen (KKA) pro km ² gegliedert nach Anwendungsbereichen.....	35
Abb. 16: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Arzneimittelrückständen in viehstarken ($\geq 1,75$ GV/ha LF) und viehschwachen ($< 1,75$ GV/ha LF) Gebieten gegliedert nach Anwendungsbereichen.....	35
Abb. 17: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Humanarzneimittelrückständen in Niedersachsen im Zusammenhang mit der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen.....	38
Abb. 18: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Tierarzneimittelrückständen im Zusammenhang mit der Viehbesatzdichte in Niedersachsen.....	40
Abb. 19: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Rückständen von Substanzen, die aktuell für den veterinärmedizinischen sowie auch für den humanmedizinischen Bereich zugelassen sind, im Zusammenhang mit der Viehbesatzdichte in Niedersachsen.....	42
Abb. 20: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Rückständen von Substanzen, die aktuell für den veterinärmedizinischen sowie auch für den humanmedizinischen Bereich zugelassen sind, im Zusammenhang mit der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen.....	43
Abb. 21: Lage der Grundwassermessstellen, an denen im Rahmen des landesweiten Screenings Antibiotikarückstände nachgewiesen wurden.....	45

Abb. 22: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Antibiotikarückständen und Rückständen nicht antibiotisch wirkenden Stoffen in viehstarken ($\geq 1,75$ GV/ha LF) und viehschwachen ($< 1,75$ GV/ha LF) Gebieten.	46
Abb. 23: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Antibiotikarückständen und Rückständen nicht antibiotisch wirkenden Stoffen in Gebieten mit bis zu und über 15 Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (KKA) pro km ²	47
Abb. 24: Anteile der Grundwassermessstellen mit Arzneimittelrückständen geordnet nach Filtertiefebereichen (Filteroberkante).	48
Abb. 25: Verfilterungstiefe der untersuchten Grundwassermessstellen (Tiefe der Filteroberkante unterhalb der Geländeoberkante).	49
Abb. 26: Vergleich der Analyseergebnisse der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten (NLWKN 2018) und des landesweiten Screenings. Dargestellt sind alle Proben mit positiven Befunden $>$ Bestimmungsgrenze [n = Probenanzahl] der Wirkstoffe oder Wirkstoffmetaboliten mit Maximum-Konzentrationen über 100 ng/l.	53
Abb. 27: Vergleich der Analyseergebnisse der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten (NLWKN 2018) und des landesweiten Screenings. Dargestellt sind alle Proben mit positiven Befunden $>$ Bestimmungsgrenze [n = Probenanzahl] der Wirkstoffe oder Wirkstoffmetaboliten mit Maximum-Konzentrationen unter 100 ng/l.	54

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Liste der 16 meistverbrauchten Humanarznei- und Röntgenkontrastmittel mit potentieller Umweltrelevanz im Jahr 2012 in Deutschland (verändert nach UBA 2014, SCHWABE et al. 2018, DIMDI 2018).	6
Tab. 2: Im Rahmen des landesweiten Screenings untersuchte Parameter.	20
Tab. 3: Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) untersuchter Arzneimittel (aus UBA 2019).	22
Tab. 4: An Grundwassermessstellen in Niedersachsen nachgewiesene Antibiotikarückstände. Ergebnisse aus dem landesweiten Screening von 2015 bis 2018.	30
Tab. 5: Gegenüberstellung der positiven Befunde aus der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten (NLWKN 2018) und dem landesweiten Screening, bezogen auf die Antibiotika-Wirkstoffgruppe der Sulfonamide.	52

Abkürzungen und Einheiten

Abb.	Abbildung
AMG	Arzneimittelgesetz
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
BG	Bestimmungsgrenze
BLAC	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
DAKkS	Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
DIMDI	Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Einw.	Einwohner
EU	Europäische Union
GOK	Geländeoberkante
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert
GrwV	Grundwasserverordnung
GV	Großvieheinheit (Umrechnungseinheit zum Vergleich verschiedener Nutztierarten. Entspricht 500 Kilogramm Lebendgewicht)
GWA	Gesellschaft für Wasser- und Abwasserservice mbH
ha	Hektar
HAM	Humanarzneimittel
HPLC-MS/-MS	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit gekoppelter Tandem-Massenspektrometrie
IWU	Institut für Wasser- und Umweltanalytik GmbH Luisenthal
Kap.	Kapitel
KKA	Kleinkläranlage
km ²	Quadratkilometer
l	Liter
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LOQ	Limit of Quantitation (Bestimmungsgrenze)
LSN	Landesamt für Statistik Niedersachsen
LSKN	Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen (2008 - 2013)
max.	maximal
µg	Mikrogramm (10 ⁻⁶ Gramm)
ng	Nanogramm (10 ⁻⁹ Gramm)
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
RKM	Röntgenkontrastmittel
t	Tonne
TAM	Tierarzneimittel
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolett
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Vorwort



In der medizinischen Versorgung von Mensch und Tier spielen Arzneimittel eine unverzichtbare Rolle. Aufgrund des demographischen Wandels ist der Verbrauch in Deutschland in den letzten Jahren gestiegen und wird auch zukünftig weiter zunehmen.

Nach der Anwendung verbleiben Arzneimittel nicht im Körper, sondern werden von Mensch und Tier überwiegend wieder ausgeschieden. Über das Abwasser oder die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern können die Wirkstoffe und ihre Abbauprodukte in die Umwelt gelangen. In Oberflächengewässern und auch im Grundwasser können Rückstände von Arzneimitteln häufig nachgewiesen werden.

Die Konzentrationen von Arzneimittelrückständen in den Gewässern sind in der Regel sehr gering, womit die Arzneimittel, wie auch Pflanzenschutzmittel oder Industriechemikalien, zu den Spurenstoffen gezählt werden.

Welche Auswirkungen die Rückstände von Arzneistoffen in der Umwelt auf Organismen haben, ist generell bisher wenig erforscht. Negative Effekte einzelner Wirkstoffe auf Tiere und Pflanzen wurden allerdings bereits bestätigt. Folgen für den Menschen werden aktuell ausgeschlossen. Welche Effekte eine dauerhafte Exposition gegenüber auch kleinster Mengen von Arzneimittelwirkstoffen auf den Menschen ausüben können, ist aber bisher ebenfalls kaum untersucht. In diesem Zusammenhang sollte auch die Verbreitung von antimikrobiellen Resistenzen nicht außer Acht gelassen werden, die in den letzten Jahren immer häufiger diskutiert werden und eine potentielle gesundheitliche Gefahr darstellen.

Daher ist es bereits jetzt wichtig, die Folgen des Arzneimittelkonsums auf die Umwelt im Auge zu

behalten. Besonders mit Blick auf das Grundwasser, das in Niedersachsen mit einem Anteil von 86 % unsere bedeutendste Trinkwasserquelle darstellt, haben die Untersuchungen auf Rückstände von Arzneimitteln eine hervorzuhebende Bedeutung.

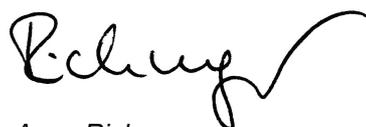
Bislang wurden in Niedersachsen ausschließlich regionale Untersuchungen durchgeführt. Gegenstand dieses Berichtes ist das landesweite Screening auf Arzneimittel im Grundwasser, mit dem erstmals eine flächendeckendere Untersuchung durchgeführt wurde. Im Fokus standen Human- sowie Tierarzneimittel. Die Ergebnisse ermöglichen uns einen ersten Überblick über die Belastungssituation im gesamten Land.

Es ist besorgniserregend, dass an nahezu einem Drittel der 287 Grundwassermessstellen, die im Rahmen des landesweiten Screenings untersucht wurden, Rückstände gefunden wurden. Bemerkenswert ist ebenfalls, dass mit 22 der 37 analysierten Wirkstoffe und Transformationsprodukte ein Großteil des untersuchten Stoffspektrums nachgewiesen werden konnte. Die Ergebnisse zeigen, dass es sich nicht ausschließlich um ein regionales Problem handelt.

Wir müssen die Entwicklung in allen Landesteilen weiterhin beobachten und auch lokale Untersuchungen an ausgewählten Standorten durchführen, um mehr Informationen und Erkenntnisse zu sammeln. Dies kann uns bei der Risikobewertung weiterhelfen oder weitere Hinweise für Maßnahmen, wie z. B. die Optimierung des Mitteleinsatzes zur Minimierung des Eintrags von Wirkstoffrückständen liefern.

Die bisherigen Untersuchungen haben uns einen wertvollen Überblick geliefert, sie können aber nur ein Anfang gewesen sein.

Arzneimittel sind kein natürlicher Bestandteil des Grundwassers und im Sinne des Vorsorgeprinzips muss ein weiterer Eintrag in das Grundwasser unbedingt vermieden werden.



Anne Rickmeyer
Direktorin NLWKN

Zusammenfassung

Im Jahr 2015 startete das Screening zur Untersuchung auf Rückstände von Arzneimitteln im Grundwasser Niedersachsens, um einen landesweiten Überblick über die Belastungssituation zu erlangen. Nachdem in den Vorjahren ausschließlich regionale Untersuchungen durch das Umweltbundesamt (UBA) und den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) durchgeführt wurden, ist dies die erste landesweit angelegte Untersuchung. 2018 endete das landesweite Screening. Die Nachverfolgung von Eintragspfaden und eine Ursachenforschung an einzelnen Grundwassermessstellen waren nicht Ziel dieser Untersuchung.

Die Anzahl der untersuchten Grundwassermessstellen wurde im Untersuchungszeitraum sukzessive gesteigert. Zwischen 2015 und 2018 wurden insgesamt 287 Messstellen untersucht. Für die Auswahl der Messstellen wurde ein „worst case“-Ansatz zugrunde gelegt. Hierzu sind möglichst Messstellen u. a. im Bereich durchlässiger Böden, mit geringem Abstand zwischen Gelände- und Grundwasseroberfläche sowie entsprechend der untersuchten Arzneimittelgruppen in potentiell eintragsgefährdeten Gebieten ausgewählt worden.

Zwischen 2015 und 2016 lag der Fokus der Untersuchung auf Antibiotika aus der Stoffgruppe der Sulfonamide, die als Tierarzneimittel (TAM) eingesetzt werden. Ab 2017 wurden weitere Wirkstoffe, vornehmlich Humanarzneimittel (HAM) in die Untersuchung aufgenommen (u. a. Analgetika und Röntgenkontrastmittel). Insgesamt wurde im landesweiten Screenings auf 37 Arzneimittelwirkstoffe oder Wirkstoffmetaboliten untersucht.

An insgesamt 90 (31 %) der 287 untersuchten Messstellen wurden Wirkstoffrückstände nachgewiesen. Von den 37 untersuchten Stoffen wurden 22 in den Grundwasserproben gefunden. Besonders häufig Sulfadimidin, Amidotrizoesäure und 4-OH-Sulfadiazin.

Die Konzentrationen von Sulfamethoxazol, Amidotrizoesäure, Sulfadimidin, Diclofenac, Carbamazepin, 4-OH-Sulfadiazin und Gabapentin überschritten in einzelnen Messungen den vom UBA vorgeschlagenen Grenzwert von 100 ng/l. Einzelwerte von Diclofenac und Carbamazepin lagen über den stoffspezifischen

Gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) von 300 ng/l. An insgesamt 32 Messstellen wurden mindestens zwei oder mehr unterschiedliche Wirkstoffrückstände nachgewiesen.

Bei allgemeiner Betrachtung lässt sich eine nahezu flächendeckende Verteilung der Messstellen mit positiven Befunden erkennen.

Messstellen mit Nachweisen von TAM-Rückständen wurden allerdings anteilmäßig in Gebieten mit hoher Viehbesatzdichte ($\geq 1,75$ GV/ha LF) häufiger gefunden als in viehschwächeren Regionen (22,4 % und 10,4 %). Gleiches gilt für die Anteile der Messstellen mit Funden von Rückständen aus der Wirkstoffklasse der Antibiotika in den jeweiligen Gebieten (27,1 % und 17,3 %). Auch in den Regionen mit hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (KKA) (> 15 Einw. mit KKA/km²) wurden höhere Anteile an Messstellen mit Funden von TAM sowie mit Antibiotika gefunden als in den weniger dicht mit an Kleinkläranlagen angeschlossenen Einwohnern besiedelten Gebieten (18,1 % und 12,3 %). Diese Übereinstimmungen in den Ergebnissen sind vermutlich auch auf großflächige Überschneidungen der jeweiligen Gebiete mit hoher Viehbesatzdichte und hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen zurückzuführen.

Die Anteile der Messstellen mit Nachweisen von HAM-Rückständen und ebenso der Messstellen mit Nachweisen nicht antibiotisch wirkender Stoffe sind in den gegenübergestellten Gebieten nahezu identisch (zwischen 16,5 % und 16,9 %). Mit Bezug auf die im landesweiten Screening ermittelten Fundhäufigkeiten und die flächenhafte Verbreitung der positiven Befunde sowie die Annahme, dass der Verbrauch von Arzneimitteln in naher Zukunft noch zunehmen wird, ist eine Verstärkung der Untersuchungen in Form eines routinemäßigen Monitorings dringend zu empfehlen. Für viele Wirkstoffe liegen noch keine ausreichenden Informationen zu ihrem Verhalten in der Umwelt und ihrer Wirkung auf Organismen vor. Auch die Vorsorgebestrebungen zur Verhinderung der Verschlechterung der Grundwasserqualität gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie sowie das potentielle Risiko der Verbreitung von Antibiotikaresistenzen sprechen für eine Intensivierung der Beobachtung der Belastungssituation im Grundwasser.

1 Einleitung

In der modernen medizinischen Versorgung von Mensch und Tier bildet der Einsatz von Arzneimitteln einen wesentlichen Bestandteil. Sie sind in unserem Leben nahezu allgegenwärtig. Die Zahl der eingesetzten Wirkstoffe ist im Laufe der medizinischen Entwicklung in den letzten Jahrzehnten immer weiter angestiegen (SRU 2007). Allgemein nimmt der durchschnittliche Verbrauch an Medikamenten beim Menschen mit steigendem Lebensalter zu. Aufgrund des demographischen Wandels ist zukünftig mit einer Zunahme des Arzneimittelverbrauchs zu rechnen (UBA 2014, CIVITY 2017).

Auch der Einsatz von Röntgenkontrastmitteln (RKM) ist in den letzten Jahren gestiegen (UBA 2013). Laut § 2 des Arzneimittelgesetzes (zuletzt geändert am 20.11.2019) zählen die RKM in Deutschland zu den Arzneimitteln. Diese Definition beruht auf der EU-Richtlinie 2001/83/EG zur Schaffung eines Gemeinschaftskodexes für Humanarzneimittel (Art. 1, Abs. 2). Stoffe, die zur Erstellung einer medizinischen Diagnose dienen, gehören hiernach auch zu den Arzneimitteln. Dazu zählen auch die RKM (TAB 2019). In dem hier vorliegenden Bericht werden RKM dementsprechend als Arzneimittel bezeichnet.

Im Bereich der Veterinärmedizin hat besonders die landwirtschaftliche Intensivtierhaltung den Einsatz von Arzneimitteln zur Folge. Häufig kommen Antibiotika zur Anwendung. In der Vergangenheit wurden Arzneimittel dabei nicht nur zu Therapiezwecken am Einzeltier, sondern auch vorbeugend (prophylaktisch) oder bei Erkrankung eines Einzeltieres am gesamten Tierbestand eines Betriebes (metaphylaktisch) eingesetzt (SRU 2007, UBA 2014a). Die EU-Verordnung 2019/6 (2018) erlaubt einen meta- oder prophylaktischen Gebrauch nur noch in begründeten Ausnahmefällen (z. B. hohes Infektionsrisiko). Der Einsatz von Antibiotika zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit ist bereits seit 2006 in der Tierhaltung verboten (TAB 2019).

Arzneimittel gelangen unverändert oder als Metaboliten nach bestimmungsgemäßer Anwendung über die Ausscheidungen von Mensch und Tier in die Umwelt. Auf direktem Wege können sie auch durch unsachgemäße Entsorgung, z. B. über die Toilette oder den Abguss, eingetragen werden. Auf verschiedenen Pfaden können sie auch das Grundwasser erreichen (BLAC 2003, SRU 2007, LANUV 2007, NLWKN 2017).

Um einen ersten landesweiten Überblick zu erhalten, wo und in welchen Konzentrationen Rückstände von Arzneimitteln (aus Veterinär- und Humanmedizin) im Grundwasser Niedersachsens nachgewiesen werden können, wurde das landesweite Screening in den Jahren von 2015 bis 2018 durchgeführt. In den ersten beiden Jahren wurde im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums (MU) der Fokus auf diffuse Einträge von Arzneimitteln in das Grundwasser gelegt, die in der Tierhaltung zum Einsatz kommen.

Bereits vor und auch während der Laufzeit des landesweiten Screenings fanden in Niedersachsen regionale Untersuchungen des Grundwassers auf Arzneimittelrückstände statt. Die Vorgehensweise (u. a. Messstellen- und Parameterauswahl) der landesweiten Untersuchung orientierte sich dabei zunächst an vorherigen regionalen Untersuchungen (siehe Kap. 2). Erkenntnisse aus bereits abgeschlossenen Projekten (z. B. Häufigkeit der Nachweise verschiedener Wirkstoffgruppen) wurden ebenfalls für das Konzept der ersten Untersuchungsphase des landesweiten Screenings genutzt.

In den Folgejahren wurden sowohl das Messnetz nach geänderten Kriterien ausgeweitet und ab 2017 das zu untersuchende Wirkungsspektrum erweitert (siehe Kap. 4.1 und 4.3).

Eine Ursachenforschung oder Nachverfolgung von Eintragspfaden an einzelnen belasteten Standorten war nicht Gegenstand dieses Screenings.

2 Regionale Untersuchungen in Niedersachsen

In einem Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes (UBA) wurden in den Jahren 2012 und 2013 insgesamt 48 Grundwassermessstellen in vier Bundesländern, darunter 20 Standorte in Niedersachsen, auf Rückstände von Tierarzneimitteln (TAM) untersucht. Bei den Wirkstoffen handelte es sich um Antibiotika aus verschiedenen Wirkstoffgruppen (u. a. Sulfonamide, Makrolide, Tetracycline). Ziel des Projektes war es, „anhand eines „worst case“-Ansatzes zu untersuchen, ob bei ungünstigen Standortbedingungen und unter repräsentativen Probenahmebedingungen der Eintrag ausgewählter Tierarzneimittel in das oberflächennahe Grundwasser nachgewiesen bzw. ausgeschlossen werden kann“ (Projektbericht siehe UBA 2014a). Ungünstige Standortbedingungen ergeben sich in diesem Fall u. a. durch intensive landwirtschaftliche Nutzung auf durchlässigen Böden. An sechs von 20 Messstellen in Niedersachsen (Landkreise Cloppenburg, Vechta, Emsland und Grafschaft Bentheim) wurden Rückstände und Metaboliten aus der Wirkstoffgruppe der Sulfonamide im Grundwasser nachgewiesen. Dabei handelte es sich um die drei Wirkstoffe Sulfadiazin, Sulfadimidin und Sulfamethoxazol (UBA 2014a).

In einem Folgeprojekt des UBA (2014-2016) und einem begleitenden Projekt (2015-2016) des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (NLWKN) wurden an den Standorten der sechs niedersächsischen Messstellen mit positiven Befunden aus dem Vorgängerprojekt Untersuchungen zur Ermittlung der Eintragungspfade der Wirkstoffrückstände und Metaboliten ins Grundwasser durchgeführt (Projektberichte siehe UBA 2016 und NLWKN 2017). Dabei wurden Wirtschaftsdünger, Böden, Grundwasser, Kleinkläranlagen, oberirdische Gewässer (Gräben), Dränauslässe und an einem Standort auch das Sickerwasser auf Antibiotika aus der Stoffgruppe der Sulfonamide untersucht. Als Abwasserindikatoren wurden außerdem der Süßstoff Acesulfam-K, Koffein und das in der Humanmedizin eingesetzte Antiepileptikum Carbamazepin analysiert. Entscheidend war bei diesem Projekt die enge Zusammenarbeit mit den ansässigen Landwirten, die das Projekt durch die Bereitstellung von Daten zum Antibio-

tikaeinsatz in ihren Tierbeständen unterstützt haben.

An allen sechs untersuchten Standorten konnte der Eintrag von Antibiotikarückständen (hier Sulfadimidin und Sulfadiazin bzw. dessen Transformationsprodukte) vom Wirtschaftsdünger über den Boden in das Grundwasser nachvollzogen werden. Für einen Standort kann auch auf einen Eintrag von Sulfamethoxazol, welches als Humanarzneimittel (HAM) sowie als TAM zum Einsatz kommt, über eine Kleinkläranlage (KKA) ins Grundwasser geschlossen werden. An einem weiteren Standort wird der Eintrag von Sulfamethoxazol über eine Kleinkläranlage als sehr wahrscheinlich eingestuft (NLWKN 2017).

Um die Verbreitung der Sulfonamide und ihrer Metaboliten insbesondere im Grundwasser viehstarker Gebiete festzustellen, wurde neben dem landesweiten Screening in den Regionen Niedersachsens mit einer Viehbesatzdichte $> 1,75$ GV/ha LF zwischen 2016 und 2017 durch den NLWKN eine Schwerpunktuntersuchung an einem verdichteten Messnetz durchgeführt. Die Untersuchungen wurden ergänzt durch die Abwasserindikatoren Acesulfam-K, Carbamazepin und Bor. An 20 % der untersuchten Messstellen wurden Rückstände von Sulfonamiden nachgewiesen (siehe Kap. 6.5). Zusätzlich zu den schon in vorherigen regionalen Untersuchungen in Niedersachsens (s. o.) detektierten Stoffen Sulfadiazin, Sulfadimidin, Sulfamethoxazol bzw. ihrer Abbauprodukte, wurden noch Sulfadimethoxin, Sulfachloropyridazin und Sulfamethoxy-pyridazin in den Grundwasserproben gefunden. Die Ergebnisse wurden 2018 im Bericht „Antibiotika im Grundwasser viehstarker Regionen Niedersachsens“ veröffentlicht (NLWKN 2018, Karfusehr et al. 2019).

In zwei Untersuchungszeiträumen (2012 und 2015 bis 2016) wurden durch den NLWKN regionale Untersuchungen zum Einfluss von Abwasser- und Klärschlammverregnung auf Grund- und Oberflächenwasser im Raum Braunschweig-Wolfsburg durchgeführt. Dabei standen HAM sowie RKM im Fokus. Untersucht wurde neben RKM u. a. auf Schmerzmittel, Antibiotika, Blutdruck- und Cholesterinsenker.

Wiederholt wurden in den Oberflächen- und

Grundwasserproben Rückstände von HAM und RKM nachgewiesen (NLWKN 2017a). Teilweise überschritten die gemessenen Konzentrationen im Grundwasser die einzelstoffspezifischen Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) des UBA (UBA 2019). Dies war für die RKM Diatrizoat (Amidotrizoesäure) und Iopamidol, die Antiepileptika Carbamazepin und Gabapentin sowie

das Schmerzmittel Diclofenac der Fall (NLWKN 2017a).

Eine Übersicht zu den genannten Projekten, in denen auf Rückstände von Arznei- oder Röntgenkontrastmittel im Grundwasser untersucht wurde, zeigt Abbildung 1.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
UBA	Antibiotika und Antiparasitika im Grundwasser unter Standorten mit hoher Viehbesatzdichte (NRW, NDS u.a.)						
UBA			Aufklärung der Ursachen von Tierarzneimittelfunden im Grundwasser - Untersuchung eintragsgefährdeter Standorte in Norddeutschland (NRW, NDS, SH)				
NLWKN				Ermittlung der Ursachen des Eintrages von Tierarzneimitteln in das oberflächennahe Grundwasser			
NLWKN				Landesweites Screening - Antibiotika im Grundwasser Niedersachsens		Landesweites Screening - Arzneimittel im Grundwasser Niedersachsens	
NLWKN					Antibiotika im Grundwasser viehstarker Regionen Niedersachsens		
NLWKN	Arzneimittel- und RKM-Rückstände im GW - Untersuchung in Abwasser- bzw. Klärschlammverregnungsgebieten			Rückstände von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln im Grund- und Oberflächenwasser - Wiederholende und ergänzende Untersuchung in Abwasser- bzw. Klärschlammverregnungsgebieten			

Abb. 1: Projekte in Niedersachsen zur Untersuchung von Arznei- oder Röntgenkontrastmitteln im Grundwasser seit 2012. GW – Grundwasser, RKM – Röntgenkontrastmittel.

3 Arzneimittel in der Umwelt

Arzneimittel kommen in der Human- sowie in der Veterinärmedizin zum Einsatz. Neben Wirkstoffen, die nur für einen der beiden Anwendungsgebiete zugelassen sind, gibt es auch Stoffe (z. B. die Antibiotika Sulfamethoxazol, Sulfadiazin und Amoxicillin), die in beiden Bereichen parallel eingesetzt werden können (HAMSCHEER et al. 2013, BALZER et al. 2015, DIMDI 2018). In der Regel unterscheiden sich je nach Anwendungsbereich die vorrangigen Eintragspfade der Wirkstoffrückstände in die Umwelt (SRU 2007). Verschiedene Wirkstoffe können innerhalb derselben Wirkstoffgruppe deutliche Unterschiede in

der Mobilität, im Abbauverhalten sowie der Umweltrelevanz (siehe Kap. 3.3 und 3.4) aufweisen (ZESSEL 2012, HAMSCHEER et al. 2013). Einer vom UBA in Auftrag gegebenen Literaturstudie zufolge, wurden in Deutschland bereits über 150 verschiedene Arzneimittelwirkstoff-Rückstände (inkl. Metaboliten) in verschiedenen Umweltmatrices (u. a. Grundwasser, Oberflächengewässer, Klärschlamm, Rohwasser, Gülle und Böden) nachgewiesen (UBA 2011).

3.1 Anwendung und Verbrauch

Für den humanmedizinischen Bereich stehen in Deutschland etwa 2.300 unterschiedliche Arzneimittelwirkstoffe zur Verfügung. Davon gelten ca. 1.200 Wirkstoffe als potentiell umweltrelevant (siehe Kap. 3.4). Für die übrigen Wirkstoffe wird eine Umweltrelevanz ausgeschlossen, da es sich u. a. um pflanzliche Arzneimittel, Elektrolyte, Vitamine, nicht toxische oder natürlich vorkommende Substanzen handelt (UBA 2014). Der Verbrauch an Wirkstoffen aus der Humanmedizin wurde in Deutschland laut UBA (2018) im Jahr 2012 auf etwa 30.000 t geschätzt, davon entfallen ca. 8.100 t auf potentiell umweltrelevante Wirkstoffe (LAWA 2016, UBA 2018). Dabei decken 16 Wirkstoffe (Tab. 1) etwa zwei Drittel dieser Menge an potentiell umweltrelevanten Wirkstoffen ab.

Anhand der Arzneimittelverordnungen innerhalb der gesetzlichen Krankenversicherungen lässt sich zwischen 2009 und 2015 ein Anstieg des Verbrauchs rezeptpflichtiger Arzneimittel pro Kopf um ca. 16 % nachverfolgen. Die Anteile der Absatzmengen rezeptfreier und verschreibungspflichtiger Medikamente waren laut CIVITY

(2017) in den Jahren 2015 und 2016 vergleichbar groß. Obwohl die Gruppe der gesetzlich versicherten Personen über 60 Jahre im Jahr 2015 nur einen Anteil von ca. 28 % der Gesamtversicherten ausmachte, verbrauchten sie etwa 65 % der verschriebenen Tagesdosen an Arzneimitteln (CIVITY 2017). Mit Blick auf die demographische Entwicklung in Deutschland ist auch zukünftig von einer weiteren Steigerung des Arzneimittelverbrauchs auszugehen (UBA 2014). Nach einer vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) beauftragte Studie wird zwischen 2015 und 2045 eine Zunahme des rezeptpflichtigen HAM-Verbrauchs um 43 bis 69 % prognostiziert (CIVITY 2017).

Röntgenkontrastmittel kommen in der Humanmedizin zum Einsatz. Angewendet werden sie in Krankenhäusern und Röntgenpraxen. Ihr Verbrauch ist zwischen den Jahren 2003 und 2012 von 352 t auf 454 t gestiegen (UBA 2013, LAWA 2016).

Tab. 1: Liste der 16 meistverbrauchten Humanarznei- und Röntgenkontrastmittel mit potentieller Umweltrelevanz im Jahr 2012 in Deutschland (verändert nach UBA 2014, SCHWABE et al. 2018, DIMDI 2018).

Potentiell umweltrelevanter Wirkstoff	Wirkstoffklasse	Mengenanteil* in %
Metformin	Antidiabetika (Diabetes-Behandlung)	20
Ibuprofen	Analgetika** (Schmerzmittel)	12
Metamizol	Analgetika** (Schmerzmittel)	8
Acetylsalicylsäure	Analgetika** (Schmerzmittel)	7
Paracetamol	Analgetika** (Schmerzmittel)	6
Iomeprol	Röntgenkontrastmittel	3
Metoprolol	Betablocker (Blutdrucksenker)	2
Allopurinol	Urikostatika (Gicht-Behandlung)	2
Amoxicillin	Antibiotika (Infektionsbehandlung)	2
Acetylcystein	Expektorantien (Husten-/Schleimlöser)	1
Mesalazin	Antiphlogistika (Entzündungshemmer)	1
Valproinsäure	Antiepileptika (Epilepsie-Behandlung)	1
Levetiracetam	Antiepileptika (Epilepsie-Behandlung)	1
Valsartan	Antihypertensiva*** (Blutdrucksenker)	1
Diclofenac	Analgetika** (Schmerzmittel)	1
Gabapentin	Antiepileptika (Epilepsie-Behandlung)	1

* Von insgesamt ca. 8.100 t

** Können u.U. auch weitere Wirkungen, z.B. als Entzündungshemmer (Antiphlogistikum, Antirheumatikum), Fieber- (Antipyretikum) o.ä., haben.

*** Sammelbegriff für Blutdrucksenker

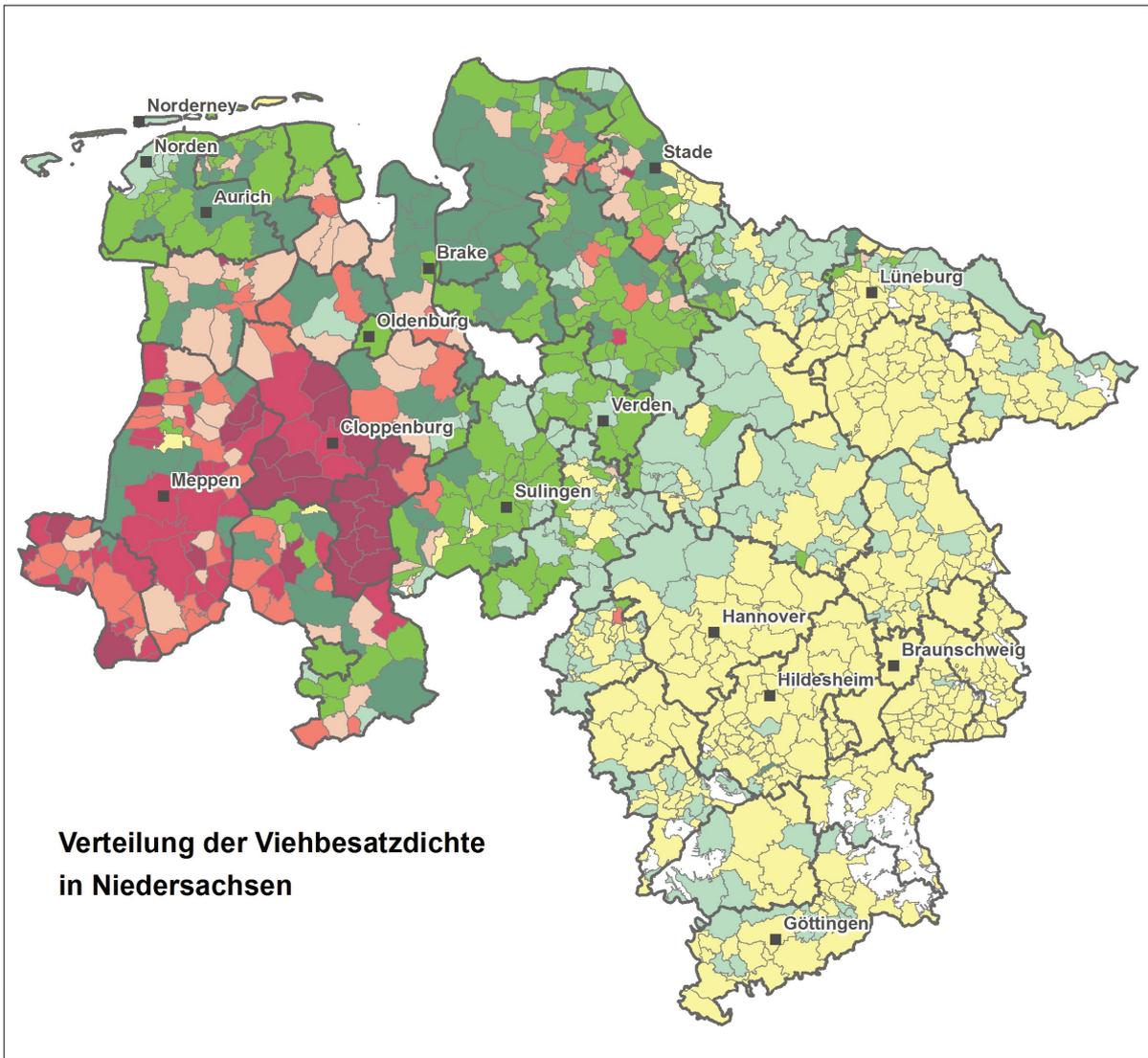
Für den veterinärmedizinischen Bereich gibt es in Deutschland bislang noch keine zentrale Erfassung der Abgabe- oder Verbrauchsmengen für alle eingesetzten Arzneimittel. Für Antibiotika stehen seit 2011 gemäß § 47 Abs. 1c und § 67a des Arzneimittelgesetzes (AMG) (zuletzt geändert am 20.11.2019) Daten zu Abgabemengen von Großhändlern und pharmazeutischen Unternehmen an tierärztliche Hausapotheken beim Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) zur Verfügung (BVL 2020). In Deutschland sind laut UBA (2018) rund 430 Wirkstoffe als TAM zugelassen. Etwa 270 von ihnen können als potentiell umweltrelevant eingestuft werden. Hierbei gelten dieselben Kriterien wie bei den HAM (UBA 2018). Den größten Anteil am Tierarzneimittelmarkt nahmen im Jahr 2018 nach Schätzungen des Bundesverbands für Tiergesundheit e. V. mit ca. 37 % die sogenannten „pharmazeutischen Spezialitäten“ ein. Dazu gehören u. a. Antiphlogistika (Entzündungshemmer), verschiedene Herz-Kreislauf-Medikamente oder Hormone. Biologika, vorwiegend Präparate zur Steigerung der Immunabwehr, nahmen 28 % ein. Die Marktanteile von Antiparasitika wurden auf 18 % und die der Antiinfektiva, zu denen auch die Antibiotika zählen, auf etwa 17 % geschätzt (BfT 2019). Besonders in den landwirtschaftlichen Betrieben mit Intensivtierhaltung kommen bedeutende Mengen an TAM zum Einsatz. Hervorzuheben ist der Einsatz von Antibiotika. Im Jahr 2019 lag die Abgabemenge von Antibiotika an tierärztliche Hausapotheken in Deutschland bei 670 t. Im Jahr 2011 waren es noch 1.706 t (BVL 2020). In der Humanmedizin lag der Verbrauch von Antibiotika zum Vergleich in den zurückliegenden

Jahren bei 600 bis 700 t pro Jahr (Bätzing-Feigenbaum et al. 2016).

Die Antibiotika-Wirkstoffgruppen, die 2019 in der Tiermedizin am häufigsten zur Anwendung kamen, sind die Penicilline (39 %), Tetracycline (21 %), Polypeptid-Antibiotika (10 %), Sulfonamide (9 %) und Makrolide (9 %) (BVL 2020).

Insbesondere im Nordwesten Deutschlands werden vergleichsweise hohe Mengen Antibiotika abgegeben und spiegeln den hohen Viehbesatz in der Region wider (Hannappel et al. 2014). Die Landkreise in Niedersachsen mit den meisten Großvieheinheiten (GV) pro Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) sind die Landkreise Vechta (3,64 GV/ha LF), Cloppenburg (3,05 GV/ha LF), Grafschaft Bentheim (2,55 GV/ha LF) und Emsland (2,35 GV/ha LF) (LSN 2018). Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Viehbesatzdichte auf Gemeindeebene.

Die Angaben zur Viehbesatzdichte sind in acht Klassen unterteilt dargestellt. Diese Klasseneinteilung wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit von den Projekten des UBA (2012-2013 und 2014-2016) sowie des NLWKN (2015-2016) übernommen (siehe Kap. 2). Für die Unterteilung in viehstarke und viehschwache Gebiete wird in den genannten Projekten die Grenze bei 1,75 GV/ha LF gezogen (siehe UBA 2014a, UBA 2016, NLWKN 2017 und NLWKN 2018). Eine allgemeingültige Festlegung existiert nicht. Die durchschnittliche Viehbesatzdichte in Niedersachsen beträgt 1,22 GV/ha LF (LSN 2018).



**Verteilung der Viehbesatzdichte
in Niedersachsen**

Großvieheinheiten (GV) je
Hektar landwirtschaftliche
Nutzfläche (LF)

- < 0,5
- 0,5 bis < 1,0
- 1,0 bis < 1,5
- 1,5 bis < 1,75
- 1,75 bis < 2,0
- 2,0 bis < 2,5
- 2,5 bis < 3,0
- 3,0 und mehr

(Quelle: LSN 2018)

- NLWKN-Standorte
- Landkreisgrenzen

1:1.700.000

0 12,5 25 50 75 100 Kilometer



Aufgestellt: L. Germershausen
NLWKN Geschäftsbereich III,
Aufgabenbereich Grundwasser

Hildesheim, 21.12.2018

Quelle:
Auszug aus den Geobasisdaten der
Niedersächsischen Vermessungs-
und Katasterverwaltung

©2012



Niedersachsen

3.2 Eintragungspfade in die Umwelt

Nach der Anwendung werden große Anteile vieler Wirkstoffe unverändert oder metabolisiert von den Menschen oder Tieren wieder ausgeschieden (BLAC 2003, HANNAPPEL et al. 2014). Bei RKM können diese Anteile bis über 90 % betragen (LAWA 2016). Der mengenmäßige dominierende Eintragungspfad von HAM-Rückständen in die Umwelt erfolgt über kommunale Abwässer (Abb. 3). Auch die unsachgemäße Entsorgung nicht genutzter Arzneimittel über die Toilette oder die Spüle bilden einen nicht zu vernachlässigenden Eintragungspfad. Nach Götz et al. (2014) gaben bei einer deutschlandweiten Repräsentativbefragung im Rahmen des BMBF-Projekts „TransRisk“ etwa die Hälfte der 2.000 befragten Bürger an, flüssige Arzneimittel über die Spüle oder die Toilette zu entsorgen. Geschätzt gelangen auf diesem Weg in Deutschland einige Hundert Tonnen Arzneimittel pro Jahr direkt in das Abwasser (Götz et al. 2014). In den meisten Kläranlagen können die Rückstände einiger Arzneimittel nur unzureichend oder gar nicht abgebaut werden (siehe Kap. 3.3). Mit dem geklärten Abwasser gelangen sie dann in die anliegenden Oberflächengewässer. Ungeklärtes Abwasser mit Wirkstoffrückständen kann durch Leckagen im Kanalsystem das Grundwasser kontaminieren (LANUV 2012, LAWA 2016). Auswertungen einer Befragung der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) aus dem Jahr 2015 zum Zustand der Kanalisation in Deutschland lassen auf einen Anteil der öffentlichen Kanalhaltungen, der kurz- oder mittelfristig sanierungsbedürftige Schäden aufweist, von ca. 19 % schließen (DWA 2016).

Kleinkläranlagen dienen der Behandlung häuslichen Abwassers und kommen an Orten zum Einsatz, an denen ein Anschluss an die kommunale Abwasserkanalisation nicht gegeben ist. Dies betrifft meist abgelegene Häuser, kleine Ortschaften und Streusiedlungen. Nach DIN 4261 (Teil 1) bestehen Kleinkläranlagen mindestens aus einer mechanischen und einer biologischen Reinigungsstufe (MELUR 2014). Ein vollständiger Abbau von Arzneimittelrückständen ist, wie auch in den kommunalen Anlagen, in Kleinkläranlagen nicht gewährleistet (NLWKN 2017, NLWKN

2017a). Durch die Einleitung des geklärten Abwassers über Sickermulden oder Verrieselungsstränge in den Untergrund sowie nach Genehmigung entsprechend §§ 8 und 9 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in oberirdische Gewässer (MELUR 2014), können Wirkstoffrückstände bis in das Grundwasser versickern (NLWKN 2017, NLWKN 2017a).

Über Klärschlämme können HAM-Rückstände ebenfalls in die Umwelt eingetragen werden. Werden diese beispielsweise zur Düngung in der Landwirtschaft genutzt, können die enthaltenen Stoffe über den Boden durch Abschwemmung oder Auswaschung in Oberflächengewässer oder das Grundwasser gelangen. Während der Aufbereitung und Lagerung des Klärschlammes kann ein Abbau oder eine Transformation der Wirkstoffrückstände erfolgen (LANUV 2007, Lehmann 2017).

Potentielle Eintragungspfade von HAM-Wirkstoffen in die Umwelt ergeben sich ebenfalls über industrielle Abwässer von Pharmaproduzenten, Abwasserverrieselung sowie Sickerwässer aus Altdeponien (BLAC 2003, LANUV 2007, SRU 2007, NLWKN 2017a).

Die Ausscheidungen von Tieren aus landwirtschaftlichen Betrieben werden meist als Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche oder Mist) auf Acker- und Grünlandflächen ausgebracht. Dieses ist der Haupteintragungspfad von Arzneimittelrückständen aus der Veterinärmedizin in die Umwelt und damit auch in das Grundwasser (BLAC 2003, LANUV 2007, SRU 2007, NLWKN 2017). Durch das wiederholte Aufbringen von Wirtschaftsdüngern kann es zu einer Anreicherung von Wirkstoffrückständen in den Böden kommen (UBA 2014, NLWKN 2017). Nach einer Studie der Bund//Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC) aus dem Jahr 2003 konnten in Ackerböden, die nicht mit Wirtschaftsdüngern behandelt wurden, auch keine TAM-Rückstände nachgewiesen werden. Über Abschwemmungsprozesse an der Oberfläche oder über Dränagewasser kann eine Verlagerung in Oberflächengewässer erfolgen (BLAC 2003, LANUV 2007, Balzer et al. 2015, NLWKN 2017).

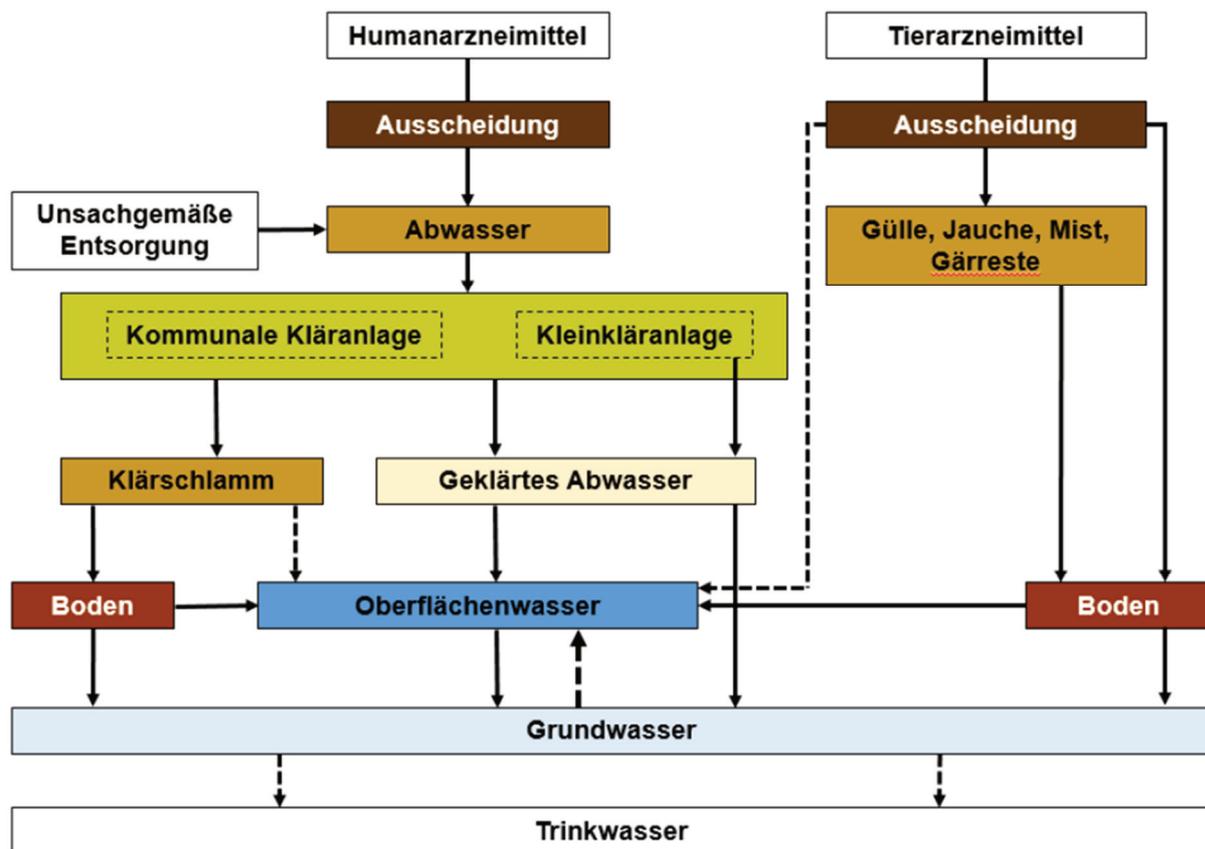


Abb. 3: Eintragspfade von Arzneimitteln in unterschiedliche Umweltkompartimente (NLWKN 2018, verändert nach UBA 2014).

Wirkstoffrückstände können über die Ausscheidungen weidender Tiere, die zuvor behandelt wurden, mit dem Sickerwasser bis in das Grundwasser verlagert werden. Auf direktem Wege gelangen Tierarzneimittel u. a. beim Einsatz in Aquakulturen oder in geringeren Mengen auch bei der äußerlichen Anwendung an Weidetieren in die Umwelt. Durch Stallstäube, Hofabflüsse oder eine unsachgemäße Entsorgung kann es über das Abwasser zu einer Verbreitung kommen (BLAC 2003, SRU 2007, LANUV 2007, Gans 2007, Hamscher & Höper 2007).

Neben Wirkstoffen, die entweder in der Humanmedizin oder in der Veterinärmedizin zugelassen sind, gibt es auch Stoffe (z. B. das Antibiotikum Sulfamethoxazol), die in beiden Bereichen genutzt werden (siehe Tab. 2). In der Regel unterscheiden sich je nach Anwendungsbereich die vorrangigen Eintragspfade der Wirkstoffrückstände in die Umwelt (Abb. 3). Die Mobilität sowie die Umweltrelevanz verschiedener Wirkstoffe können selbst innerhalb einer Wirkstoffgruppe deutliche Unterschiede aufweisen (Hamscher et al. 2013).

3.3 Verhalten in der Umwelt

Das Transportverhalten von Arzneimitteln und ihrer Abbauprodukte in Umweltmedien ist von verschiedenen chemisch-physikalischen Faktoren, wie z. B. der Polarität und somit der Wasserlöslichkeit und des Sorptionsverhaltens eines Stoffes, abhängig. Zudem spielen die Eigenschaften des durchströmten Bodens, Gesteins oder Sediments eine entscheidende Rolle. Hervorzuheben

sind der pH-Wert, der Gehalt an organischer Substanz, der Tonmineralanteil, die Wassersättigung sowie die vorherrschenden Redoxverhältnisse. Böden mit geringem Gehalt an organischer Substanz und niedrigem pH-Wert (z. B. stark sandige Böden) weisen ein vergleichsweise geringes Sorptionspotential auf (Mersmann 2003, Thiele-Bruhn 2003, SRU 2007, Schaffer et

al. 2012, UBA 2014a).

Die verschiedenen Wirkstoffgruppen weisen unterschiedliche Eigenschaften in ihrer Mobilität sowie im Abbau- und Transformationsverhalten auf. Eine vergleichsweise hohe Mobilität weisen z. B. die Stoffe Carbamazepin (Antiepileptikum) und Propyphenazon (Analgetikum) auf, während Clofibrinsäure (Lipidsenker) und auch die Tetracycline (Antibiotika) eine hohe Sorptionsfähigkeit besitzen (SRU 2007). Selbst innerhalb einer Wirkstoffgruppe treten zwischen den einzelnen Substanzen z. T. deutliche Unterschiede auf (Hamscher et al. 2013). Unter Einwirkung von UV-Licht nahezu vollständig abgebaut werden beispielsweise Sulfanilamid und Sulfathiazol aus der Gruppe der Sulfonamide, während die übrigen Sulfonamide eher geringe Abbauraten aufweisen (Zessel 2012, Hamscher et al. 2013). Obwohl auch Sulfonamide, wie z. B. Sulfadimidin und Sulfadiazin, im Boden gebunden werden, können sie langfristig immer wieder periodisch ausgewaschen werden und gelangen somit in der Regel schneller in das Grundwasser als beispielsweise Tetracycline oder Makrolide. Dies konnte auch durch Lysimeter- und Freilandversuche bestätigt werden (Hamscher et al. 2013, Mehrrens et al. 2020). Ob eine Substanz bis in das Grundwasser verlagert werden kann, ist auch von seiner Abbaugeschwindigkeit abhängig (BLAC 2003, UBA 2014a).

Eine Aufnahme von im Boden akkumulierten Antibiotika durch Pflanzen ist aufgrund der starken Bindung der Wirkstoffe an den Bodenpartikeln, wie z. B. bei Tetracyclinen, als gering einzustufen aber durchaus möglich. Mobile Wirkstoffe, wie Sulfonamide, werden meist nur in geringen Mengen von Nutzpflanzen aufgenommen (Thiele-Bruhn 2003, KTBL 2005, LANUV 2007, Lehmann 2017).

Transformationsprodukte haben häufig andere physiko-chemische und ökotoxikologische Eigenschaften als der Ausgangswirkstoff. Sie können nach der Transformation wesentlich polarer und damit besser wassergängig sein (LAWA 2016). In unterschiedlichen Umweltmedien erfolgen Transformation und Abbau von Wirkstoffen auf verschiedene Arten. Es können biotische (mikrobielle Umwandlungsprozesse) und abiotische Prozesse (z. B. Photolyse, Hydrolyse, Oxidation oder Reduktion) beteiligt sein. Die Prozesse sind vorwiegend abhängig von Temperatur, pH-Wert,

Matrixeigenschaften, Lichteinwirkung sowie aeroben oder anaeroben Bedingungen (LANUV 2007, Fent 2013). Unter aeroben Verhältnissen laufen Transformations- und Abbauprozesse in der Regel schneller ab als unter anaeroben Bedingungen. Auch ein stärkerer Einfluss von UV-Licht hat meist eine zunehmende Transformation der Wirkstoffrückstände zur Folge (Fent 2013). U. a. ist der Wirkstoff Diclofenac (Analgetikum) zu den photolabileren Substanzen zu zählen (LAWA 2016).

Eine Transformation von in die Umwelt gelangten Arzneimittelrückständen kann u. a. auch in Kanalsystemen und (Klein-)Kläranlagen stattfinden. In einigen Fällen kann der biologische Abbau in Kläranlagen zur Entstehung von stabilen Transformationsprodukten führen (DWA 2014, LAWA 2016). Selbst in modernen Kläranlagen können die Rückstände einiger Arzneimittelwirkstoffe kaum entfernt werden. Die Eliminationsrate unterscheidet sich dabei von Substanz zu Substanz. Während Ibuprofen und Paracetamol (beides Analgetika) beispielsweise zu über 90 % abgebaut werden können, werden u. a. Amidotrizoesäure (RKM) und Carbamazepin (Antiepileptikum) nur in unerheblichem Maß beseitigt (Ternes et al. 2004 in LAWA 2016). Der Einsatz einer vierten Reinigungsstufe (z. B. Aktivkohle-Filtrierung, Oxidationsverfahren) kann die Arzneimittelrückstände im Abwasser weiter minimieren, eine vollständige Beseitigung aller Rückstände kann aber auch damit nicht erreicht werden (Jagemann et al. 2017, Olsson & Kümmerer 2019). Ähnliches gilt für Antibiotikarückstände in Wirtschaftsdüngern, die als Gärsubstrat in Biogasanlagen eingesetzt werden. Die Rückstände können auch hier nur teilweise eliminiert aber nicht vollständig entfernt werden (Spielmeyer et al. 2018). Im Rahmen der Untersuchungen des NLWKN zwischen 2015 und 2016 zur Ermittlung der Eintragspfade von Wirkstoffrückständen und Metaboliten ins Grundwasser (siehe Kap. 2) wurden in allen untersuchten Gärrestproben Rückstände von Antibiotika nachgewiesen (NLWKN 2017).

Zu den chemisch stabilsten Stoffen in der Medizin gehören die Röntgenkontrastmittel. Auch in Kläranlagen mit vierter Reinigungsstufe können sie nur unvollständig beseitigt werden (Dexheimer et al. 2010, LAWA 2016). In Verbindung mit starken chemischen Oxidationsmitteln können RKM in Transformationsprodukte umgewandelt werden (LAWA 2016) (siehe Kap. 3.4).

3.4 Umweltrelevanz und ökotoxikologische Wirkung

Aufgrund fehlender Langzeitstudien und Wirkungsdaten lassen sich die Risiken für die Umwelt, die von Arzneimittelrückständen ausgehen, meist noch nicht genau einschätzen. Arzneimittelwirkstoffe sind in der Regel biologisch hochaktive Substanzen, weshalb ihnen, sofern bisher nicht bereits genauer bekannt, gemeinhin ein potentiell hohes Risiko zu negativen Umweltwirkungen zuzuschreiben ist. Das gilt für Human- und ebenso für Tierarzneimittel (LAWA 2016). Von nicht-toxischen Naturstoffen, pflanzlichen Arzneimitteln, Peptiden (Eiweißbausteinen), Vitaminen o. ä. ist kein Risiko für die Umwelt zu erwarten (UBA 2014).

Etwa 1.200 Wirkstoffe aus der Humanmedizin und ca. 270 Wirkstoffe aus der Veterinärmedizin sind als potentiell umweltrelevant eingestuft (siehe Kap. 3.1).

Dies ist u. a. auf ihre hohe Persistenz in der Umwelt, bioakkumulierenden Eigenschaften und ihre toxische Wirkung auf Umweltorganismen zurückzuführen (LANUV 2007, UBA 2014). Die hohe Mobilität einer Substanz in der Umwelt kann ebenfalls als Kriterium für Umweltrelevanz dienen (LANUV 2007).

Häufig gelten Schmerzmittel (Analgetika), Hormone, Antibiotika, Antidepressiva oder Betablocker (Blutdrucksenker) als ökotoxikologisch relevant (LAWA 2016). Beispielsweise wurde für den Wirkstoff Diclofenac (Analgetikum) eine verändernde Wirkung auf die Leber und Nieren von Fischen festgestellt. In Langzeittests konnten negative Effekte auf das Wachstum von Pflanzen, Algen und Cyanobakterien durch Antibiotika festgestellt werden. Clofibrinsäure (Lipidsenker) gilt vorwiegend wegen der schlechten Abbaubarkeit und hohen Mobilität als umweltrelevant (SRU 2007). Als problematisch gelten auch endokrin wirkende Stoffe (hormonähnliche Wirkung), wie z. B. 17 α -Ethinylestradiol (UBA 2014). Substanzen mit endokriner Wirkung waren nicht Gegenstand der Untersuchungen im landesweiten Screening.

Durch Transformationsprozesse können Wirkstoffe ihre schädigenden Eigenschaften verlieren oder in einigen Fällen auch an Umweltrelevanz zunehmen. Beispielsweise gelten RKM im Allgemeinen als ökotoxikologisch nicht relevant. Sie können auch nur schwer abgebaut oder umge-

wandelt werden (siehe Kap. 3.3). Durch den Einsatz starker Oxidationsmittel, z. B. durch Chlorung, können aber u. U. Transformationsprodukte entstehen, die auch auf höhere Organismen toxisch wirken können. Dies ist für das RKM Iopamidol der Fall (LAWA 2016, UBA 2018).

Aus einer Ausgangssubstanz entstehen meist mehrere Transformationsprodukte, wodurch sich das Spektrum potentiell umweltrelevanter Stoffe weiter vergrößert. Für die meisten Transformationsprodukte liegen noch zu wenige Informationen und Vergleichsdaten zum Umweltverhalten vor, weshalb auch in diesem Bereich noch großer Forschungsbedarf besteht (UBA 2018, TAB 2019).

Einige Arzneimittelwirkstoffe konnten auch bereits im Trinkwasser nachgewiesen werden. Dazu gehören u. a. Carbamazepin (Antiepileptikum), Diclofenac, Phenazon (beides Analgetika) Sulfamethoxazol (Antibiotikum) und Iopromid (RKM) (LANUV 2007, UBA 2014). Die Konzentrationen lagen weit unter den in Medikamenten therapeutisch verabreichten Dosen, weshalb bei der Aufnahme über das Trinkwasser nach aktuellem Kenntnisstand von keinem direkten Risiko für die menschliche Gesundheit auszugehen ist. Weitere Einträge sind aus vorsorglichen Gründen (ggf. chronische Effekte bei lebenslanger Exposition) dennoch zu vermeiden (LANUV 2007, UBA 2014, LAWA 2016).

Auch zur Wirkung von Stoffgemischen liegen bisher nur wenig Kenntnisse vor. Die Wirkung eines Stoffes könnte sich im Gemisch mit anderen Substanzen abschwächen oder verstärken. Die ökotoxikologische Wirkung der Einzelstoffe kann damit sogar übertroffen werden (Cleuvers 2004, Flaherty & Dodson 2005, LANUV 2007, TAB 2019).

Des Weiteren besteht das Risiko der Entwicklung und Ausbreitung antibiotikaresistenter Bakterien durch einen unsachgemäßen Gebrauch von Antibiotika in der Human- sowie in der Tiermedizin (SRU 2007, ML 2011, Hannappel et al. 2014, NLWKN 2019). Antibiotikaresistente Bakterien wurden u. a. bereits in Kläranlagen, Abwasserkanälen, landwirtschaftlich genutzten Böden, Oberflächengewässern und in geringen Mengen auch im Grundwasser nachgewiesen (Kümmerer et al. 2003, SRU 2007, NLWKN 2019). Aus Sicht der

Humanmedizin ist besonders der Einsatz von sogenannten Reserveantibiotika, z. B. aus der Wirkstoffgruppe der Cephalosporine ab der 3. Generation oder der Wirkstoff Colistin aus der Gruppe der Polypeptid-Antibiotika, in der Veterinärmedizin kritisch zu bewerten. Reserveantibiotika sind für den Einsatz in einer Therapie vorgesehen, sollten normalerweise zur Behandlung

eingesetzte Antibiotika nicht mehr wirksam sein (BMG 2019). Um einen wirkungsvollen Einsatz für die öffentliche Gesundheit weiterhin zu gewährleisten, sollte die Nutzung von Reserveantibiotika ausschließlich der Humanmedizin vorbehalten bleiben und auch dort nur noch begründet und umsichtig erfolgen (Küster et al. 2013, BVL 2020, NLWKN 2019).

4 Methodik

Das Untersuchungskonzept zum landesweiten Screening wurde über den gesamten Untersuchungszeitraum von 2015 bis 2018 fortentwickelt. Es wurden Änderungen in der regionalen Fokussierung (flächendeckendere Verteilung des

Messnetzes) und ab dem Jahr 2017 eine Erweiterung des Parameterumfangs (Ergänzung von Wirkstoffen vornehmlich aus der Humanmedizin) vorgenommen.

4.1 Entwicklung des Messnetzes und der Untersuchungszeiträume

Die Erweiterungen des untersuchten Parameterumfangs (siehe Kap. 4.3) machten Anpassungen des Messnetzes erforderlich. Diese wurden jeweils zu Beginn der Jahre 2016 und 2017 durchgeführt. Dabei wurde die Zahl der untersuchten Grundwassermessstellen stetig erhöht. Insgesamt wurden im Rahmen des Screenings 287

Grundwassergüte-Messstellen aus dem Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN) beprobt. In den folgenden Kapiteln zur Entwicklung des Messnetzes werden die Anzahlen der Messstellen in den einzelnen Untersuchungsphasen dargestellt.

4.1.1 Messstellen und Probenahme ab 2015

Zu Beginn der landesweiten Untersuchungen im Jahr 2015 lag das Augenmerk, wie in den Projekten des UBA (UBA 2014a, UBA 2016) und des NLWKN (NLWKN 2017) zur Ermittlung der Eintragspfade (siehe Kap. 2), auf Antibiotikawirkstoffen, die in der Tiermedizin zum Einsatz kommen. In Anlehnung an die oben genannten regionalen Projekte wurden daher vornehmlich landeseigene Grundwassermessstellen in landwirtschaftlich geprägten Gebieten nach Annahme eines „worst case“-Szenarios ausgewählt. Der „worst case“-Ansatz wurde gewählt, um herauszufinden, wo bereits unter ungünstigen Standortbedingungen Arzneimittelrückstände im oberflächennahen Grundwasser nachgewiesen werden können. Die folgenden Kriterien waren bei der Auswahl der Messstellen von den NLWKN-Betriebsstellen in ihren Dienstgebieten möglichst zu berücksichtigen:

- Auswahl von Messstellen in Gebieten mit möglichst hoher Viehbesatzdichte, bzw. Messstellen im Bereich von Wirtschaftsdünger-Ausbringungsflächen in Anstromrichtung,
- Hinweise auf intensive landwirtschaftliche Nutzung im Umfeld und eine deutliche Stoffverlagerung in das Grundwasser durch hohe Stickstoffgehalte, die bei vorherigen Messungen nachgewiesen wurden,
- an den Messstellen weisen positive Befunde von weiteren Spurenstoffen (z. B. Pflanzenschutzmittel) im Grundwasser ebenfalls auf eine gute Stoffverlagerung vom Boden ins Grundwasser hin,
- die Messstellen liegen im Bereich sandiger und gut durchlässiger Böden, der Abstand zwischen Gelände- und Grundwasseroberfläche an den Messstellen ist möglichst gering (bis max. 20 m),
- im Bereich der Messstellen liegt eine hohe Grundwasserneubildungsrate vor.

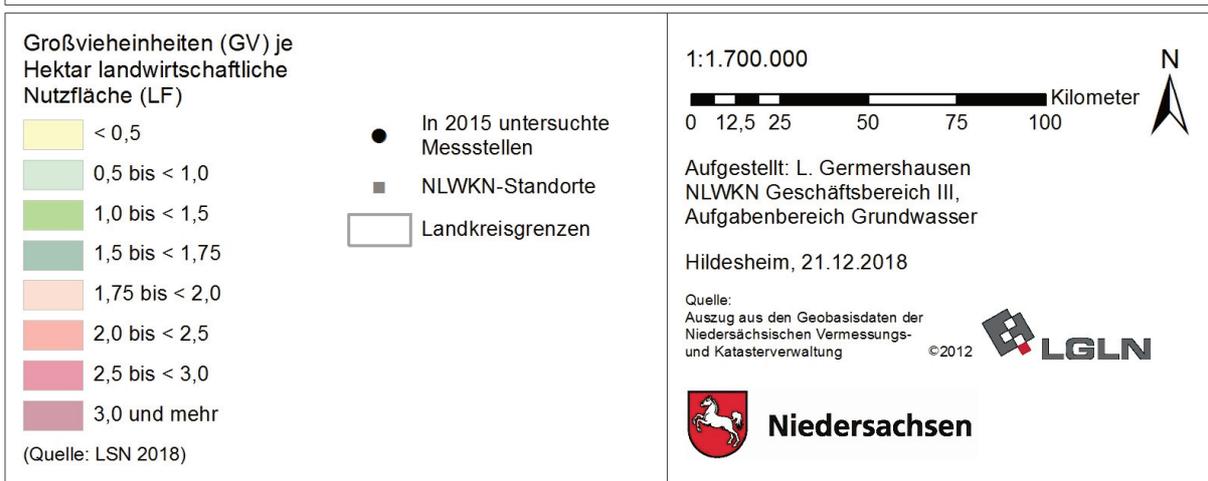
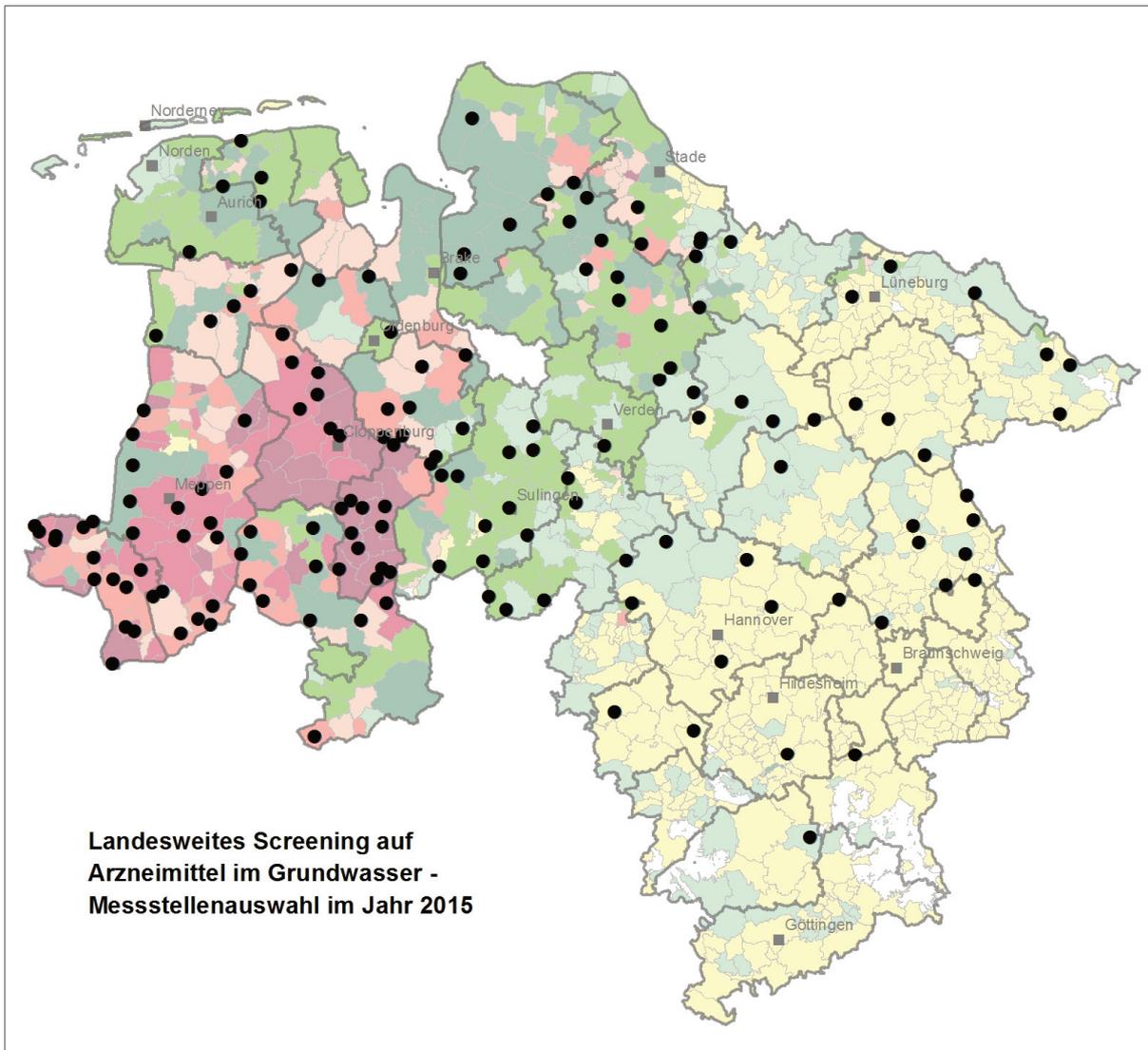


Abb. 4: Im Jahr 2015 untersuchte Grundwassermessstellen.

Bei der Auswahl der Messstellen für die Beprobung im Rahmen der landesweiten Untersuchung wurden Regionen mit hoher Viehbesatz-

dichte, durch die Einbeziehung einer anteilmäßig größeren Anzahl von Messstellen, besonders berücksichtigt (Abb. 4).

Im UBA-Forschungsprojekt aus den Jahren 2012

und 2013 wurden keine positiven Befunde im Festgesteinsbereich festgestellt. Daher wurde eine Auswahl von Messstellen mit Verfilterung im Festgestein (vorwiegend südliches Niedersachsen und Osnabrücker Bergland) nicht vorgesehen.

Im ersten Jahr des landesweiten Screenings wurden zwei Untersuchungsperioden festgelegt. Die Probenahmen fanden im Rahmen der Routineuntersuchungen nach dem GÜN-Messkonzept des NLWKN (NLWKN 2014) im ersten Halbjahr 2015 zwischen Februar und Mai und im zweiten Halbjahr 2015 von September bis Oktober statt. Insgesamt wurden 157 Grundwassermessstellen beprobt. Im ersten Halbjahr wurden 153 Messstellen und im zweiten Halbjahr 155 Messstellen

4.1.2 Erweiterung des Messnetzes in 2016

Im zweiten Jahr der Untersuchung wurde das Messnetz vorwiegend in den vergleichsweise viehschwachen Regionen im östlichen Teil Niedersachsens verdichtet (Abb. 5). Das Ziel war eine stärkere Anpassung der Verteilung der Grundwassermessstellen an die jeweiligen Flächenanteile der Viehbesatzdichte im Land. Zudem wurden im Jahr 2015 auch in den Gebieten mit weniger als 1,75 GV/ha LF Rückstände von Antibiotika im Grundwasser nachgewiesen (siehe Kap. 5.2 und 5.3), weshalb im Folgejahr auch in diesen Regionen stärker untersucht werden sollte.

Die Auswahlkriterien für die Messstellen blieben bis auf die Vorgaben mit Bezug zur Viehbesatzdichte gleich. Die in 2016 zusätzlich ausgewählten Messstellen sollten im Gegensatz zu 2015 vorwiegend in Gebieten mit möglichst geringer Viehbesatzdichte (mindestens < 1,5 GV/ha LF) liegen.

Insgesamt wurden 51 zusätzliche Messstellen ausgewählt. Diese sollten zusammen mit den Standorten, an denen bereits im zweiten Halbjahr 2015 Proben entnommen wurden (155 Messstellen), untersucht werden. Da zwei Mess-

stellen aus dem zweiten Halbjahr 2015 nicht beprobt werden konnten, sind im Jahr 2016 insgesamt 204 Grundwassermessstellen im Rahmen des landesweiten Screenings untersucht worden. Alle Messstellen mit positiven Befunden in 2015 sowie alle neu ausgewählten Messstellen wurden im Jahr 2016 zweimal (erstes und zweites Halbjahr) beprobt. Die Messstellen, an denen im ersten Jahr der landesweiten Untersuchung keine Antibiotikarückstände nachgewiesen werden konnten, wurden im Folgejahr einmalig untersucht. Auch diese Standorte blieben demnach weiter unter Beobachtung.

Mit der Auswahl weiterer Messstellen in den viehschwächeren Regionen ist der Anteil der Untersuchungsstandorte in den Gebieten $\geq 1,75$ GV/ha LF auf 33 % gesunken. Die Anzahl der untersuchten Messstellen hat im östlichen Teil des Landes deutlich zugenommen. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag allerdings weiterhin auf den viehstarken Gebieten des westlichen Niedersachsens, wenn auch abgeschwächer als in 2015. Von 2015 bis 2016 wurden insgesamt 208 Grundwassermessstellen untersucht.

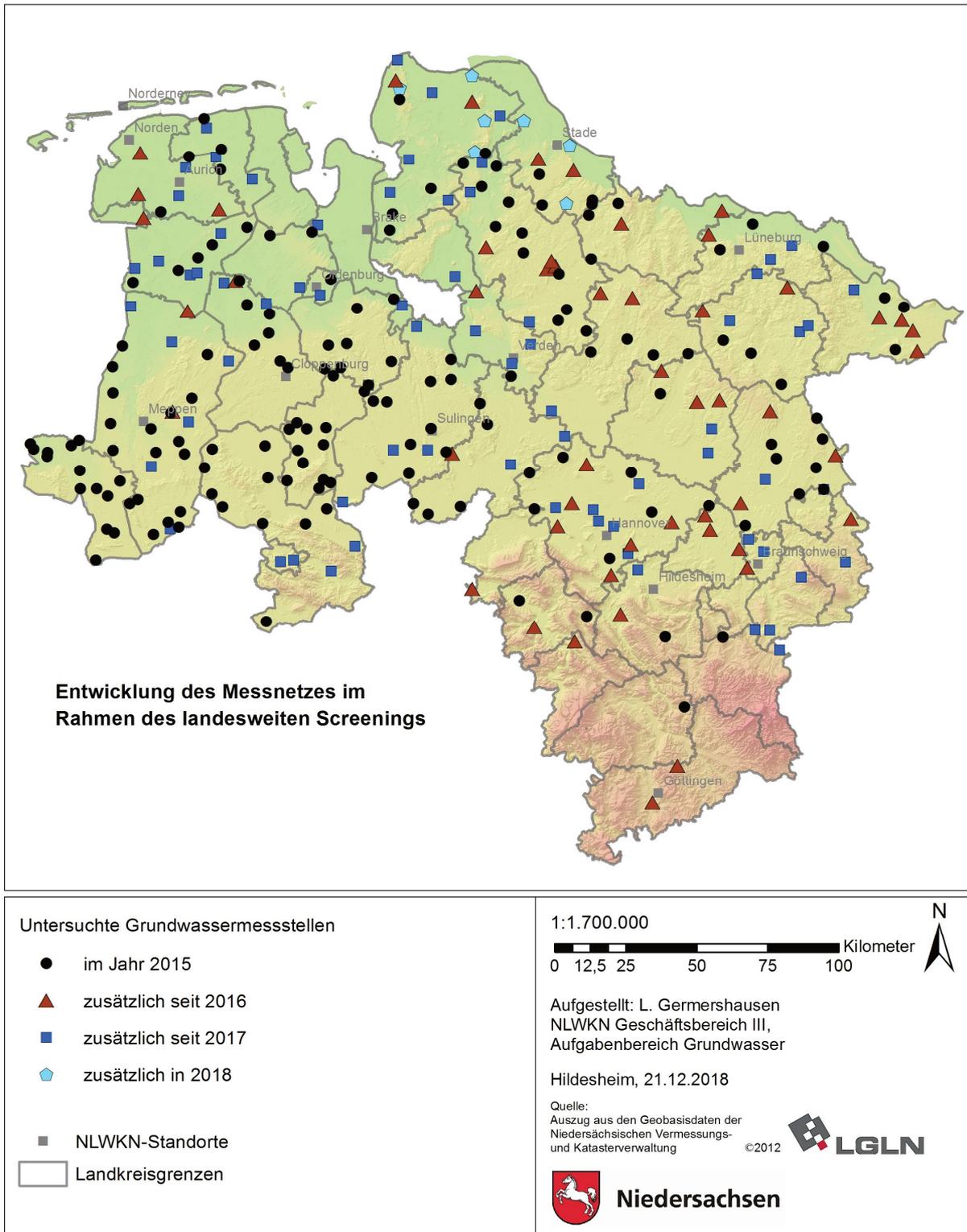


Abb. 5: Entwicklung des Messnetzes zur Untersuchung auf Rückstände von Arzneimitteln und Metaboliten im Grundwasser Niedersachsens.

4.1.3 Zusätzliche Messstellen ab 2017

Aufgrund der Ausweitung des zu analysierenden Parameterumfangs auf Substanzen aus der Humanmedizin (siehe Kap. 4.3), war eine erneute

Anpassung des Messnetzes nötig. Das bisherige Messnetz war vornehmlich auf die Untersuchung von Einflüssen aus diffusen Einträgen, wie der

Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, ausgelegt. Der Eintrag von HAM in die Umwelt erfolgt dagegen vorwiegend über Abwässer (siehe Kap. 3.2). Nachdem also bisher Gebiete mit landwirtschaftlich dominiertem Einfluss untersucht wurden, sollte in den Jahren 2017 und 2018 auch der Einfluss von Siedlungsgebieten und dazugehörigen Strukturen (wie z. B. Kläranlagen) einbezogen werden.

Aus dem Bericht der DWA von 2015 zum Zustand der Kanalisation in Deutschland geht hervor, dass ca. 19 % der kommunalen Kanalhaltungen Schäden aufweisen, die kurz- oder mittelfristig sanierungsbedürftig sind. Ein Eintrag von anthropogenen Spurenstoffen, wie u. a. Arzneimittel, durch Leckagen in Abwasserkanälen wurde bereits durch Untersuchungen in Siedlungsbereichen anderer Bundesländer festgestellt (LANUV 2012, LAWA 2016).

Wie die Untersuchungen des UBA und des NLWKN zwischen 2015 und 2016 gezeigt haben, können HAM auch über Kleinkläranlagen in das Grundwasser eingetragen werden. Potentielle Einträge wurden hier anhand des Wirkstoffs Sulfamethoxazol aufgezeigt (UBA 2016, NLWKN 2017). Nach Erhebungen des Landesamtes für Statistik sind allein in der statistischen Region Weser-Ems über 250.000 Personen an Kleinkläranlagen angeschlossen (LSN 2016). Weitere Eintragspfade von HAM in das Grundwasser können über das Uferfiltrat belasteter Oberflächengewässer, Abwasserverrieselung, Deponiesickerwasser oder die Düngung mit Klärschlämmen vorhanden sein (siehe Kap. 3.2).

Für die Untersuchungen in 2017 und 2018 wurden in Niedersachsen insgesamt 79 weitere

Messstellen zu den bisher beprobten Messstellen ausgewählt (Abb. 5). Die Auswahl sollte möglichst unter Einhaltung der folgenden Kriterien erfolgen:

- Im Anstrom der Grundwassermessstellen befinden sich Siedlungen, Kläranlagen, Kleinkläranlagen, (belastete) Oberflächengewässer (Kontakt zum Grundwasser über Uferfiltrat), ehemalige Hausmülldeponien (ohne Abdichtung im Untergrund), Klärschlammverbringungsgebiete oder ähnliche potentielle Eintragsquellen,
- die Messstellen sind möglichst oberflächennah verfiltert und der Abstand zwischen Gelände- und Grundwasseroberfläche an den Messstellen ist möglichst gering (bis max. 20 m),
- die Messstellen liegen im Bereich stark durchlässiger Böden.

Insgesamt wurden zwischen 2017 und 2018 im Rahmen des landesweiten Screenings 280 Grundwassermessstellen untersucht. Für jedes Jahr wurde eine Probenahme pro Messstelle geplant. An 15 der 280 Standorte konnte allerdings jeweils nur eine Untersuchung in diesen beiden Jahren durchgeführt werden. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass einige Messstellen zwischenzeitlich nicht zugänglich waren oder erst 2018 für das Screening ausgewählt wurden. Damit liegen für die ab 2017 zusätzlich untersuchten Parameter von 265 Messstellen Daten für beide Jahre vor.

Der Anteil der Messstellen in den viehstarken Gebieten ($\geq 1,75$ GV/ha LF), die etwa 20 % der Fläche Niedersachsens abdecken, lag bei knapp unter 30 %.

4.1.4 Tiefenlage der Grundwassermessstellen

Bei allen Auswahlverfahren für die zu untersuchenden Grundwassermessstellen, ob zu Beginn des landesweiten Screenings oder bei den Erweiterungen des Messnetzes, war das Kriterium der möglichst oberflächennahen Verfilterung der Messstellen zu berücksichtigen. Bei der überwiegenden Anzahl der Untersuchungsstandorte wurde das Auswahlkriterium umgesetzt. Durch die baulichen Gegebenheiten der Messstellen sowie die hydrogeologischen Verhältnisse an

den Untersuchungsstandorten konnten nicht immer alle Auswahlkriterien an jedem Standort berücksichtigt werden.

In Abbildung 6 sind die Tiefenlagen der Oberkanten der Verfilterungen unter der Geländeoberfläche von den ausgewählten Grundwassermessstellen dargestellt. Hier sind alle im Rahmen des landesweiten Screenings zwischen 2015 und 2018 untersuchten Messstellen einbezogen.

Bei knapp 60 % der Messstellen beginnt die Filterstrecke in einer Tiefe bis zu 10 m unter der Geländeoberkante. Etwas mehr als weitere 30 % der Messstellen sind ab 10 m bis 20 m Tiefe unter der Geländeoberkante verfiltert. Nur an etwa

10 % der ausgewählten Standorte beginnt die Verfilterung in einer Tiefe von über 20 m (Abb. 6).

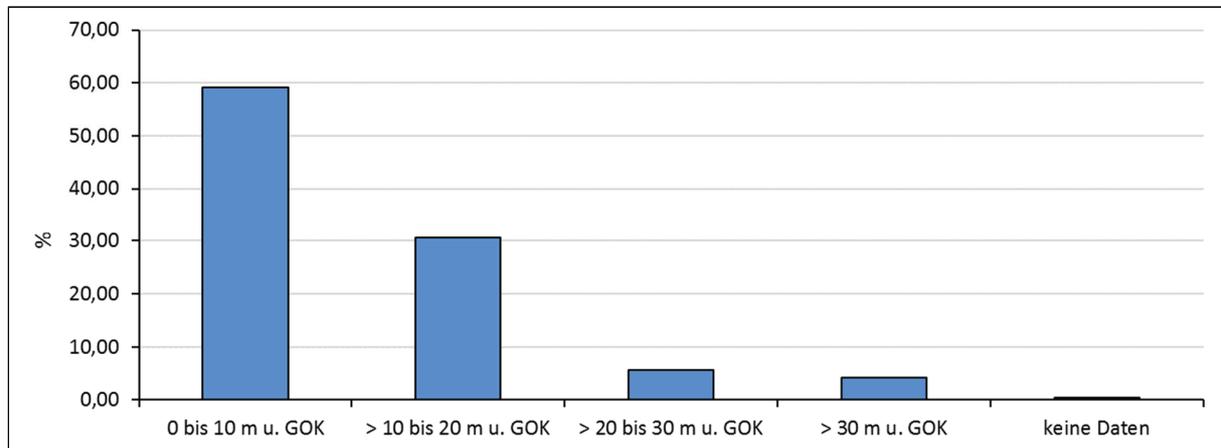


Abb. 6: Die Anteile, der von 2015 bis 2018 untersuchten Grundwassermessstellen, nach Tiefenbereichen (Tiefe der Filteroberkante unter der Geländeoberfläche). GOK – Geländeoberkante.

4.2 Probenahme und Analytik

Wie im Kapitel 4.1 beschrieben, variierte die Häufigkeit der Probenahme in den Entwicklungsphasen des Messnetzes. Im gesamten Untersuchungszeitraum wurden an den 287 untersuchten Messstellen 1.111 Grundwasserproben entnommen und analysiert.

An elf Messstellen erfolgte im gesamten Untersuchungszeitraum von 2015 bis 2018 jeweils nur eine Probenahme (siehe Tab. A1 im Anhang). Gründe hierfür waren der Austausch von untersuchten Messstellen nach der ersten Probenahme, u. a. wegen der Stilllegung älterer Messstellen sowie Anpassungen an die Vorgaben zur Messstellenauswahl für das landesweite Screening, oder, dass die Messstellen erstmals im letzten Jahr des Untersuchungszeitraum untersucht wurden und keine weitere Probenahme im Rahmen des landesweiten Screenings erfolgte. An zwei dieser elf Standorte wurden Wirkstoffrückstände nachgewiesen (siehe Kap. 5.1). Die Probenahme erfolgte im Rahmen der routinemäßigen Beprobung der Grundwassermessstellen nach dem GÜN-Messkonzept des

NLWKN (NLWKN 2014). Gemäß Messprogramm zur Grundwassergüte wurden für alle untersuchten Standorte Analysen zur Bestimmung der Grundparameter (u. a. pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Nitrat-Stickstoff, Sulfat, Eisen, Mangan, Aluminium) und im dreijährigen Rhythmus zur Bestimmung von Ergänzungsparametern (u. a. AOX, Chrom, Blei, Quecksilber, Arsen, Trichlormethan) vorgenommen (NLWKN 2014). Die Analysen der für das landesweite Screening zu untersuchenden Parameter wurden ausschließlich vom NLWKN durchgeführt und erfolgten mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit gekoppelter Tandem-Massenspektrometrie (HPLC-MS/-MS). Auf Basis des Qualitätssicherungssystems des NLWKN-Labors gemäß DIN EN ISO 17025, akkreditiert durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkS) (flexible Akkreditierung der HPLC-MS/-MS-Analytik), sind die Messergebnisse qualitätsgesichert. Für die Analysen der Grundwasserproben liegen die in Tabelle 2 angegebenen Bestimmungsgrenzen vor.

4.3 Im landesweiten Screening untersuchte Parameter

Zu Beginn der landesweiten Untersuchung im Jahr 2015 wurde im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums der Schwerpunkt der Untersuchungen zunächst auf diffuse Einträge von Antibiotikarückständen in das Grundwasser gelegt. Nach den Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt des UBA zu „Antibiotika und Antiparasitika im Grundwasser unter Standorten mit hoher Viehbesatzdichte“ (siehe UBA 2014a), das u. a. in Niedersachsen durchgeführt wurde (siehe Kap. 2), standen zunächst Antibiotikawirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonamide im Fokus der Untersuchung. Die Stoffauswahl erfolgte in Anlehnung an das UBA-Folgeprojekt zur „Aufklärung der Ursachen von Tierarzneimittelfunden im Grundwasser“ (siehe UBA 2016). Insgesamt wurden 14 Einzelwirkstoffe inklusive drei Transformationsprodukten zur Analyse ausgewählt. Dabei handelte es sich um die Sulfonamide Sulfadiazin, Sulfadimidin, Sulfamethoxazol, Sulfathiazol, Sulfadoxin, Sulfamethoxy-pyridazin, Sulfachloropyridazin, Sulfadimethoxin sowie die Metaboliten N-Acetyl-Sulfadiazin (kurz: N-Ac-Sulfadiazin), 4-Hydroxy-Sulfadiazin (kurz: 4-OH-Sulfadiazin) und N-Acetyl-Sulfamethoxazol (kurz: N-Ac-Sulfamethoxazol). Außerdem wurde auf das Antibiotikum Trimethoprim untersucht, welches meist in Kombination mit einem Sulfonamid, am häufigsten mit Sulfamethoxazol, zur Anwendung kommt (Umweltbundesamt Österreich 2010, ML 2011, UBA 2014a). Die ausgewählten Wirkstoffe kommen vornehmlich in der Tiermedizin zum Einsatz (siehe Kap. 3.1). In den vergangenen Jahren wurden deutlich größere Mengen an Antibiotika in der Tier- als in der Humanmedizin eingesetzt (BVL 2020).

Hinzugenommen wurde ein weiterer Stoff als Abwasserindikator, um Hinweise darauf zu bekommen, ob Funde an beprobten Messstellen auch aus dem humanmedizinischen Bereich stammen könnten oder um den Einfluss von HAM ausschließen zu können. Dabei handelt es sich um Carbamazepin, ein Antiepileptikum, das in der Humanmedizin seit Jahren in großen Mengen zum Einsatz kommt (Umweltbundesamt Österreich 2006, UBA 2014) und das aufgrund seiner hohen Persistenz und hohen Mobilität als eines der am weit verbreitetsten Arzneimittel in der

Umwelt (EPA 2005) gilt. Abwässer aus Senkgruben oder (Klein-)Kläranlagen weisen allerdings nur Rückstände von Carbamazepin auf, wenn im Einzugsbereich des Entsorgungssystems dieser Wirkstoff von mindestens einem Einwohner genutzt wird (Umweltbundesamt Österreich 2006). Wie nationale und internationale Untersuchungen belegen, können im Grundwasser neben Antibiotika auch Wirkstoffrückstände weiterer Arzneimittelgruppen, z. B. Analgetika, Antiphlogistika, Lipidsenker, Betablocker und Röntgenkontrastmittel nachgewiesen werden (u. a. Hanke et al. 2007, LUWG 2013, HLNUG 2018). Die Liste der zu untersuchenden Parameter wurde ab 2017 um entsprechende Stoffe aus den genannten Arzneimittelgruppen erweitert. U. a. wurden die Analgetika (Schmerzmittel) Diclofenac, Naproxen und Phenazon, die Betablocker (Blutdruckmittel) Metoprolol und Sotalol, die Lipidsenker (Behandlung gestörter Blutfettwerte) Bezafibrat und Clofibrinsäure (Metabolit von Clofibrat) sowie die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure, Iopamidol und Iopromid in die Stoffliste aufgenommen (Tab. 2). Bei den ausgewählten Substanzen handelt es sich um vorwiegend, aber nicht ausschließlich, in der Humanmedizin eingesetzte Stoffe (siehe Kap. 3.1.). Aus landesweiter Sicht gab es bisher in Niedersachsen noch keine Erkenntnisse zu Belastungen des Grundwassers durch Rückstände von Substanzen dieser Arzneimittelgruppen. Bei Untersuchungen des NLWKN auf Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol in Oberflächengewässern zwischen 2010 und 2011 wurden allerdings in allen Flussgebieten Niedersachsens Wirkstoffrückstände nachgewiesen (NLWKN 2013).

Die in den einzelnen zeitlichen Abschnitten der landesweiten Grundwasseruntersuchung analysierten Arzneiwirkstoffe und Metaboliten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Wirkstoffe, die in der Tabelle den Analgetika zugeordnet sind, weisen meist noch weitere pharmakologische Wirkungen auf, weshalb sie auch noch anderen Arzneimittelgruppen zugeordnet werden können. Sie werden teilweise auch als Entzündungshemmer (Antiphlogistikum), zur Behandlung von Rheuma (Antirheumatikum) und zur Fiebersenkung (Antipyretikum) eingesetzt (LANUV 2007, UBA 2011, DIMDI

2018).

Die Parameterliste wurde auch mit weiteren Antibiotika ergänzt, die nicht aus der Wirkstoffgruppe der Sulfonamide stammen. Diese sind den Tetra-

cyclinen (Oxytetracyclin, Tetracyclin, Chlortetracyclin), den Makroliden (Erythromycin, Roxithromycin) und Beta-Lactamen (Amoxicillin) zuzuordnen.

Tab. 2: Im Rahmen des landesweiten Screenings untersuchte Parameter. BG – Bestimmungsgrenze, LOQ – limit of quantitation, HAM – Humanarzneimittel, TAM – Tierarzneimittel.

Parameter	Arzneimittelgruppe	BG (LOQ) [µg/L]	Anwendungsgebiet (aktuell)	Untersuchungs- zeitraum
			Quelle: DIMDI (PharmNet) Stand: 30.11.2018	
4-Hydroxy-Sulfadiazin	Antibiotika (Metabolit)	0,006	HAM / TAM *	seit 2015
Amidotrizoesäure	Röntgenkontrastmittel	0,01	HAM	seit 2017
Amoxicillin	Antibiotika	0,01	HAM / TAM	seit 2017
Bezafibrat	Lipidsenker	0,005	HAM	seit 2017
Bisoprolol	Betablocker	0,005	HAM	seit 2017
Carbamazepin	Antiepileptika	0,005	HAM	seit 2015
Chlortetracyclin	Antibiotika	0,01	HAM / TAM	seit 2017
Clofibrinsäure	Lipidsenker	0,01	(HAM)	seit 2017
Diclofenac	Analgetika**	0,005	HAM	seit 2017
Erythromycin	Antibiotika	0,005	HAM / TAM	seit 2017
Gabapentin	Antiepileptika	0,025	HAM	seit 2017
Ibuprofen	Analgetika**	0,025	HAM	seit 2017
Indometacin	Analgetika**	0,005	HAM	seit 2017
Iopamidol	Röntgenkontrastmittel	0,01	HAM	seit 2017
Iopromid	Röntgenkontrastmittel	0,01	HAM	seit 2017
Ketoprofen	Analgetika**	0,005	HAM / TAM	seit 2017
Metoprolol	Betablocker	0,005	HAM	seit 2017
N-Acetyl-Sulfadiazin	Antibiotika (Metabolit)	0,002	HAM / TAM *	seit 2015
N-Acetyl-Sulfamethoxazol	Antibiotika (Metabolit)	0,006	HAM / TAM *	seit 2015
Naproxen	Analgetika**	0,025	HAM	seit 2017
Oxytetracyclin	Antibiotika	0,01	HAM / TAM	seit 2017
Phenazon (Antipyrin)	Analgetika**	0,005	HAM	seit 2017
Propyphenazon	Analgetika**	0,005	HAM	seit 2017
Roxithromycin	Antibiotika	0,005	HAM	seit 2017
Sotalol	Betablocker	0,005	HAM	seit 2017
Sulfachloropyridazin	Antibiotika	0,002	k.A.	2015-2016
Sulfadiazin	Antibiotika	0,002	HAM / TAM	seit 2015
Sulfadimethoxin	Antibiotika	0,002	TAM	2015-2016
Sulfadimidin	Antibiotika	0,001	TAM	seit 2015
Sulfadoxin	Antibiotika	0,002	TAM	2015-2016
Sulfaethoxypyridazin	Antibiotika	0,002	k.A.	2015-2016
Sulfamerazin	Antibiotika	0,002	TAM	2015-2016
Sulfamethoxazol	Antibiotika	0,004	HAM/TAM	seit 2015
Sulfamethoxypyridazin	Antibiotika	0,002	TAM	seit 2015
Sulfathiazol	Antibiotika	0,002	(HAM / TAM)	2015-2016
Tetracyclin	Antibiotika	0,01	HAM/TAM	seit 2017
Trimethoprim	Antibiotika	0,002	HAM / TAM	2015-2016

* Anwendungsgebiet siehe Ausgangssubstanz

** Können u.U. auch weitere Wirkungen, z.B. als Entzündungshemmer (Antiphlogistikum, Antirheumatikum), Fiebersenker (Antipyretikum) o.ä., haben.

() aktuell nicht mehr verkehrsfähig, angegeben sind vorherige Anwendungsgebiete

k.A. keine Angaben gefunden

Im Gegenzug wurden nach 2016 sieben Antibiotikawirkstoffe aus der Parameterliste entfernt, auf die seit Beginn des landesweiten Screenings im Jahr 2015 untersucht wurde. Hierbei handelt es sich um die Sulfonamide Sulfachloropyridazin, Sulfadimethoxin, Sulfadoxin, Sulfaethoxyipyridazin, Sulfamerazin und Sulfathiazol sowie den Wirkstoff Trimethoprim. Diese Substanzen wurden zwischen 2015 und 2016 in keiner der analysierten Grundwasserproben des landesweiten Screenings nachgewiesen.

Bis auf einen einmaligen Fund von Sulfadimethoxin zwischen der Nachweis- (2 ng/l) und der Bestimmungsgrenze (6 ng/l) während der Untersuchungen zur Ermittlung der Eintragspfade des NLWKN in 2015 (siehe Kap. 2) an einer temporären Grundwassermessstelle (NLWKN 2017), wurden die sieben o. g. Antibiotikawirkstoffe auch nicht in einer der vorausgegangenen Untersuchungen des NLWKN sowie des UBA zwischen 2012 bis 2016 gefunden (UBA 2014a, UBA 2016, NLWKN 2017).

Im landesweiten Screening wurde im Untersuchungszeitraum von 2015 bis 2018 somit auf insgesamt 37 Wirkstoffe und Transformationsprodukte aus dem medizinischen Bereich untersucht.

Die Zuordnung der aktuellen Anwendungsbereiche erfolgte nach Informationen aus der Fachliteratur sowie Recherchen in der DIMDI-Datenbank (DIMDI 2018) z. T. mit Unterstützung des UBA

(Hein 2019). Die pharmakologische Wirkung einiger Wirkstoffe wird ebenso in der Human- wie auch in der Veterinärmedizin genutzt. Besonders Antibiotika werden zur Behandlung bakterieller Infektionskrankheiten häufig in beiden Bereichen angewendet (Lehmann 2017, UBA 2018a). Acht Antibiotikawirkstoffe aus der Parameterliste des landesweiten Screenings sind aktuell in der Human- sowie in der Veterinärmedizin zugelassen (siehe Tab. 2). Die drei Antibiotika-Metaboliten, deren Ausgangsstoffe in beiden Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen, werden ebenfalls der Human- und der Tiermedizin zugeordnet. Sulfathiazol ist mittlerweile in beiden Anwendungsbereichen nicht mehr zugelassen. Zuvor wurde es bis 2001 als HAM und bis 2013 als TAM genutzt (nach DIMDI in NLWKN 2018). Als einziges Analgetikum aus der Liste der untersuchten Substanzen ist Ketoprofen aktuell in beiden Anwendungsbereichen zugelassen. Die Entwicklung des Untersuchungskonzepts ist in Tabelle 2 deutlich nachzuvollziehen. Alle Stoffe, außer Carbamazepin, die zunächst zu Beginn des Screenings im Jahr 2015 ausgewählt wurden, kommen in der Veterinärmedizin zum Einsatz. Auf Wirkstoffe, die ausschließlich im humanmedizinischen Bereich genutzt werden, wurde, mit Ausnahme von Carbamazepin, in den ersten beiden Jahren der landesweiten Untersuchung noch nicht untersucht. Die ab 2017 in die Untersuchung aufgenommenen Substanzen werden alle zumindest in der Humanmedizin angewendet. Keiner dieser ergänzten Stoffe wird ausschließlich in der Tiermedizin eingesetzt.

Kapitel 4 in Kürze...

- Insgesamt wurden 287 Grundwassermessstellen zwischen 2015 und 2018 untersucht.
- Für die Auswahl der Messstellen wurde ein „worst case“-Ansatz zugrunde gelegt (u. a. durchlässige Böden, geringer Abstand zwischen Gelände- und Grundwasseroberfläche, entsprechend der untersuchten Arzneimittelgruppen potentiell eintragsgefährdete Gebiete).
- 1.111 Grundwasserproben wurden entnommen und analysiert.
- Bis 2016 lag der Fokus auf Tierarzneimitteln.
- Ab 2017 wurde das untersuchte Wirkungsspektrum um vorwiegend in der Humanmedizin eingesetzte Substanzen ausgeweitet.
- Insgesamt wurden 37 Wirkstoffe (inkl. ausgewählter Metaboliten) untersucht.
- Untersucht wurden Stoffe aus den Arzneimittelgruppen: Antibiotika, Analgetika, Röntgenkontrastmittel, Antiepileptika, Betablocker und Lipidsenker.

5 Ergebnisse

Die deutsche Grundwasserverordnung (GrwV) und die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) enthalten zum heutigen Zeitpunkt keine Grenzwerte für Arzneimittel. Auch in der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (2000/60/EG) und ihren Tochterrichtlinien werden keine Grenz- oder Schwellenwerte festgelegt. In Anlehnung an die Umweltqualitätsnorm der WRRL für Pflanzenschutzmittel hat das UBA (2014b) die Einführung des Grenzwertes für Arzneimittel von 100 ng/l (0,1 µg/l) vorgeschlagen. Als Bewertungsgrundlage für das Trinkwasser empfiehlt das UBA einen Gesund-

heitlichen Orientierungswert (GOW) von ebenfalls 0,1 µg/l anzusetzen, sofern keine Leit- oder Grenzwerte gesetzlich vorgegeben sind (UBA 2003, UBA 2018). Für einzelne Arzneimittel wurden stoffspezifische GOW festgelegt. Die einzelstoffspezifischen GOW (nach UBA 2019) für die in der landesweiten Untersuchung untersuchten Parameter sind Tabelle 3 zu entnehmen. Der vorgeschlagene Grenzwert sowie die genannten GOW werden im Folgenden auch als Bewertungsgrundlage für die Ergebnisse des landesweiten Screenings herangezogen.

Tab. 3: Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) untersuchter Arzneimittel (aus UBA 2019).

Arzneimittel	Wirkstoffklasse	Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW) in µg/l
Amidotrizoesäure	Röntgenkontrastmittel	1,0
Carbamazepin	Antiepileptika	0,3
Diclofenac	Antiphlogistika	0,3
Gabapentin	Antiepileptika	1,0
Ibuprofen	Antiphlogistika	1,0
Iopamidol	Röntgenkontrastmittel	1,0
Phenazon	Analgetika	0,3
Propyphenazon	Analgetika	0,3

5.1 Nachweise von Wirkstoffen und Metaboliten

Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum von 2015 bis 2018 an 90 der 287 untersuchten Grundwassermessstellen Rückstände von Arzneimitteln nachgewiesen. Das bedeutet, dass an über 31 % der untersuchten Messstellen Rückstände von mindestens einem Wirkstoff in den Grundwasserproben gefunden wurden. Von den insgesamt 37 untersuchten Parametern (siehe Kap. 4.3) konnten 22 an mindestens einer Messstelle nachgewiesen werden (Abb. 7). Besonders auffällig sind die Stoffe Sulfadimidin –

ein seit über 25 Jahren ausschließlich in der Tiermedizin eingesetztes Antibiotikum (NLWKN 2018, Hein 2019) –, Amidotrizoesäure – ein Röntgenkontrastmittel aus der Humanmedizin – und 4-OH-Sulfadiazin – ein Abbauprodukt von Sulfadiazin, das vorwiegend aber nicht ausschließlich in der Tiermedizin zum Einsatz kommt. Diese Stoffe konnten an einer vergleichsweise großen Anzahl an Messstellen nachgewiesen werden.

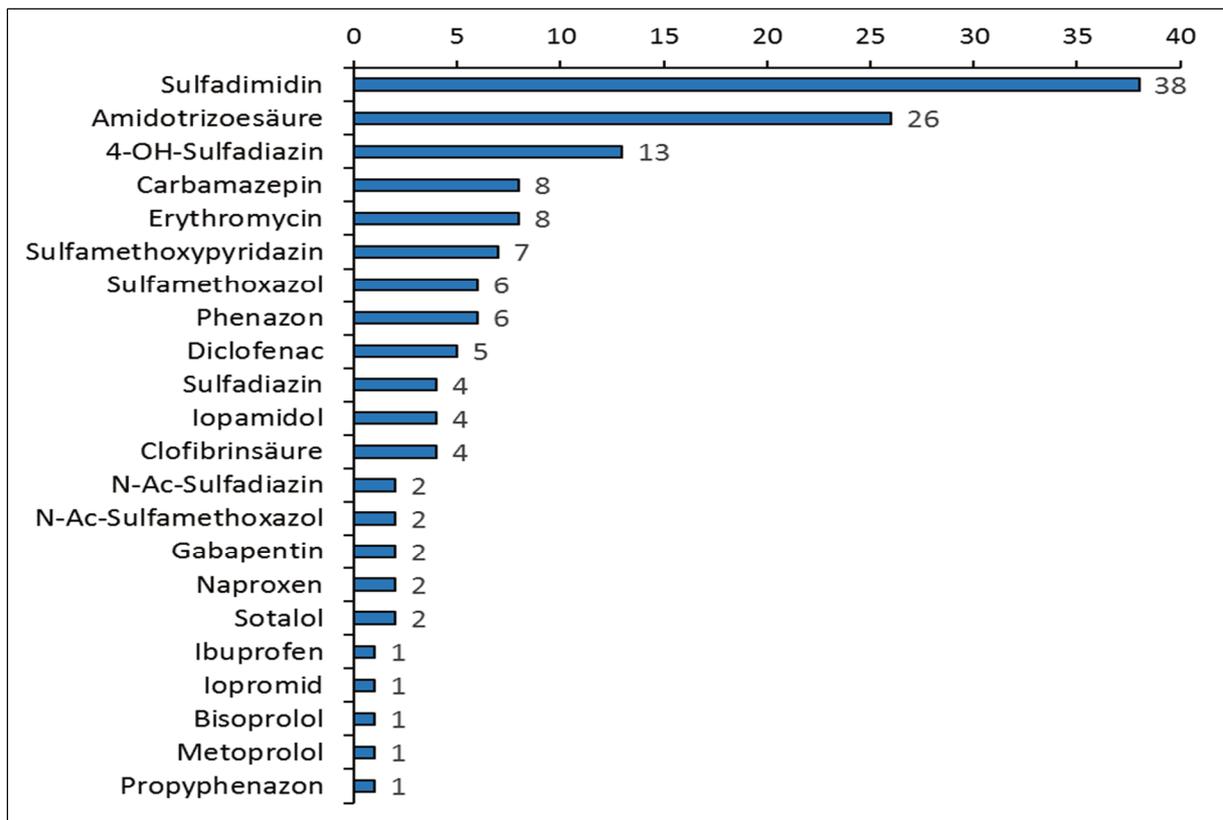


Abb. 7: Anzahl der Grundwassermessstellen, an denen zwischen 2015 und 2018 Rückstände von Arzneimittelwirkstoffen und -metaboliten nachgewiesen wurden.

Sulfadimidin wurde an 38 Standorten im Grundwasser gefunden. Das entspricht einem Anteil von ca. 13 % der untersuchten Messstellen und über 40 % der 90 Messstellen mit positiven Befunden. Für Amidotrizoesäure liegen die Anteile mit 9 % und ca. 29 % schon deutlich niedriger. Die jeweiligen Anteile des Metaboliten 4-OH-Sulfadiazin liegen bei knapp 5 % und 14 %. Die drei genannten Stoffe gehören auch zu den Parametern mit den höchsten gemessenen Konzentrationen in der Untersuchung zwischen 2015 und 2018. Abbildung 8 zeigt die untersuchten sieben Stoffe mit den höchsten Gehalten. Bei allen kommt es in mehreren Fällen zu einer Überschreitung des diskutierten Grenzwertes von

100 ng/l.

Beim Vergleich der nachgewiesenen Stoffe ist die Fundhäufigkeit zu beachten. In den Abbildungen 8 und 9 sind diese in den eckigen Klammern angegeben. Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum 1.111 Grundwasserproben analysiert. In 121 Proben wurde Sulfadimidin nachgewiesen. Amidotrizoesäure wurde dagegen lediglich in 36 Proben gefunden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf Amidotrizoesäure erst seit 2017 untersucht wurde, während Analysen auf Sulfadimidin im gesamten Untersuchungszeitraum stattfanden. Die Entwicklung des untersuchten Wirkstoffspektrums ist also ebenfalls zu beachten (siehe Kap. 4.3).

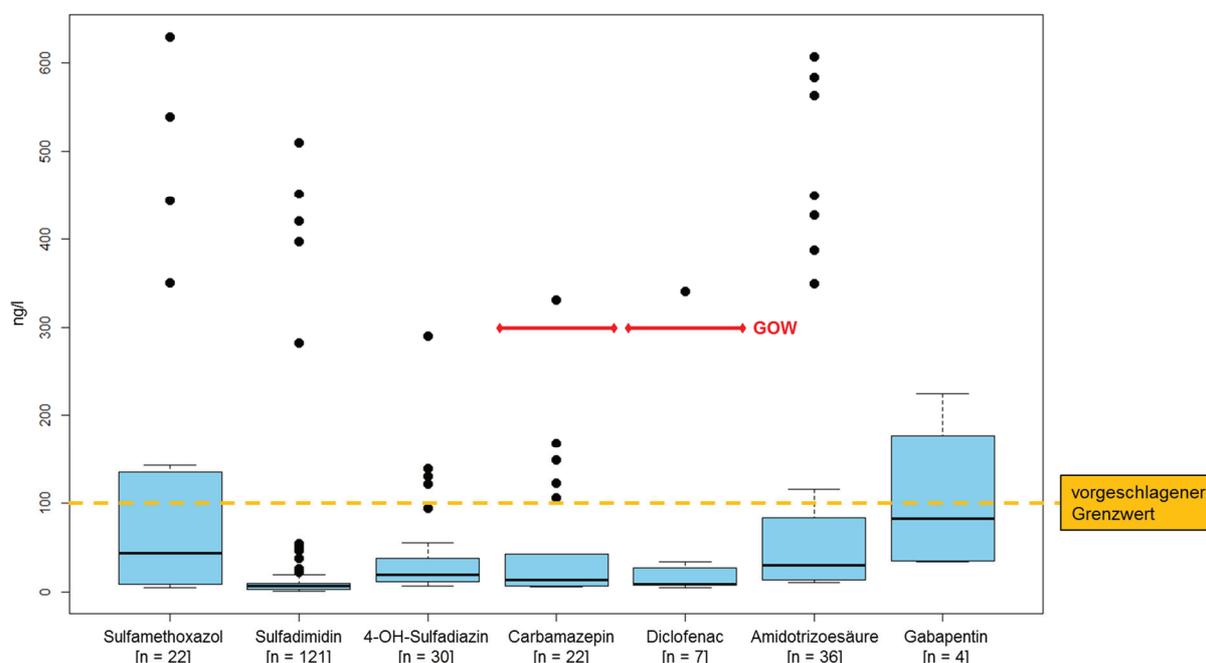


Abb. 8: Die sieben im Grundwasser nachgewiesenen Arzneimittelwirkstoffe und -metaboliten mit den höchsten gemessenen Konzentrationen. GOW – Gesundheitlicher Orientierungswert.

Der Großteil der ermittelten Konzentrationen der in Abbildung 8 dargestellten Stoffe liegt deutlich unterhalb von 100 ng/l. Besonders deutlich wird dies bei Sulfadimidin, 4-OH-Sulfadiazin, Carbamazepin und Diclofenac, bei denen jeweils über 50 % der Werte im einstelligen oder niedrigen zweistelligen Nanogramm-Bereich liegen. Der diskutierte Grenzwert (100 ng/l) wird in der Regel nur vereinzelt überschritten. Die höchste Konzentration eines Wirkstoffes wurde für Sulfamethoxazol gemessen. Ein Einzelwert dieses Antibiotikums erreichte knapp 630 ng/l. Die meisten Überschreitungen (insgesamt acht) von 100 ng/l pro untersuchtem Stoff wurden bei den Analysen auf Amidotrizoesäure festgestellt. Die maximale Konzentration lag bei 607 ng/l. Der für Amidotrizoesäure existierende GOW von 1,0 µg/l (1.000 ng/l) wurde damit allerdings nicht überschritten.

In jeweils einer Messung wurde eine Überschreitung der GOW von Carbamazepin und Diclofenac (jeweils 0,3 µg/l) festgestellt. Besonders für den Wirkstoff Diclofenac sind die weiteren Ergebnisse der Untersuchungen vergleichsweise weniger auffällig.

Beachtenswert sind auch die fünf Einzelwerte von Sulfadimidin, die über 100 ng/l liegen, während alle weiteren Konzentrationen niedrig sind

und eine geringe Schwankungsbreite aufweisen. Diese fünf Proben stammen alle vom selben Probenahmestandort (GD 35 N Trauen), der sich im Heidekreis befindet (siehe Kap. 5.2). Vor allem die Ergebnisse der im gesamten Untersuchungszeitraum analysierten Parameter Sulfamethoxazol, Sulfadimidin und Carbamazepin lassen erkennen, dass sich Funde häufig in den folgenden Untersuchungen bestätigen (siehe Tab. A2 im Anhang). Beispielsweise wurde Sulfadimidin an 22 der 38 Messstellen, an denen dieser Wirkstoff gefunden wurde, in mindestens zwei Proben nachgewiesen.

Die gemessenen Konzentrationen der 15 weiteren Wirkstoffe und Metaboliten, die im Laufe der Untersuchungen des landesweiten Screenings im Grundwasser nachgewiesen wurden, sind in Abbildung 9 dargestellt. Auffallend sind die teilweise geringen Fundhäufigkeiten einiger Stoffe in den untersuchten Proben. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass auf alle aufgeführten Stoffe, außer Sulfadiazin, N-Ac-Sulfadiazin, Sulfamethoxy-pyridazin und N-Ac-Sulfamethoxazol, bisher nur zweimal (2017 und 2018) untersucht wurde. Für N-Ac-Sulfadiazin, Ibuprofen, Iopromid, Bisoprolol, Erythromycin, Metoprolol, Naproxen und Sotalol liegen ausschließlich einmalige Funde

vor, die sich an den entsprechenden Messstellen im Folgejahr nicht bestätigt haben. In einigen Fällen, wie z. B. für Ibuprofen und Naproxen, war eine Bestätigung nicht möglich, da im Folgejahr (2019) keine Untersuchungen mehr stattfanden. Die Konzentrationen der einmaligen Funde von N-Ac-Sulfadiazin, Bisoprolol und Sotalol liegen mit jeweils unter 10 ng/l nur wenig über den entsprechenden Bestimmungsgrenzen der genannten Stoffe.

Die gemessenen Gehalte der in Abbildung 9 auf-

geführten Stoffe liegen alle unter 70 ng/l und damit deutlich unterhalb des vom UBA vorgeschlagenen Grenzwertes sowie der für einige Substanzen festgelegten GOW (s. o.). Der höchste Einzelwert beträgt 65 ng/l und wurde für das Analgetikum Naproxen gemessen. Die größten Schwankungsbreiten der Stoffe, die mindestens fünfmal nachgewiesen wurden, weisen die Werte des Röntgenkontrastmittels Iopamidol, des Lipidsenkers Clofibrinsäure und Antibiotikums Erythromycin auf. Die Konzentrationen dieser Stoffe liegen meist zwischen 10 und 60 ng/l.

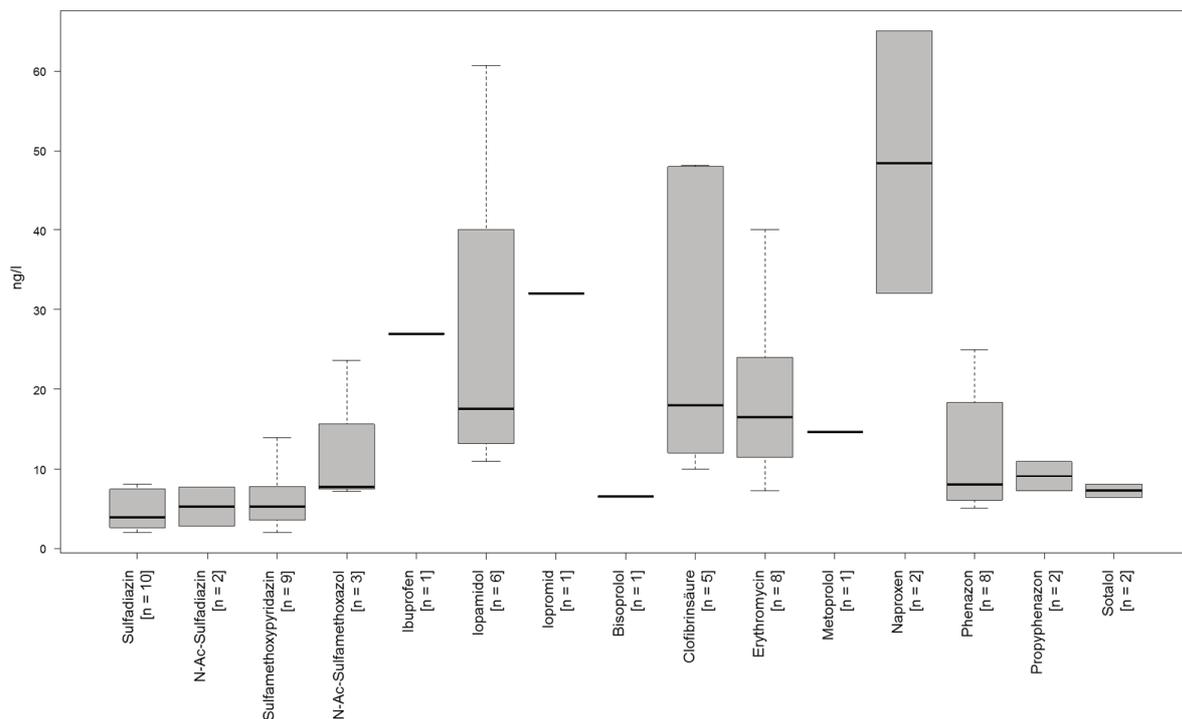


Abb. 9: Im Grundwasser nachgewiesene Arzneimittelwirkstoffe und -metaboliten mit gemessenen Konzentrationen von unter 100 ng/l.

An zwei Messstellen mit positiven Befunden wurde im gesamten Untersuchungszeitraum jeweils nur eine Probenahme durchgeführt (siehe Kap. 4.2). An der Grundwassermessstelle Lohe I (Landkreis Cloppenburg) wurde im Jahr 2015 Sulfadimidin (8,6 ng/l) und Sulfamethoxyipyridazin (9,2 ng/l) nachgewiesen. Ab 2016 wurde die Messstelle durch die in ca. 1,2 km Entfernung neugebaute Messstelle Lohe II (neu) ersetzt. In diesem Jahr wurde dort ebenfalls Sulfadimidin

(6,6 ng/l) sowie 4-OH-Sulfadiazin (15,5 ng/l) nachgewiesen. In den Folgejahren wurden keine Wirkstoffrückstände nachgewiesen. Die Messstelle Nordholz I (Landkreis Cuxhaven) wurde erstmalig im Jahr 2018 untersucht (siehe Kap. 4.1.3). Es wurde das RKM Iopamidol (19,7 ng/l) nachgewiesen. Nach 2018 fanden keine weiteren Untersuchungen im Rahmen des landesweiten Screenings statt (siehe Tab. A1 und A2 im Anhang).

5.2 Regionale Verteilung der Nachweise

Die Grundwassermessstellen, an denen untersuchte Parameter nachgewiesen werden konn-

ten, lassen sich keinem eindeutigen regionalen Muster zuordnen (Abb. 10).

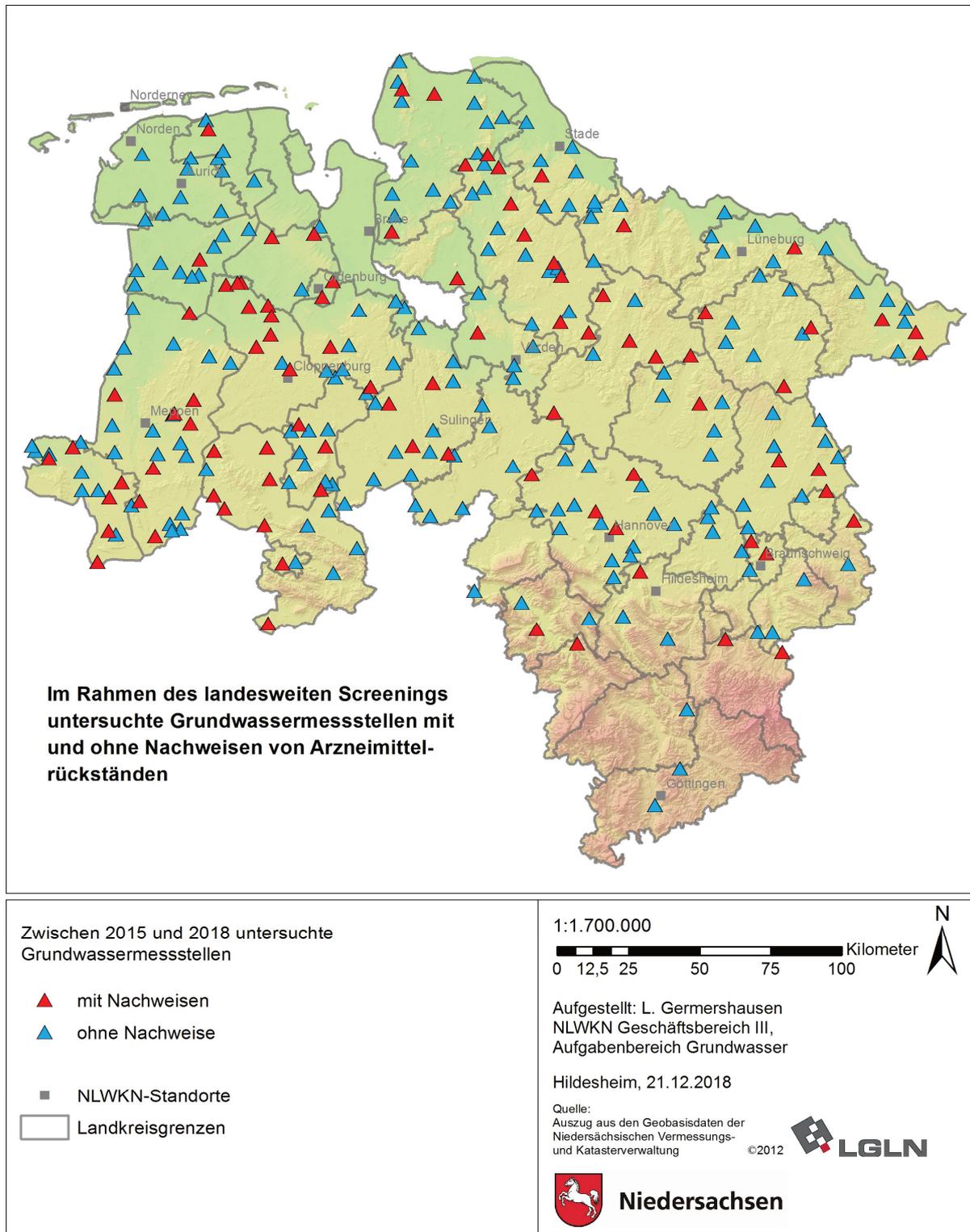


Abb. 10: Regionale Verteilung der Grundwassermessstellen mit und ohne Rückständen von Arzneimittelwirkstoffen oder -metaboliten.

Im westlichen Drittel Niedersachsens lässt sich gebietsweise eine Verdichtung von Messstellen mit positiven Befunden erkennen. Dies ist z. B. im Norden des Landkreises Cloppenburg der Fall. Im Ostfriesischen Raum gibt es dagegen nur sehr wenige Messstellen mit Nachweisen von Arzneimittelrückständen. Im südlichen Niedersachsen wurden aufgrund der Messstellenauswahl (siehe Kap. 4.1) nur wenige Messstellen beprobt, weshalb für diesen Bereich keine Aussagen zur Belastungssituation getätigt werden können. Generell ist aber zu erkennen, dass Nachweise von Arzneimittelwirkstoffen oder deren Metaboliten im gesamten Untersuchungsraum verteilt vorkommen.

Bei Betrachtung der Anzahl nachgewiesener Stoffe pro Messstelle (Abb. 11) lässt sich demgegenüber eine eindeutigere regionale Verteilung erkennen. Insgesamt wurde an 32 Standorten mehr als ein Wirkstoff oder Wirkstoffmetabolit nachgewiesen. Vergleichsweise viele Grundwassermessstellen, an denen mindestens drei unterschiedliche untersuchte Stoffe nachgewiesen wurden, befinden sich in den Landkreisen Cloppenburg, Osnabrück und Emsland im westlichen Teil des Landes.

Die Messstelle mit den meisten nachgewiesenen Stoffen ist Bethen 2/6 I im Landkreis Cloppenburg. Hier wurden Rückstände von fünf Wirkstoffen und einem Metaboliten gefunden (Sulfadiazin, Sulfamethoxazol, Sulfadimidin, Carbamazepin, Gabapentin, 4-OH-Sulfadiazin). Im östlichen Teil Niedersachsens ist die Dichte der Messstellen mit mehr als einem nachgewiesenen Wirkstoff oder Metaboliten geringer. Dennoch fallen auch in dieser Landeshälfte einzelne Messstellen mit vier und mehr verschiedenen nachgewiesenen Stoffen auf. So z. B. die Messstelle Weitsche F1 im Landkreis Lüchow-Dannenberg, die Messstelle LHH::040070 Schwarze Heide Trafo in der Region Hannover sowie die Messstelle Wiedelah A1 am nördlichen Harzrand im Landkreis Goslar. Im Landkreis Rotenburg (Wümme) gibt es zwar eine vergleichsweise große Anzahl an Standorten mit positiven Befunden, allerdings wurde dort an den entsprechenden Messstellen nur jeweils ein Wirkstoff oder Metabolit nachgewiesen.

Auch die meisten Grundwassermessstellen mit Überschreitung des vorgeschlagenen Grenzwertes von 100 ng/l sind dem Weser-Ems-Gebiet zuzuordnen (Abb. 12). Drei dieser Messstellen befinden sich im Landkreis Cloppenburg (Bethen 2/6 I, Bösel I und Edewechterdamm I). An diesen Standorten überschritten die Konzentrationen von Sulfamethoxazol, 4-OH-Sulfadiazin oder Amidotrizoesäure den diskutierten Grenzwert.

In den Landkreisen Ammerland und Osnabrück wurde an jeweils einer Messstelle der GOW eines Arzneimittelwirkstoffes einmalig überschritten. An der Messstelle Eggelogerfeld II (Landkreis Ammerland) war dies der GOW für Diclofenac (0,3 µg/l) und an der Messstelle Vehs (Landkreis Osnabrück) der GOW für Carbamazepin (0,3 µg/l).

In Oldenburg (Kreyenbrück I) sowie den Landkreisen Diepholz (Neubruchhausen I), Verden (UWO 151 N 13 Uesen) und Lüneburg (Breetze A) wurde an jeweils einer Messstelle der vorgeschlagene Grenzwert von 100 ng/l durch die gemessenen Konzentrationen von Amidotrizoesäure im Grundwasser überschritten. An der Messstelle Neubruchhausen I im Landkreis Diepholz, nördlich von Sulingen, wurden zwischen 2015 und 2017 zudem regelmäßig Sulfamethoxazol-Konzentrationen über 100 ng/l (max. ca. 630 ng/l) gemessen. Die Grundwassermessstelle GD 35 N Trauen im östlichen Heidekreis wies zwischen 2015 und 2018 mehrfach Konzentrationen von Sulfadimidin und 4-OH-Sulfadiazin über 100 ng/l auf. Die maximale Sulfadimidin-Konzentration an diesem Standort lag bei über 500 ng/l und die 4-OH-Sulfadiazin-Konzentrationen erreichten ca. 290 ng/l. Die am südlichsten gelegene Messstelle mit Wirkstoffkonzentrationen im Grundwasser von über 100 ng/l befindet sich im Landkreis Goslar (Wiedelah A1). In den Jahren 2017 und 2018 wurde dort der vorgeschlagene Grenzwert durch Rückstände des Antiepileptikums Carbamazepin überschritten. In den vorherigen Jahren fanden keine Untersuchungen auf Arzneimittel an diesem Standort statt.

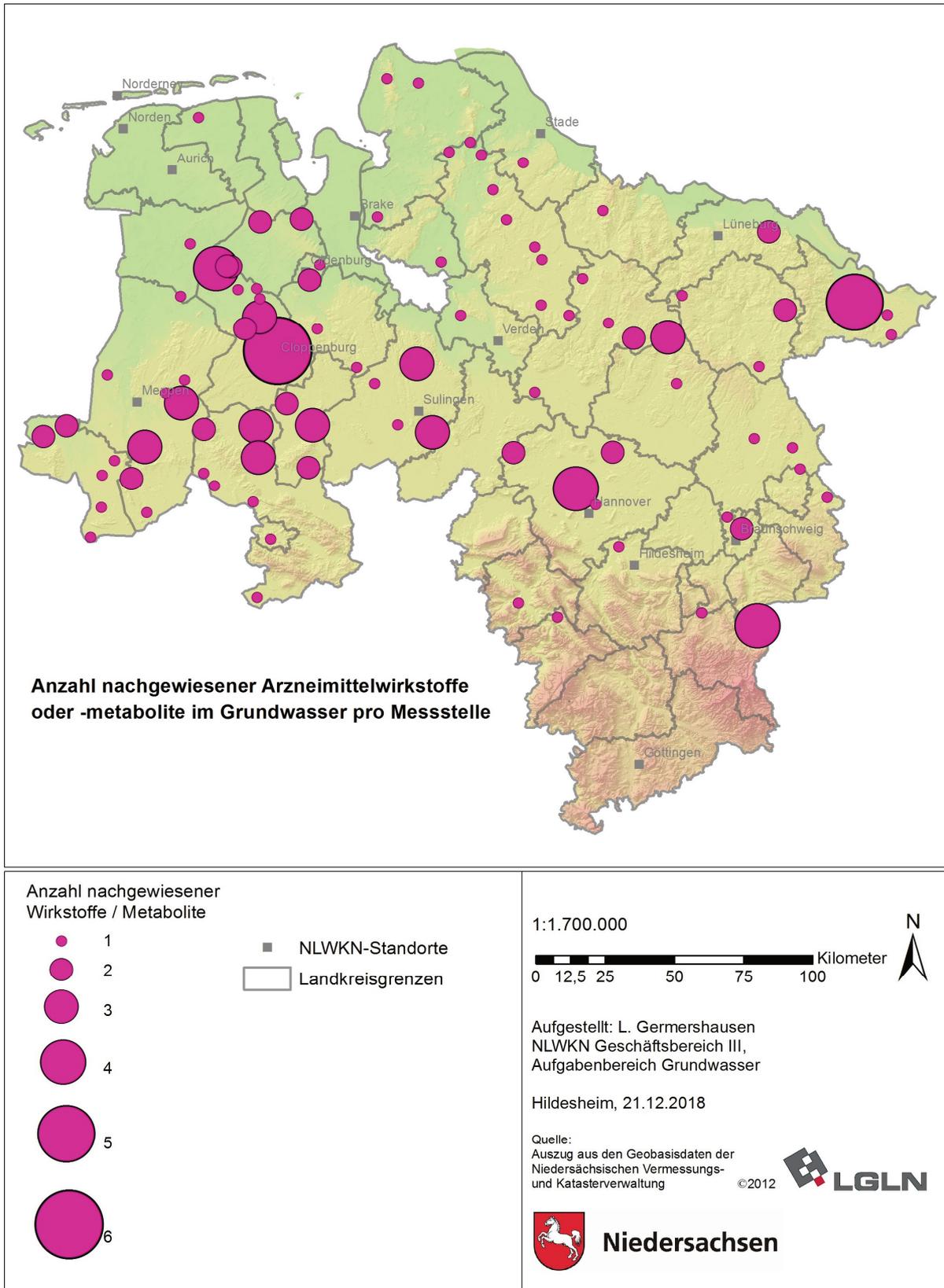


Abb. 11: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe und Metaboliten an den jeweiligen Grundwassermessstellen.

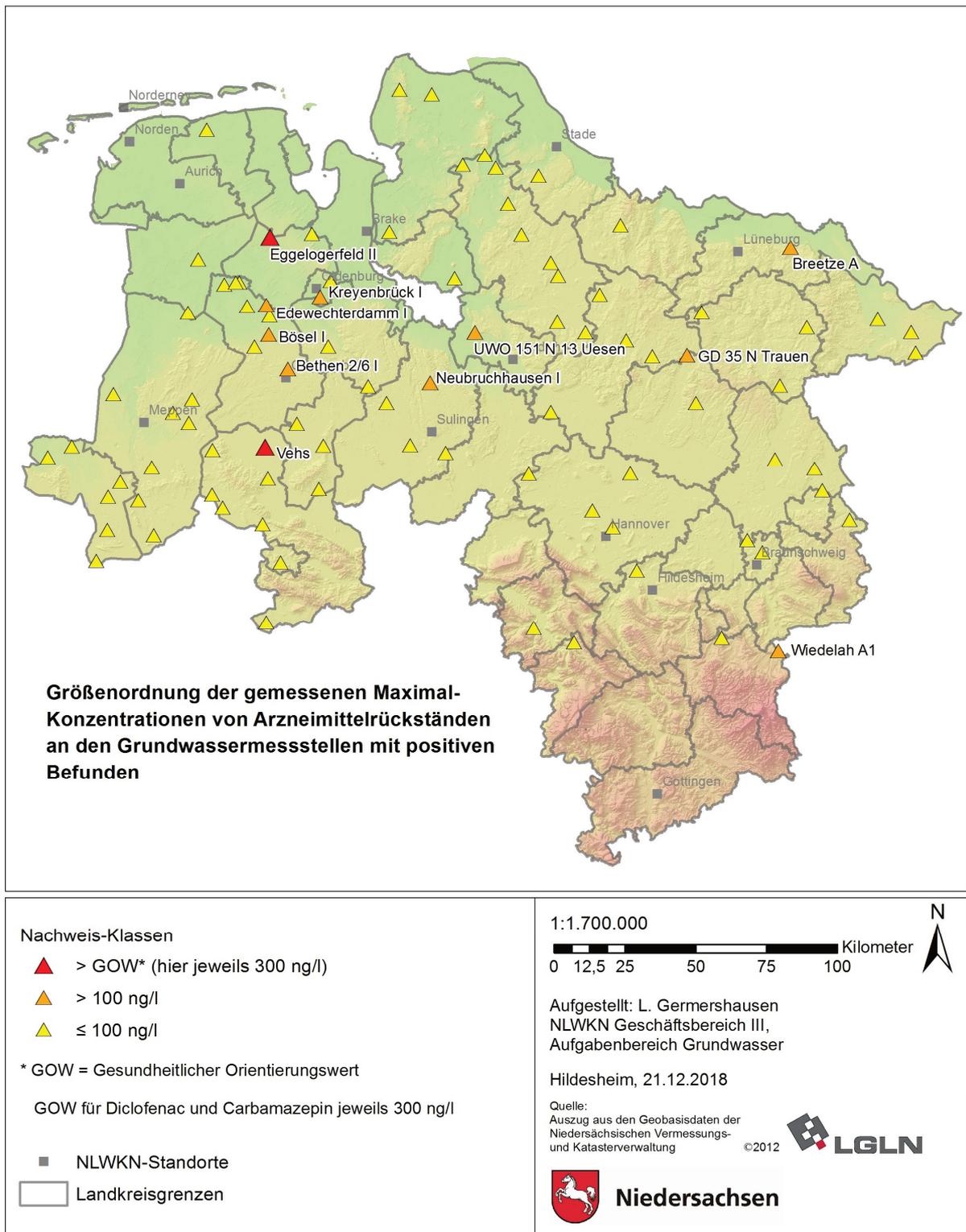


Abb. 12: Größenordnung der Nachweise von Arzneimittelrückständen im Grundwasser und die regionale Verteilung.

Insgesamt wurden damit an elf (knapp 4 %) der 287 untersuchten Grundwassermessstellen Konzentrationen von Arzneimittelwirkstoffen oder deren Metaboliten über 100 ng/l nachgewiesen. An

zwei dieser Messstellen wurden GOW überschritten (siehe auch Tab. A2 im Anhang).

5.3 Nachweise und Verteilung von Antibiotika im Grundwasser

Aufgrund der Fokussierung auf Sulfonamide in den ersten beiden Jahren des landesweiten Screenings und der sukzessiven weiteren konzeptionellen Entwicklung des Untersuchungsprogramms nehmen Antibiotika einen großen Anteil am untersuchten Wirkungsspektrum ein (siehe Kap. 4.3). Wegen der hervorzuhebenden ökologischen und medizinischen Relevanz, besonders mit Blick auf die Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Umwelt (Schönfeld et al. 2017, UBA 2018a, TAB 2019), werden die Analyseergebnisse zu den Antibiotikarückständen im vorliegenden Bericht nochmals gesondert betrachtet.

Insgesamt wurde auf 17 Antibiotikawirkstoffe und drei Metaboliten untersucht. Dies sind mehr als die Hälfte der untersuchten Stoffe im landesweiten Screening. Von diesen 20 Substanzen wurden acht (fünf Ausgangsstoffe und drei Metaboliten) in den analysierten Grundwasserproben nachgewiesen (Tab. 4).

Im Rahmen des landesweiten Screenings wurden an 58 Grundwassermessstellen Antibiotikarückstände nachgewiesen (Abb. 13). Das bedeutet an etwa jedem fünften untersuchten Standort. An vier Messstellen wurden Konzentrationen über 100 ng/l gemessen. Der vom UBA vorgeschlagenen Grenzwert wurde damit überschritten.

An den Messstellen Bösel I (Landkreis Cloppenburg) und Neubruchhausen I (Landkreis Diepholz) lagen die Konzentrationen von Sulfamethoxazol über 100 ng/l. Am Standort

Bethen 2/6 I (Landkreis Cloppenburg) wurde im Jahr 2017 einmalig ein 4-OH-Sulfadiazin-Gehalt über dem vorgeschlagenen Grenzwert ermittelt und an der Messstelle GD 35 N Trauen (Heidekreis) wurden in allen Messungen Sulfadimidin-Konzentration sowie zwischen 2016 und 2018 4-OH-Sulfadiazin-Gehalte über 100 ng/l gemessen. Die Konzentrationen der Sulfadimidin-Rückstände reichten dabei bis ca. 510 ng/l.

Tab. 4: An Grundwassermessstellen in Niedersachsen nachgewiesene Antibiotikarückstände. Ergebnisse aus dem landesweiten Screening von 2015 bis 2018.

Parameter	Anzahl der Messstellen mit positivem Befund
Sulfadimidin	38
4-Hydroxy-Sulfadiazin	13
Erythromycin	8
Sulfamethoxy-pyridazin	7
Sulfamethoxazol	6
Sulfadiazin	4
N-Acetyl-Sulfadiazin	2
N-Acetyl-Sulfamethoxazol	2

Bis auf große Teile Südniedersachsens und Ostfrieslands sind die Messstellen mit Nachweisen von Antibiotikarückständen in der Fläche weit verteilt. Weitere Auswertungen u. a. zur räumlichen Verteilung der Nachweise von Antibiotikarückständen sind Kapitel 6.3 zu entnehmen.

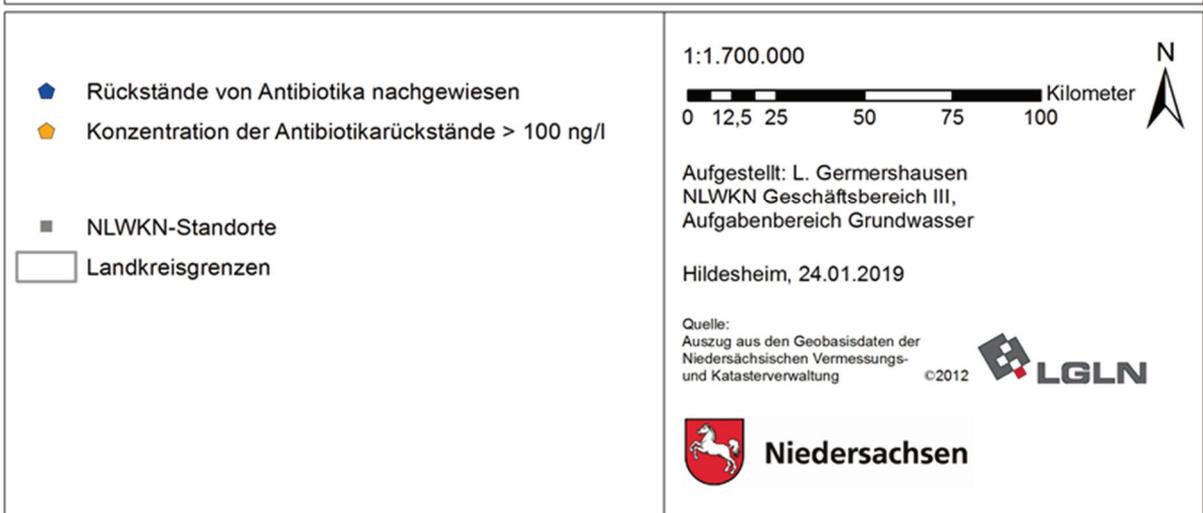


Abb. 13: Lage der Grundwassermessstellen, an denen im Rahmen des landesweiten Screenings Antibiotikarückstände nachgewiesen wurden.

5.4 Nachweise und Verteilung von nicht antibiotisch wirkenden Stoffen im Grundwasser

Im Vergleich zu den Funden von Antibiotikarückständen wurden die Rückstände der weiteren Wirkstoffe, die nicht den Antibiotika zuzuordnen

sind an einer geringeren Zahl von Grundwassermessstellen nachgewiesen (Abb. 14).

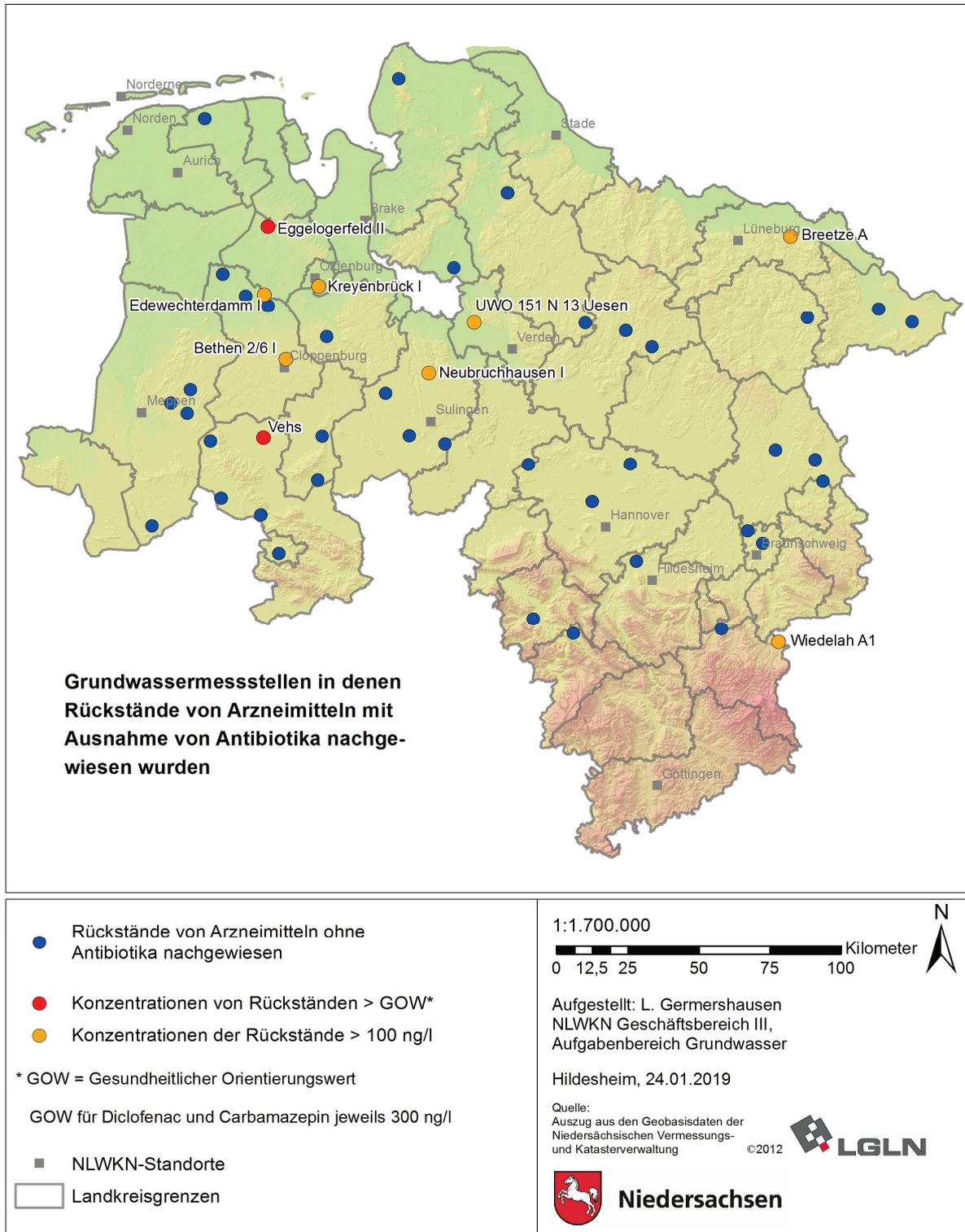


Abb. 14: Lage der Grundwassermessstellen, an denen im Rahmen des landesweiten Screenings Rückstände von nicht-antibiotisch wirkenden Arzneimitteln nachgewiesen wurden.

Hier liegt die Zahl der Messstellen mit positiven Befunden bei insgesamt 48. Die räumliche Verteilung weist Parallelen zur Verteilung der Messstellen mit Antibiotikarückständen auf.

An insgesamt neun Standorten wurde der vom UBA vorgeschlagene Grenzwert überschritten.

An den Messstellen Bethen 2/6 I (Landkreis Cloppenburg) und Neubruchhausen I (Landkreis Diepholz) wurde die Marke von 100 ng/l sowohl

von Antibiotika- als auch von Nicht-Antibiotikarückständen übertroffen.

An den Messstellen Eggelogerfeld II (Landkreis Ammerland) und Vehs (Landkreis Osnabrück) wurden in jeweils einer Messung GOW überschritten. An der Messstelle Eggelogerfeld II betraf dies den GOW für Diclofenac (300 ng/l) und an der Messstelle Vehs den GOW für Carbamazepin (300 ng/l) (siehe auch Kap. 5.1 und 5.2).

Kapitel 5 in Kürze...

- Zwischen 2015 und 2018 wurden an 90 (31 %) der 287 untersuchten Messstellen Rückstände von Arzneimitteln nachgewiesen.
- Die Funde sind nahezu flächendeckend verteilt.
- 22 von 37 untersuchten Wirkstoffen (inkl. ausgewählter Metaboliten) wurden nachgewiesen.
- An elf Messstellen überschritten die gemessenen Konzentrationen einzelner Stoffe den vom UBA vorgeschlagenen Grenzwert von 100 ng/l.
- Untersuchte Substanzen, die den vorgeschlagenen Grenzwert von 100 ng/l in Einzelmessungen überschritten: Sulfadimidin, Sulfamethoxazol, 4-OH-Sulfadiazin, Carbamazepin, Diclofenac, Amidotrizesäure und Gabapentin.
- Diclofenac und Carbamazepin überschritten in jeweils einer Probe auch den stoffspezifischen GOW (je 300 ng/l).

6. Auswertung der Ergebnisse nach Anwendungsbereichen und Wirkstoffgruppen

Im Rahmen des landesweiten Screenings auf Arzneimittel im Grundwasser wurde keine Ermittlung von Ursachen für positive Befunde oder Nachverfolgung von Eintragspfaden in der Umgebung untersuchter Messstellen betrieben. Aufgrund der Kenntnisse über die Haupteintragspfade von Tierarzneimitteln in das Grundwasser (siehe Kap. 3.2) und die Ergebnisse aus den Projekten des UBA und NLWKN zwischen 2014 und 2016 (siehe Kap. 2) ist besonders in den Regionen mit hohen Viehbesatzdichten von einem potentiell größeren Risiko auszugehen, dass über die ausgebrachten Wirtschaftsdünger Arzneimittelrückstände in das Grundwasser gelangen (siehe hierzu u. a. BLAC 2003, LANUV, 2007, UBA 2016 und NLWKN 2017). Humanarzneimittel gelangen meist über Abwasser in die Umwelt und können über diesen Pfad

auch das Grundwasser erreichen. Ein hohes potentiell Eintragsrisiko besteht u. a. im Umfeld defekter Abwasserkanäle (DWA 2015). Wie die Untersuchungen des UBA und NLWKN zwischen 2014 und 2016 zeigten, sind auch Kleinkläranlagen eine Ursache für den Eintrag von Arzneimittelrückständen ins Grundwasser, wenn sie aufbereitetes Abwasser mit Arzneimittelrückständen in den Boden abgeben (UBA 2016, NLWKN 2017). Die Auswertung der Ergebnisse des landesweiten Screenings bzgl. der regionalen Verteilung der positiven Befunde wurde daher u. a. mit Fokus auf die Viehbesatzdichte und der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen in Niedersachsen durchgeführt. Dabei wurde eine Gliederung der Arzneimittel in Wirkstoffgruppen und nach Anwendungsbereichen vorgenommen.

6.1 Regionale Verteilung der Rückstände mit Bezug auf die Anwendungsbereiche

Die Anwendungsbereiche wurden nach Informationen aus der DIMDI-Datenbank zur Zulassung der Wirkstoffe (DIMDI 2018, Hein 2019) festgelegt (siehe Kap. 4.3). Daraus ergeben sich drei Anwendungsgruppen. Die Stoffe, die ausschließlich in der Humanmedizin oder ausschließlich in der Veterinärmedizin zum Einsatz kommen, und die Stoffe, die für beide Bereiche zugelassen sind. An 23 untersuchten Messstellen wurden gleichzeitig oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten Stoffrückstände aus verschiedenen Anwendungsgruppen nachgewiesen. Diese Messstellen wurden bei allen Auswertungen bezüglich der Anwendungsbereiche mehrfach berücksichtigt. Die Ergebnisse werden gemeinsam mit vorliegenden Daten zur regionalen Verteilung der Viehbesatzdichte (LSN 2018) und der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen in Niedersachsen (LSN 2016) ausgewertet. Dazu werden die Viehbesatzdichte auf Gemeindeebene und die Anzahl der Einwohner mit Anschluss an Kleinkläranlagen pro km² auf Landkreisebene in Größenklassen unterteilt betrachtet.

Die vorliegenden Daten des Landesamtes für Statistik Niedersachsen (LSN) (LSN 2016 und LSN 2018) lassen erkennen, dass viele Gebiete, in denen eine hohe Viehdichte ($\geq 1,75$ GV/ha LF) zu verzeichnen ist, gleichzeitig eine vergleichsweise hohe Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (hier > 15 Einw. mit KKA/km²) aufweisen (siehe auch Abb. 15 und 16).

Dies ist vorrangig auf die Siedlungsstrukturen in den unterschiedlichen Regionen Niedersachsens zurückzuführen. Die in größerer Entfernung zu den Verdichtungsräumen um die großen Städte Niedersachsens sowie Hamburg und Bremen gelegenen Regionen sind meist ländlich geprägt

und vergleichsweise dünn besiedelt (NIW 2003). Aufgrund historischer Entwicklungen in der landwirtschaftlichen Nutzung herrschen zudem besonders im Weser-Ems-Gebiet und in Teilen der Heidegebiete im östlichen Niedersachsen weitverbreitet Streusiedlungen vor (Wiegand 2005).

In den Abbildungen 15 und 16 sind die Ergebnisse aus den Gebieten ab und unter 1,75 GV/ha LF sowie aus den Gebieten mit über und bis zu 15 Einw. mit KKA/km² gegenübergestellt. Betrachtet werden die Anteile der in den jeweiligen Gebieten untersuchten Messstellen mit positiven Befunden. Die Einflüsse aus den ursprünglichen Vorgaben zur Auswahl der Messstellen resultierenden Ungleichmäßigkeiten in der Flächendeckung (siehe Kap. 4.1) sind somit verringert.

Beide Abbildungen weisen Gemeinsamkeiten auf. Während die Unterschiede bei den Messstellen mit Nachweisen ausschließlich aus dem humanmedizinischen Bereich (HAM) vergleichsweise gering sind, weisen die Messstellen mit Nachweisen ausschließlich aus der Tiermedizin (TAM) in den Gebieten mit $\geq 1,75$ GV/ha LF sowie den Gebieten mit > 15 Einw. mit KKA/km² jeweils deutlich höhere Anteile mit positiven Befunden auf, als in den Gebieten mit geringerem Viehbesatz oder geringerer Anzahl an Einwohnern mit Kleinkläranlagen pro km². Bei den hier betrachteten TAM handelt es sich ausschließlich um Antibiotika (siehe Tab. 2). Vergleichbare Muster sind in den Abbildungen 15 und 16 auch für die Messstellen mit nachweisen von Wirkstoffen, die für beide Anwendungsbereichen zugelassen sind, zu erkennen.

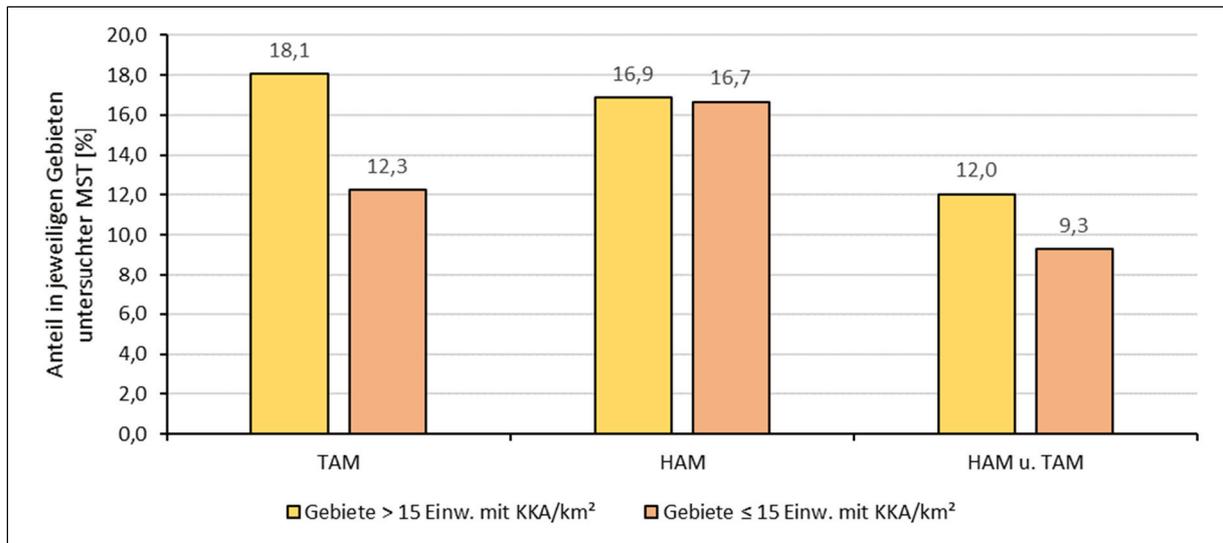


Abb. 15: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Arzneimittelrückständen in Gebieten mit über und bis zu 15 Einwohnern mit Kleinkläranlagen (KKA) pro km² gegliedert nach Anwendungsbereichen. TAM – Tierarzneimittel, HAM – Humanarzneimittel.

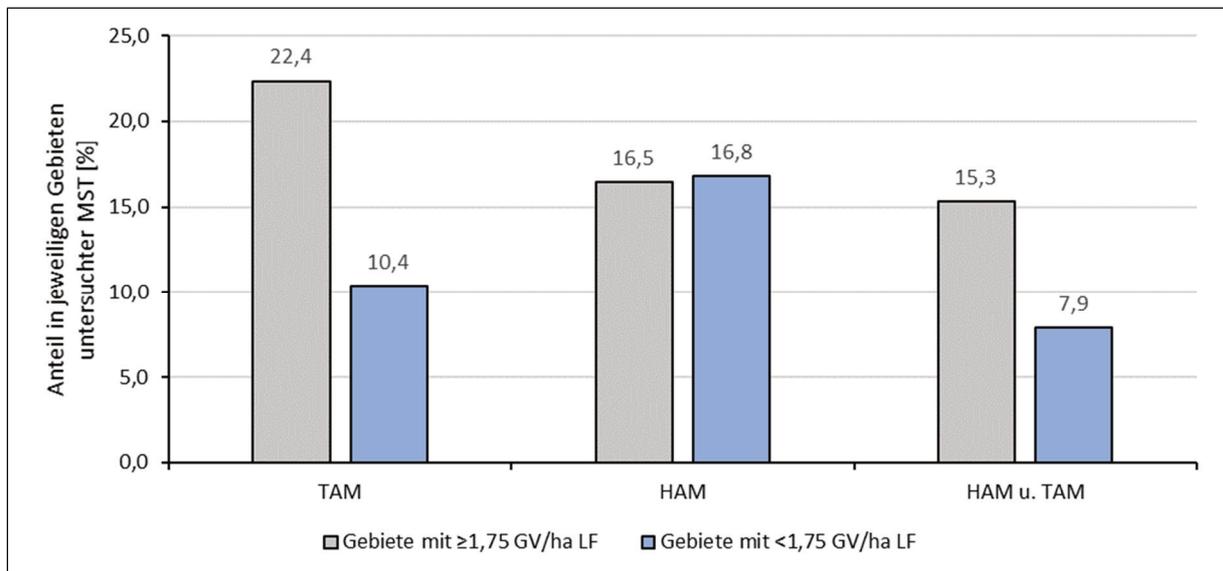


Abb. 16: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Arzneimittelrückständen in viehstarken ($\geq 1,75$ GV/ha LF) und viehschwachen ($< 1,75$ GV/ha LF) Gebieten gegliedert nach Anwendungsbereichen. TAM – Tierarzneimittel, HAM – Humanarzneimittel.

In den Gebieten mit > 15 Einw. mit KKA/km² wurden insgesamt 83 Messstellen untersucht. Die Zahl der untersuchten Grundwassermessstellen in den Gebieten mit einer geringeren Anzahl an Einwohnern mit Kleinkläranlagen pro km² liegt bei 204. Dieses Verhältnis ist in den nach Viehbesatzdichte unterteilten Regionen sehr ähnlich. Hier stehen 85 Messstellen in den Regionen ab 1,75 GV/ha LF insgesamt 202 Messstellen in den Regionen mit geringerer Viehdichte gegenüber.

Bei den Messstellen mit Rückständen aus dem humanmedizinischen Bereich in Zusammenhang mit der Dichte an Einwohnern mit Kleinkläranlagen (Abb. 15) sind die Unterschiede zwischen den gegenübergestellten Gebieten nur sehr gering (0,2 %). Die Anteile liegen mit 16,9 % und 16,7 %, im Vergleich zu denen der anderen Anwendungsbereiche, in beiden Gebieten aber verhältnismäßig hoch. Auch bei der Gegenüberstellung der Regionen mit Bezug auf die Viehbesatzdichte (Abb. 16) weisen die jeweiligen Anteile der Messstellen mit Nachweisen von Arzneimittel-

rückständen aus dem humanmedizinischen Bereich in beiden Gebieten vergleichbare Werte auf (16,5 % und 16,8 %). Auch hier werden beide Werte nur von den Anteilen der Grundwassermessstellen mit positiven Befunden zu TAM-Rückständen in den viehstarken Gebieten übertriften.

Zusammenhänge zwischen Nachweisen von HAM-Rückständen und der Verteilung der Dichte von an Kleinkläranlagen angeschlossenen Einwohnern sowie der Viehbesatzdichte lassen sich hieraus nicht ableiten. Auch statistisch konnten keine direkten Abhängigkeiten festgestellt werden.

Deutliche Unterschiede sind bei den Gegenüberstellungen der Anteile von Messstellen mit Nachweisen von Stoffen aus der Veterinärmedizin zu erkennen. In den Gebieten mit > 15 Einw. mit KKA/km² liegen diese bei 18,1 % und in den Gebieten mit geringerer Anzahl an Einwohnern mit Kleinkläranlagen pro km² bei 12,3 % (Abb. 15). Eine noch größere Differenz ist zwischen den Gebieten ab und mit weniger als 1,75 GV/ha LF auszumachen (Abb. 16). An 22,4 % der in den viehstarken Gebieten untersuchten Messstellen wurden Substanzen aus dem veterinärmedizinischen Bereich nachgewiesen. In den Regionen mit weniger als 1,75 GV/ha LF ist der Anteil mit 10,4 % um mehr als die Hälfte geringer. Die Ähnlichkeiten in der regionalen Verteilung der Viehbesatzdichte und der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen in Niedersachsen (s. o.) sind anhand der Gegenüberstellung der Abbildungen 15 und 16 feststellbar. Aufgrund der Kenntnisse über die typischen Eintragungspfade von Tierarzneimitteln in die Umwelt (siehe Kap. 3.2) ist ein genereller Einfluss von Abwasserbehandlungsanlagen oder defekter Kanalisation allerdings nicht zu erwarten. Ausnahmen, wie u. a. die Entsorgung ungenutzter TAM über das Abwasser, bestehen, sind im Vergleich zu den vorherrschenden Eintragungspfaden allerdings von geringer Bedeutung (UBA 2018). Es ist eher von einem Zusammenhang mit der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung auszugehen (siehe Kap. 3.2). Statistisch sind anhand der Ergebnisse des landesweiten Screenings zwischen der Höhe der Viehbesatzdichte und der Verteilung der Messstellen mit

Funden von TAM-Rückständen allerdings keine direkten Zusammenhänge auszumachen. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung (Abb. 16) lassen aber die Tendenz erkennen, dass in den viehstarken Gebieten eher TAM-Rückstände im Grundwasser nachgewiesen werden. Dies wird auch bei der Betrachtung der regionalen Verteilung der Messstellen mit Nachweisen von Stoffrückständen aus der Tiermedizin deutlich (siehe Kap. 6.1.2).

Bezüglich der Stoffe, die in beiden Anwendungsbereichen zugelassen sind, gibt es ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Anteilen an Messstellen mit positiven Befunden in den viehstarken und viehschwachen Regionen sowie den Gebieten mit großer und geringer Anzahl an Einwohnern mit Kleinkläranlagen pro km². Die Differenz der Anteile von Messstellen mit Wirkstoffen, die in der Human- sowie in der Tiermedizin eingesetzt werden, zwischen den Gebieten mit >15 Einw. mit KKA/km² (12,0 %) und den Gebieten mit einer geringeren Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (9,3 %) beträgt 2,7 % (Abb. 15). Zwischen den Gebieten ab 1,75 GV/ha LF und in den Gebieten mit geringerem Viehbesatz liegt die Differenz bei 7,4 % (Abb. 16).

Die geringsten Anteile von Messstellen mit positiven Befunden sind den Wirkstoffen, die aktuell für die Human- sowie die Tiermedizin zugelassen sind, in den Regionen mit bis zu 15 Einw. mit KKA/km² (9,3 %) und in Gebieten mit unter 1,75 GV/ha LF (7,9 %) zuzuordnen. Direkte Zusammenhänge zwischen diesen parallel einsetzbaren Substanzen und der regionalen Dichte von Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen sowie der Viehbesatzdichte konnten statistische Analysen nicht bestätigen. Da sich die räumlichen Verteilungen der Regionen mit hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen sowie der Regionen mit hoher Viehbesatzdichte gebietsweise überschneiden und sich die Einsatzmengen der einzelnen parallel einsetzbaren Stoffe in den jeweiligen Anwendungsbereichen unterscheiden, lassen sich auf diesem Wege keine konkreteren Aussagen zu Zusammenhängen treffen (siehe auch Kap. 6.1.3).

6.1.1 Rückstände aus dem humanmedizinischen Bereich

Insgesamt wurden an 48 Messstellen Stoffrückstände im Grundwasser nachgewiesen, die aktuell ausschließlich dem humanmedizinischen Bereich zuzuordnen sind. Stoffe aus diesem Anwendungsbereich werden vorwiegend über das Abwasser in die Umwelt eingetragen (siehe Kap. 3.2). Kleinkläranlagen können diesbezüglich eine potentielle Quelle sein (UBA 2016, NLWKN 2017). Der Fokus liegt bei der folgenden Betrachtung der Ergebnisse zu den Stoffen aus dieser Anwendungsgruppe auf dem Zusammenhang mit der regionalen Verteilung der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen in Niedersachsen (Abb. 17).

Die Messstellen, an denen rein humanmedizinische Stoffe nachgewiesen wurden, verteilen sich über das gesamte Land. In den Festgesteinsgebieten Südniedersachsens gibt es nur wenige Messstellen mit positiven Befunden, was auch mit der geringen Anzahl an untersuchten Messstellen in dieser Region zusammenhängen könnte. Eine gebietsweise Verdichtung von

Messstellen mit Nachweisen im westlichen Teil des Landes lässt sich auch bei den Funden von HAM-Rückständen erkennen (Abb. 17). Dies ist beispielsweise im Norden des Landkreises Cloppenburg oder östlich von Meppen zu sehen. Allgemeingültige Aussagen zu Einflüssen von Kleinkläranlagen auf die Konzentration von HAM-Rückständen im Grundwasser lassen sich auf dieser Betrachtungsebene nicht treffen. Potentielle Einflüsse von Kleinkläranlagen müssten kleinräumig untersucht werden, wie u. a. in den Projekten zur Ursachenforschung von UBA und NLWKN (siehe Kap. 2) geschehen (UBA 2016, NLWKN 2017). Nicht bei jeder Grundwassermessstelle mit positivem Befund muss eine Beeinträchtigung durch Kleinkläranlagen vorliegen. Besonders bei den Rückständen aus dem humanmedizinischen Bereich können noch einige weitere Faktoren, wie z. B. die Ausbringung von Klärschlamm und eine defekte öffentliche Kanalisation (LAWA 2016), eine Rolle spielen.

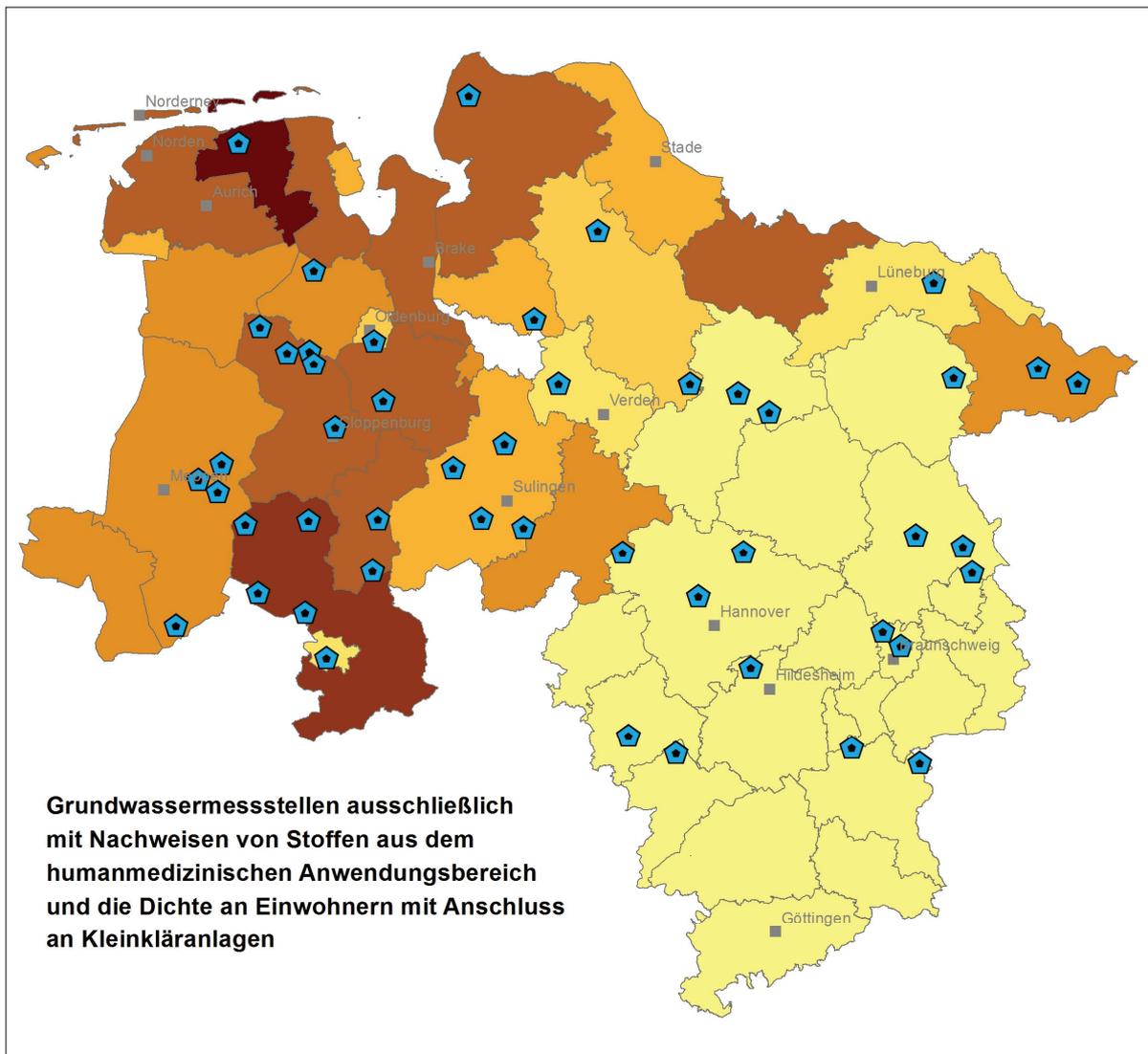


Abb. 17: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Humanarzneimittelrückständen in Niedersachsen im Zusammenhang mit der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen.

Landesweite Daten lagen hierzu nicht vor. Durch regionale Untersuchungen (siehe NLWKN 2018) können noch detailliertere Informationen in ausgewählten Landesteilen gesammelt werden. Die

Eintragsquellen sind aber erst nach entsprechenden Untersuchungen vor Ort eindeutig festzustellen (NLWKN 2018).

6.1.2 Rückstände aus dem veterinärmedizinischen Bereich

Den dominierenden Eintragspfad für Tierarzneimittel in die Umwelt stellt die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern dar (siehe Kap. 3.2). Der Fokus der Betrachtung der regionalen Verteilung von Grundwassermessstellen mit Rückständen aus dem veterinärmedizinischen Bereich liegt daher auf dem Zusammenhang mit der Verteilung der Viehbesatzdichte in Niedersachsen (Abb. 18).

Insgesamt wurden an 40 Messstellen Rückstände von Arzneimitteln nachgewiesen, die aktuell ausschließlich in der Veterinärmedizin zugelassen sind. In Abbildung 18 ist die räumliche Verdichtung von Messstellen mit Nachweisen in den Gebieten mit $\geq 1,75$ GV/ha LF deutlich erkennbar. Im östlichen Teil Niedersachsens wurden südlich von Hannover und im nordöstlichen Bereich um Lüneburg (Landkreise Harburg, Lüneburg, Lüchow-Dannenberg und Uelzen) keine Rückstände von Wirkstoffen aus der Tiermedizin im Grundwasser nachgewiesen. Östlich der Landkreise Heidekreis und Celle wurden nur an einer Messstelle im Landkreis Helmstedt (Bahrdorf I) TAM-Rückstände gefunden. Dennoch lassen sich auch in den östlichen Landesteilen Auswirkungen durch Tierhaltung erkennen. Deutliche Überschreitungen des vom UBA vorgeschlagenen Grenzwertes, wie an der Messstelle GD 35 N Trauen im Heidekreis (siehe Kap. 5.1), sind dabei aber die Ausnahme.

Die Wirtschaftsdünger, über die TAM-Rückstände in die Umwelt gelangen könnten, fallen entweder direkt in der betroffenen Region an oder können u. U. auch aus den Überschussge-

bieten im Weser-Ems-Gebiet aufgenommen worden sein. Insgesamt wurden aus der Weser-Ems-Region ca. 1,95 Mio. t organische Düngemittel zwischen Mitte 2018 und Mitte 2019 in die anderen Regionen Niedersachsens exportiert. Besonders von den Landkreisen Diepholz, Nienburg (Weser), Rotenburg (Wümme), Heidekreis, Verden und der Region Hannover wurden außerhalb der Weser-Ems-Region im o. g. Zeitraum die größten Mengen an organischen Düngemitteln (zwischen 160.000 und 480.000 t) aus anderen Landkreisen aufgenommen (LWK 2020).

Direkte Zusammenhänge zwischen Funden von TAM-Rückständen und der Höhe der Viehbesatzdichte können bei der regionalen Betrachtung und durch statistische Tests nicht belegt werden. Beim Vergleich viehstarker und viehschwächerer Gebiete ist aber eine klare Tendenz zu größeren Fundhäufigkeiten von TAM-Rückständen in viehstärkeren Regionen zu erkennen (siehe Abb. 16 und 18). Auch die Ergebnisse der regionalen Untersuchungen des NLWKN in den viehstarken Gebieten zwischen 2016 und 2017 bestätigen diese Erkenntnisse (NLWKN 2018). Um konkretere Aussagen zu den Eintragspfaden an den einzelnen Untersuchungsstandorten treffen zu können, müssten, wie auch bei den Rückständen aus den anderen Anwendungsbereichen, ebenfalls kleinräumigere Untersuchungen im Umfeld der entsprechenden Grundwassermessstellen (siehe UBA 2016 und NLWKN 2017) vorgenommen werden.

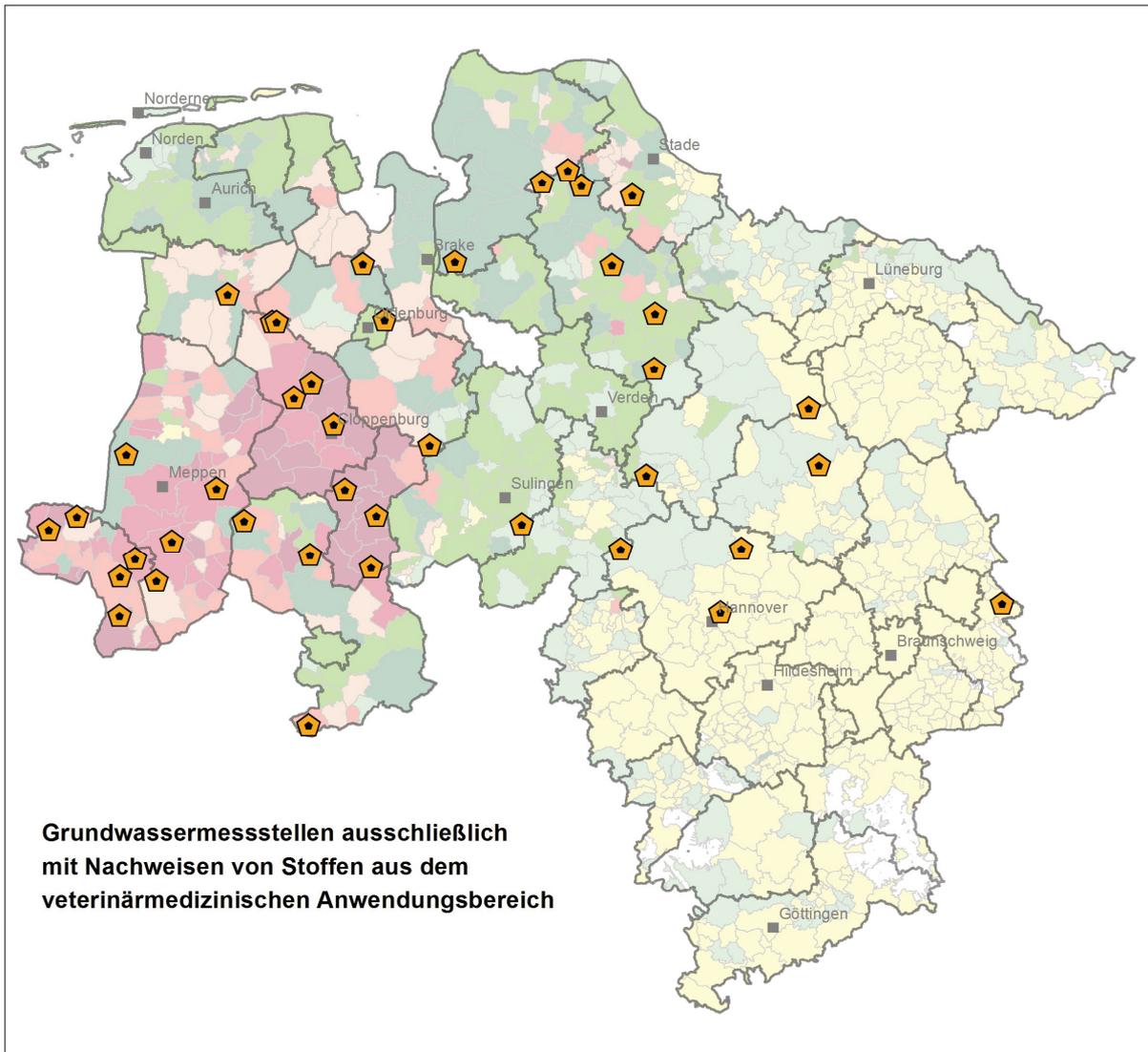


Abb. 18: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Tierarzneimittelrückständen im Zusammenhang mit der Viehbesatzdichte in Niedersachsen.

6.1.3 Rückstände von Wirkstoffen mit Zulassung in Human- und Veterinärmedizin

Die Rückstände der Wirkstoffe, die sowohl in der Humanmedizin als auch in der Veterinärmedizin zum Einsatz kommen, lassen sich ohne weitere Informationen und Untersuchungen keinen konkreten Eintragungspfaden zuordnen (NLWKN 2017). In den Abbildungen 19 und 20 sind die Ergebnisse jeweils einmal im Zusammenhang mit der Viehbesatzdichte und mit der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen in Niedersachsen dargestellt.

An 29 der 287 untersuchten Messstellen wurden Rückstände von Wirkstoffen gefunden, die als HAM und als TAM zugelassen sind. Die regionale Verteilung der Messstellen mit positiven Befunden weicht von den jeweiligen Verteilungen der Messstellen mit Nachweisen von Rückständen, die ausschließlich aus dem veterinär- oder humanmedizinischen Anwendungsbereich stammen, ab (Abb. 19 und 20).

Es ist keine flächendeckende Verteilung erkennbar. Der Großteil der Messstellen mit positiven Befunden, zu den in beiden Anwendungsbereichen einsetzbaren Wirkstoffe, konzentriert sich auf zwei Regionen in Niedersachsen. Diese umfassen die Landkreise Grafschaft Bentheim, Emsland, Cloppenburg, Osnabrück und Vechta im Westen sowie die Landkreise Rotenburg (Wümme), Harburg, Heidekreis, Lüneburg, Uelzen und Lüchow-Dannenberg im Nordosten des Landes.

Im Westen Niedersachsens liegen die Messstellen mit Nachweisen fast ausschließlich in Gebieten mit hoher Viehbesatzdichte

($\geq 1,75$ GV/ha LF) (Abb. 19). Diese Gebiete überschneiden sich aber zu einem Großteil auch mit Gebieten, in denen eine vergleichsweise hohe Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (> 15 Einw. mit KKA/km²) vorliegt (Abb. 20).

Hinweise auf bestimmte Eintragungspfade, die zu den positiven Befunden geführt haben, lassen sich hieraus nicht ableiten.

Ähnliches gilt für die Regionen mit den oben genannten Landkreisen im nordöstlichen Teil des Landes. Hier liegen die Messstellen mit Nachweisen von in beiden Anwendungsbereichen einsetzbaren Stoffen allerdings meist in Gebieten mit einer Viehdichte von unter 1 GV/ha LF. Die Spannweite der Anzahlen von Einwohnern pro km², die an Kleinkläranlagen angeschlossen sind, ist demgegenüber groß. In den genannten Landkreisen reicht sie von ca. 1,7 Einw. mit KKA/km² im Landkreis Heidekreis bis ca. 15,7 Einw. mit KKA/km² im Landkreis Harburg (LSN 2016). Erste Hinweise auf vorherrschende Eintragungspfade ergeben sich damit ebenfalls nicht. Für detailliertere Informationen zu Eintragungspfaden sind auch in diesem Fall kleinräumigere Untersuchungen im Umfeld der einzelnen Grundwassermessstellen durchzuführen. Wichtige Anhaltspunkte hierzu würden Kenntnisse über den Anwendungsbereich (Human- oder Tiermedizin) geben, für das die betreffenden Stoffe in den jeweiligen Einzelfällen genutzt wurden.

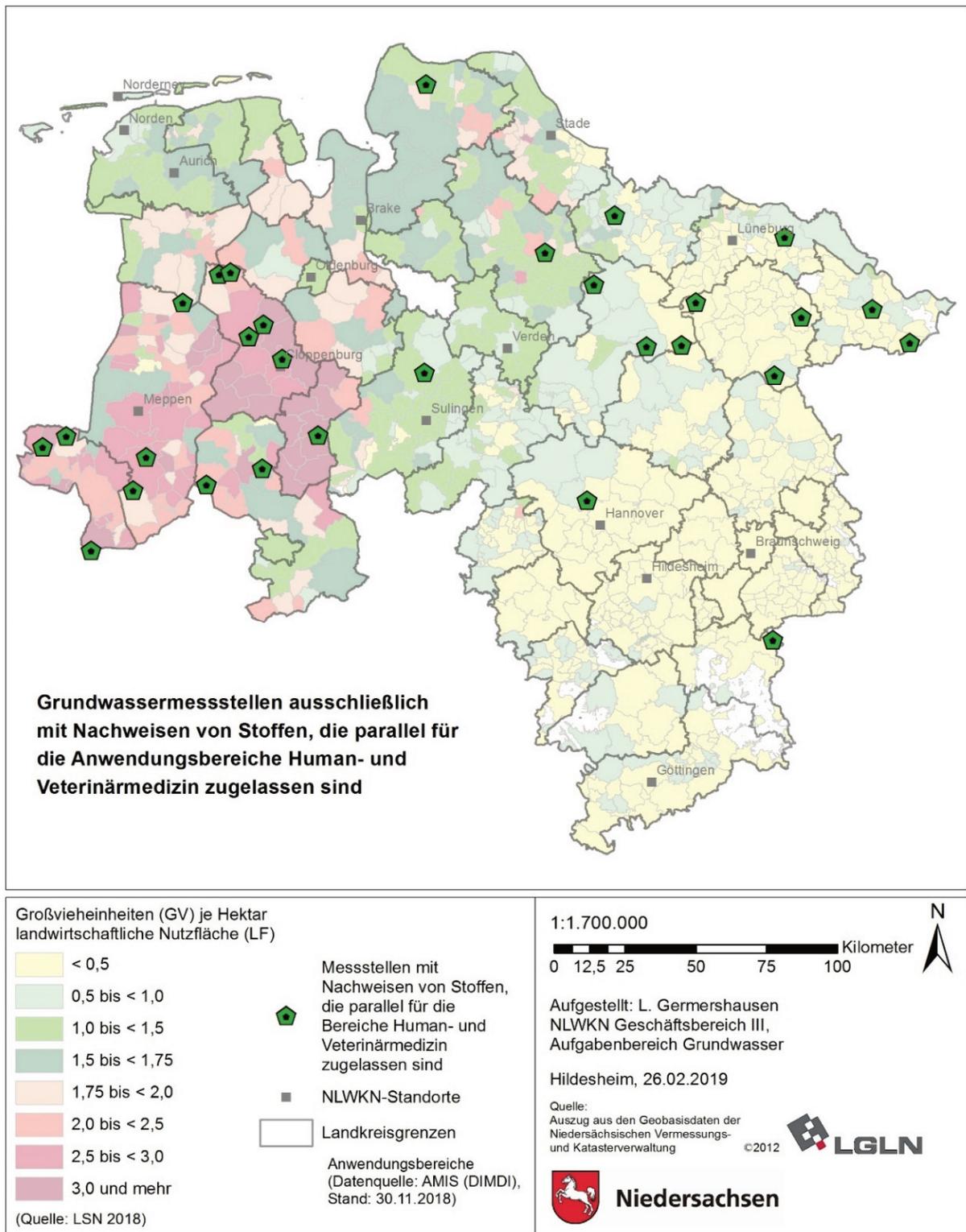


Abb. 19: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Rückständen von Substanzen, die aktuell für den veterinärmedizinischen sowie auch für den humanmedizinischen Bereich zugelassen sind, im Zusammenhang mit der Viehbesatzdichte in Niedersachsen.

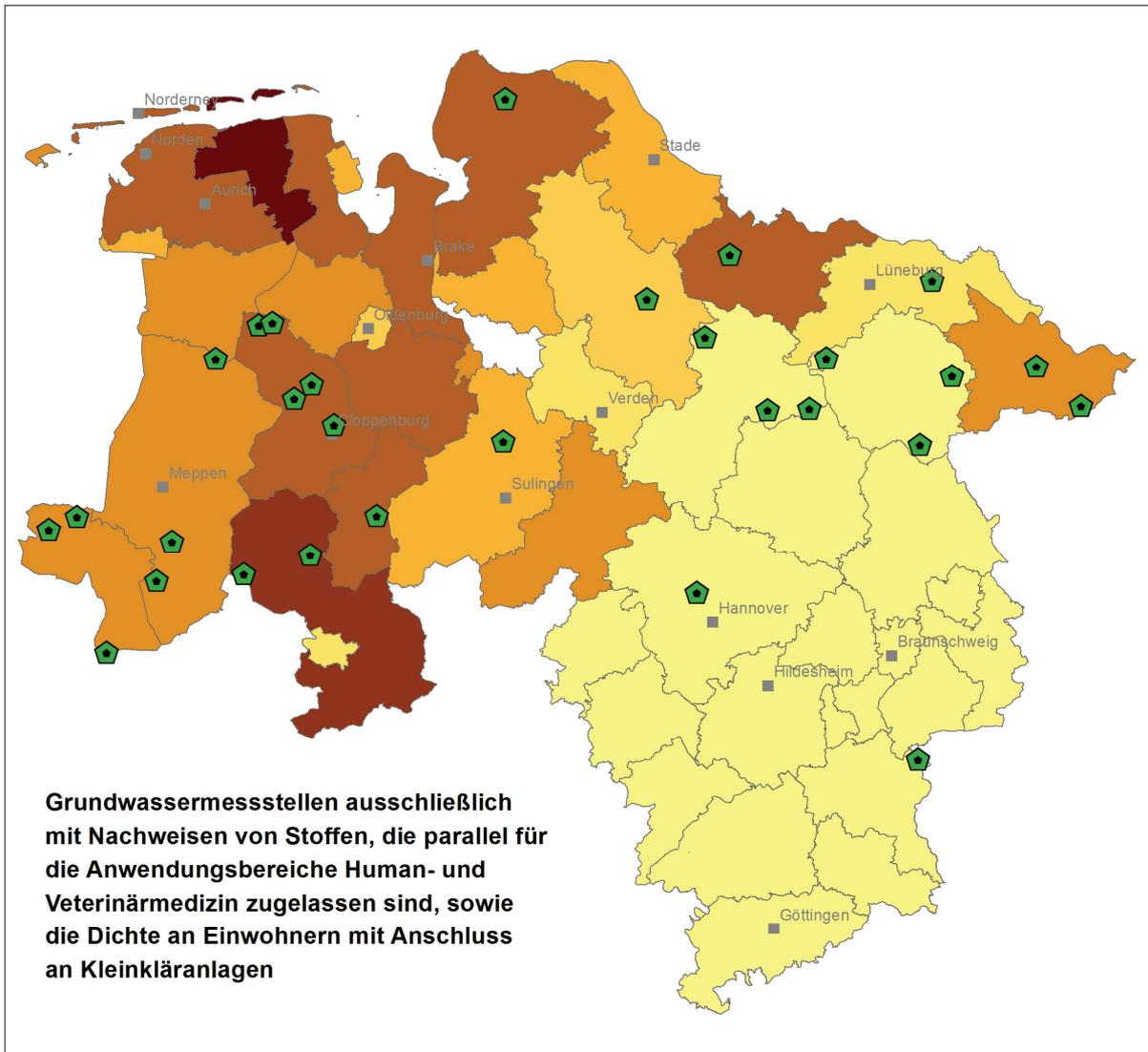


Abb. 20: Regionale Verteilung von Grundwassermessstellen mit Rückständen von Substanzen, die aktuell für den veterinärmedizinischen sowie auch für den humanmedizinischen Bereich zugelassen sind, im Zusammenhang mit der Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen.

6.2 Regionale Verteilung der Antibiotikarückstände mit Bezug auf den Viehbesatz

Wie in den regionalen Projekten des UBA und des NLWKN, die zwischen 2012 und 2017 in den viehstarken Gebieten im Westen Niedersachsens durchgeführt wurden (siehe UBA 2014a, UBA 2016 und NLWKN 2017), lag auch der Fokus der landesweiten Untersuchung zunächst ausschließlich auf den Rückständen von Antibiotikawirkstoffen im Grundwasser (siehe Kap. 4.3). Insbesondere wurden Wirkstoffe untersucht, die in der landwirtschaftlichen Tierhaltung zum Einsatz kommen. Ein Schwerpunkt der folgenden Ergebnisauswertung liegt deshalb auf dem Zusammenhang zwischen der Verteilung der Messstellen mit positiven Befunden und der Viehbesatzdichte in Niedersachsen.

Antibiotikawirkstoffe und Metaboliten, die in den ersten beiden Jahren des Screenings in Grundwasserproben nachgewiesen wurden, sind auch in 2017 und 2018 weiter untersucht worden. Zu diesen Wirkstoffen aus der Gruppe der Sulfonamide liegen die meisten Analysedaten vor. Weitere Antibiotikawirkstoffe wurden ab 2017 untersucht (siehe Kap. 4.3).

Die ersten landesweiten Kenntnisse zur Häufigkeit und räumlichen Verteilung von Antibiotikafunden im Grundwasser sind u. a. in Verbindung mit der aktuellen Diskussion um die Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen von Bedeutung (Schönfeld et al. 2017, UBA 2018a, NLWKN 2019).

Von den 58 Messstellen, an denen Rückstände von Antibiotika nachgewiesen wurden (siehe Kap. 5.3), liegen 23 (ca. 39,7 %) in Gebieten mit einer Viehbesatzdichte von 1,75 GV/ha LF und mehr, die etwa 20 % der Fläche Niedersachsens einnehmen (Abb. 21). An zwei Messstellen in diesen viehstarken Gebieten wurde der vom UBA vorgeschlagene Grenzwert von 100 ng/l überschritten. An der Messstelle Bösel I (Landkreis Cloppenburg) lag die Konzentration von Sulfamethoxazol in beiden Untersuchungen des Jahres 2015 über 100 ng/l (max. ca. 135 ng/l). Dieser Wirkstoff kommt auch verstärkt in der Humanmedizin zum Einsatz. Im Jahr 2013 wurden nur knapp 11 % der verkauften Menge in der Tiermedizin genutzt (UBA 2016). Zwischen 2016 und 2018 lagen die Konzentrationen meist deutlich unter dem vorgeschlagenen Grenzwert. Die

Ergebnisse der Projekte zur Ursachenerforschung von UBA und NLWKN (UBA 2016, NLWKN 2017) lassen für diese Messstelle allerdings deutliche Hinweise auf den Einfluss einer Kleinkläranlage im Umfeld erkennen. Die Rückstände stammen hier demnach sehr wahrscheinlich aus der humanmedizinischen Anwendung. An der Messstelle Bethen 2/6 I (Landkreis Cloppenburg) wurde im Jahr 2017 einmalig eine 4-OH-Sulfadiazin-Konzentration von knapp 130 ng/l gemessen. In den fünf weiteren Untersuchungen lagen die Gehalte unter 100 ng/l. 4-OH-Sulfadiazin ist ein Abbauprodukt des Wirkstoffs Sulfadiazin, der als HAM sowie als TAM zugelassen ist. In der Humanmedizin wird er aber nur in vergleichsweise sehr geringen Mengen (0,3 % der verkauften Menge in 2013) eingesetzt (UBA 2016). Untersuchungen zur Ermittlung von Eintragungspfaden durch das UBA oder den NLWKN (UBA 2016, NLWKN 2017) wurden an diesem Standort nicht vorgenommen. Auch in den Gebieten mit geringerem Viehbesatz (< 1,75 GV/ha LF) wurde der Wert von 100 ng/l an zwei Messstellen mehrmals überschritten. Am Standort Neubruchhausen I (Landkreis Diepholz) lagen die Gehalte von Sulfamethoxazol im Grundwasser in den Jahren von 2015 bis 2017 zwischen 143 ng/l und 629 ng/l. In 2018 lag die Konzentration (ca. 30 ng/l) deutlich unter 100 ng/l. Eine Ursachenforschung, wie am Beispiel der Messstelle Bösel I beschrieben, fand an diesem Standort bisher nicht statt. In 2017 wurde zudem einmalig das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure in einer Konzentration von 584 ng/l nachgewiesen. Im nachfolgenden Jahr lag der Gehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze. Ein Einfluss von Abwasser auf die Messstelle ist naheliegend, wobei ein Wirken verschiedener Eintragungspfade nicht auszuschließen ist. An der Messstelle GD 35 N Trauen wurde in allen fünf durchgeführten Untersuchungen zwischen 2015 und 2018 der vorgeschlagene Grenzwert von 100 ng/l durch Rückstände von Sulfadimidin überschritten. Die Gehalte schwankten zwischen 282 ng/l und ca. 510 ng/l. Dieser Wirkstoff ist seit über 25 Jahren nicht mehr für den humanmedizinischen Bereich zugelassen (siehe Kap. 5.1). Auch die Konzentrationen von 4-OH-Sulfadiazin lagen an diesem Standort zwischen 2016 und 2018 über 100 ng/l (max.

290 ng/l). Der Ausgangsstoff Sulfadiazin wird vorwiegend in der Tiermedizin und nur in äußerst

geringen Mengen in der Humanmedizin eingesetzt (s. o.).

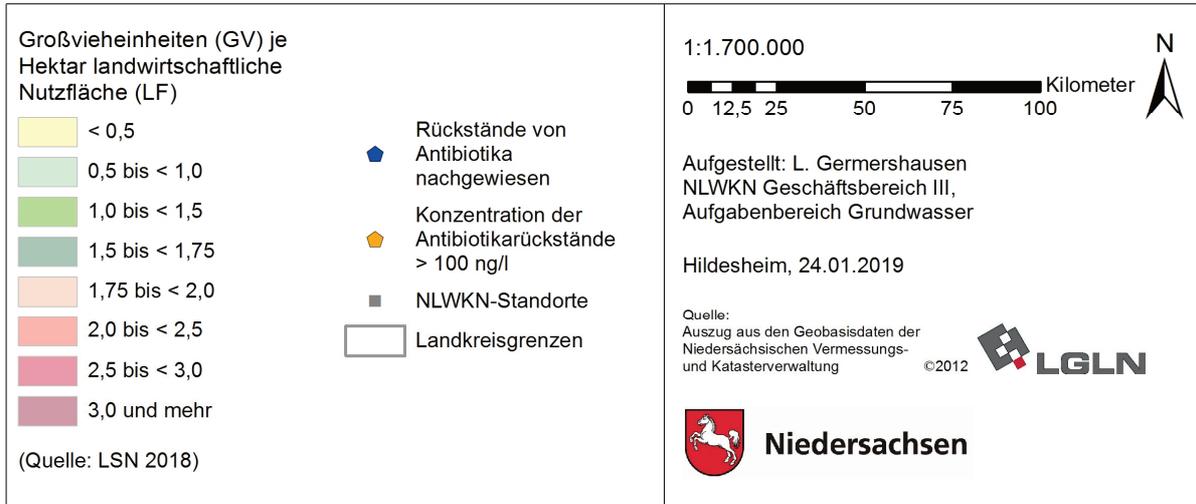
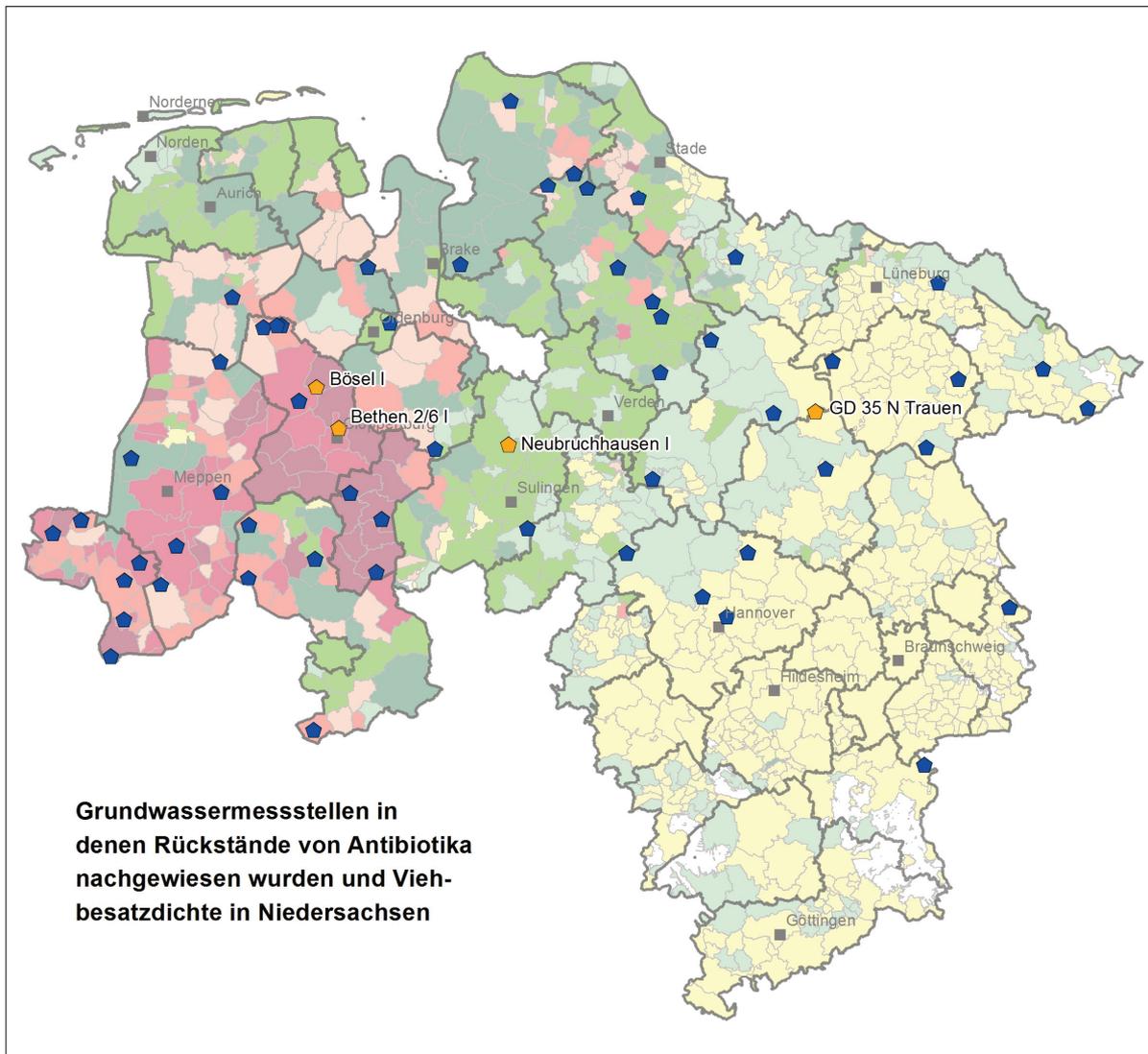


Abb. 21: Lage der Grundwassermessstellen, an denen im Rahmen des landesweiten Screenings Antibiotikarückstände nachgewiesen wurden.

Im Vergleich zu den oben genannten Funden von Antibiotikarückständen wurden die weiteren Wirkstoffe, die nicht den Antibiotika zuzuordnen sind, an einer geringeren Zahl von Grundwassermessstellen nachgewiesen. Insgesamt sind dies 48 Messstellen, von denen 14 (ca. 29,2 %) in Gebieten mit einer Viehbesatzdichte $\geq 1,75$ GV/ha LF liegen.

Die Eintragungspfade lassen sich durch die Ergebnisse des landesweiten Screenings nicht in jedem Fall nachvollziehen. Da einige der untersuchten Antibiotika, wie z. B. Erythromycin, Sulfamethoxazol und Sulfadiazin, noch bis heute in der Human- sowie in der Tiermedizin im Einsatz

sind, kommen verschiedene Quellen für die Belastungen des Grundwassers infrage (NLWKN 2017, NLWKN 2018).

Die Vergleiche der Anteile von Messstellen mit positiven Befunden in den Regionen, die bereits in den vorherigen Kapiteln betrachtet wurden, mit den dort insgesamt untersuchten Messstellen (Abb. 22 und 23), lassen für die betrachteten Wirkstoffgruppen verschiedene räumliche Verteilungen erkennen. In der Gesamtbetrachtung zeigen die beiden Abbildungen allerdings Ähnlichkeiten. Dies ist, wie u. a. bereits in Kap. 6.1 thematisiert, vermutlich vorwiegend auf die Überschneidungen der Gebiete mit hoher Viehbesatzdichte und hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen zurückzuführen.

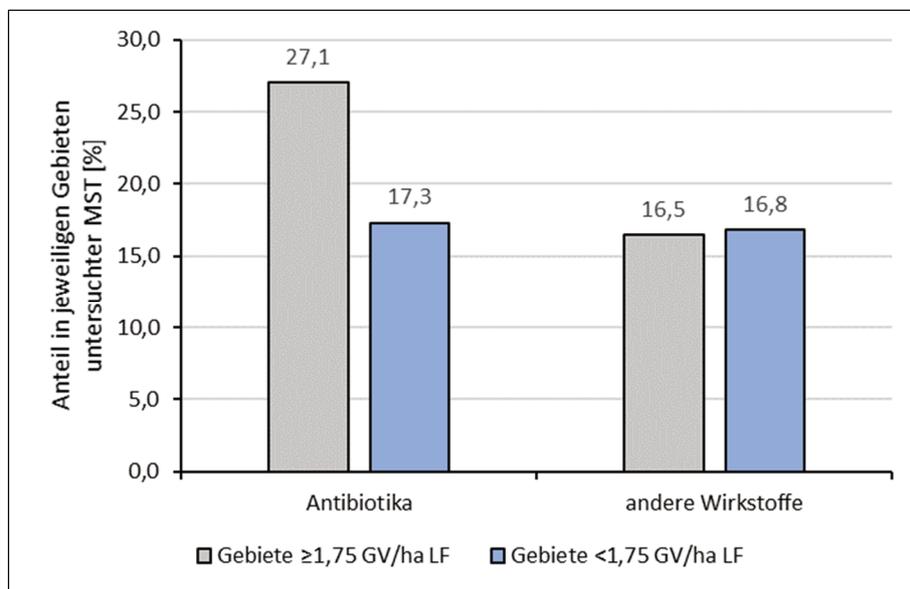


Abb. 22: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Antibiotikarückständen und Rückständen nicht antibiotisch wirkenden Stoffen in viehstarken ($\geq 1,75$ GV/ha LF) und viehschwachen ($< 1,75$ GV/ha LF) Gebieten.

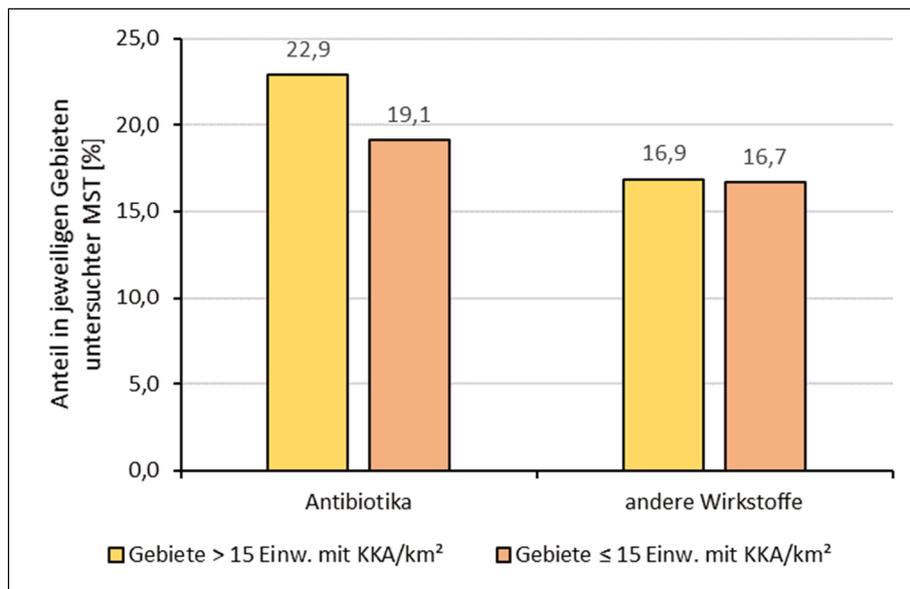


Abb. 23: Gegenüberstellung der Anteile untersuchter Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Antibiotikarückständen und Rückständen nicht antibiotisch wirkenden Stoffen in Gebieten mit bis zu und über 15 Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (KKA) pro km².

Deutliche Unterschiede liegen zwischen den Anteilen von Messstellen mit positiven Befunden von Antibiotikarückständen in den jeweilig betrachteten Gebieten vor. Die größte Differenz ist hierbei zwischen den Gebieten mit hohem ($\geq 1,75$ GV/ha LF) und mit entsprechend niedrigem Viehbesatz ($< 1,75$ GV/ha LF) festzustellen (Abb. 22). In den viehstärkeren Regionen liegt der Anteil bei 27,1 %. Damit wurden an jedem vierten untersuchten Standort in diesen Gebieten Antibiotikarückstände nachgewiesen. In den vergleichsweise viehschwächeren Regionen ist der Anteil der Messstellen mit positiven Befunden mit 17,3 % um fast 10 % niedriger.

In den Gebieten mit bis zu 15 Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen pro km² liegt der Anteil bei 19,1 %, der in diesen Gebieten untersuchten Messstellen (Abb. 23). In den Regionen mit mehr als 15 Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen pro km² erreicht der Anteil 22,9 %.

Die Anteile der Messstellen mit Rückständen von nicht antibiotisch wirkenden Substanzen bewegen sich auf vergleichbarem Niveau (Abb. 22

und 23). Die Unterschiede zwischen den Gebieten mit hoher und entsprechend geringer Viehbesatzdichte (16,5 und 16,8 %) sowie mit vergleichsweise hoher und geringer Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (16,9 und 16,7 %) sind gering.

Damit deutet sich eine höhere Wahrscheinlichkeit an, in den westlichen Gebieten Niedersachsens Antibiotikarückstände im Grundwasser nachweisen zu können. Dies betrifft dort vorwiegend die Bereiche mit vergleichsweise hohem Viehbesatz und mit höherer Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen.

Bei der Interpretation der Auswertungen ist unbedingt darauf zu achten, dass die hier dargestellten Ergebnisse aus einem Messnetz stammen, dessen Messstellen nach einem „worst case“-Szenario (geringer Flurabstand, möglichst durchlässige Böden etc.) ausgesucht wurden (siehe Kap. 4.1). Damit werden nicht alle vorkommenden naturräumlichen und hydrogeologischen Verhältnisse des Landes wiederspiegelt.

6.3 Tiefenverteilung der positiven Befunde

Von den 90 Grundwassermessstellen, an denen Rückstände von Arzneimitteln nachgewiesen wurden, liegt bei 57 die Oberkante der Verfilterung weniger als 10 m unterhalb der Geländeoberkante (GOK). Dies entspricht einem Anteil von ca. 63 % (Abb. 24). An 29 Messstellen (ca. 32 %) beginnt die Verfilterung in einer Tiefe zwischen 10 und 20 m unter der GOK. Bei zwei Messstellen (ca. 2 %) liegt die Tiefe zwischen 20 und 30 m unter der GOK und lediglich eine Messstelle (ca. 1 %) ist tiefer als 30 m unterhalb der GOK verfiltert. Für eine Messstelle mit positiven Befunden liegen keine genauen Daten zur Einbautiefe des Filters vor. Die Entnahmetiefe für Grundwasserproben liegt an diesem Standort in der Regel zwischen vier und fünf Metern unter der GOK. Etwa 95 % der Grundwassermessstellen mit positiven Befunden sind ab weniger als 20 m unterhalb der GOK verfiltert. Wie zu erwarten ist das

Gefährdungspotential demnach im oberflächennahen Grundwasser bei geringen Flurabständen hoch. Auch die Ergebnisse der Schwerpunktuntersuchungen in den viehstarken Gebieten des NLWKN zwischen 2016 und 2017 bestätigen diese Erwartungen. Hier sind 27 der 32 (84 %) Grundwassermessstellen, an denen Arzneimittelrückstände gefunden wurden, flacher als zehn Meter unter der GOK verfiltert und es wurden keine Wirkstoffrückstände unterhalb von 20 m Tiefe gefunden (NLWKN 2018).

Bei dieser Bewertung ist erneut die besondere Auswahl der Messstellen nach dem „worst case“-Szenario zu berücksichtigen. Die ungleiche Verteilung der Messstellen mit einer Filtertiefe von über 20 m unter GOK (ausgehend von der Filteroberkante) kann unter Umständen Auswirkungen auf die regionale Verteilung der Rückstandsnachweise haben.

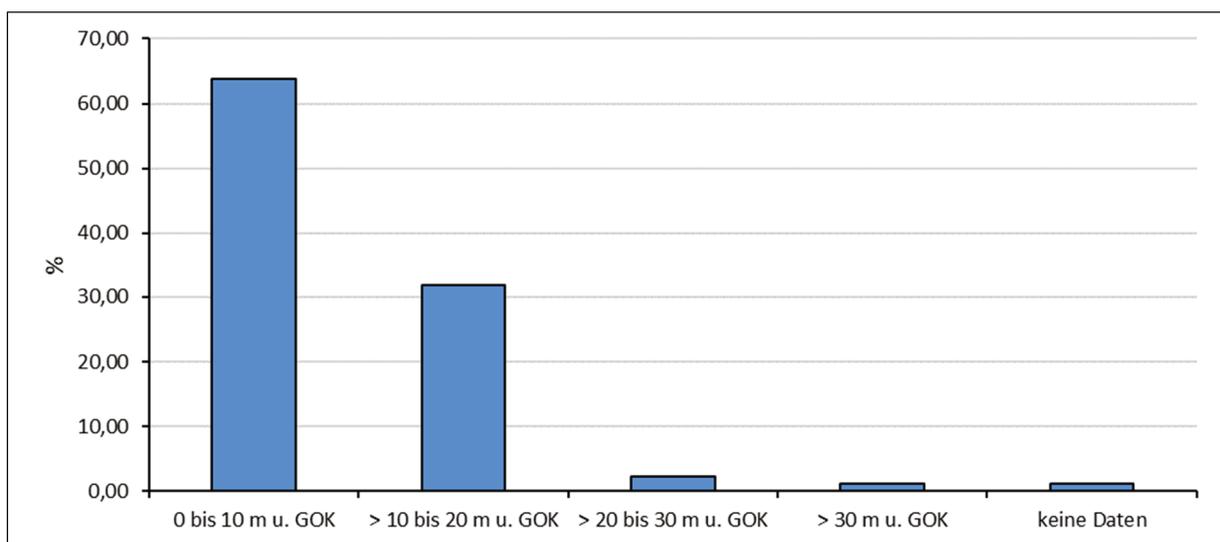


Abb. 24: Anteile der Grundwassermessstellen mit Arzneimittelrückständen geordnet nach Filtertiefenbereichen (Filteroberkante). GOK – Geländeoberkante.

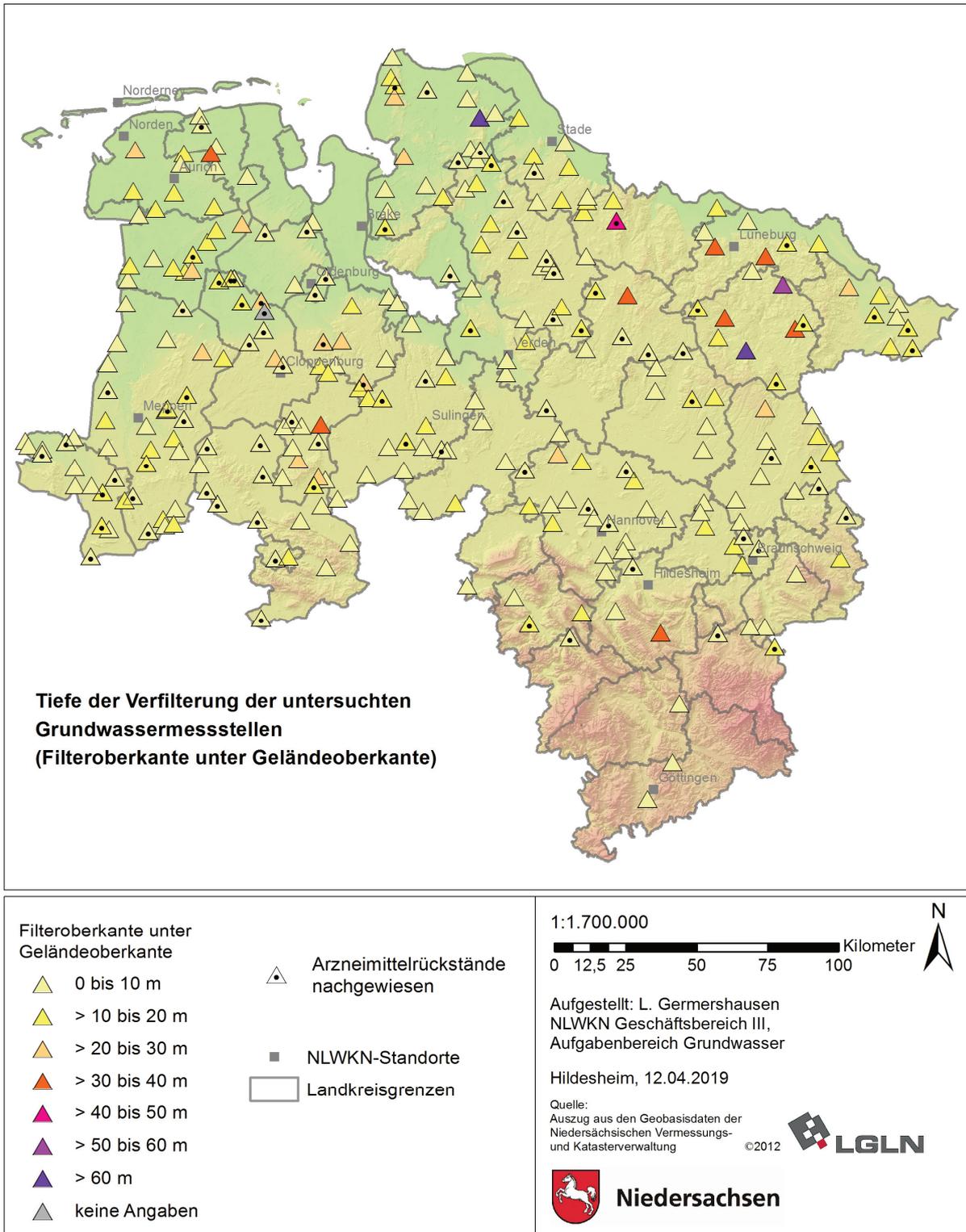


Abb. 25: Verfiltrungstiefe der untersuchten Grundwassermessstellen (Tiefe der Filteroberkante unterhalb der Geländeoberkante).

An zwölf der insgesamt untersuchten Messstellen beginnt die Verfiltrung in über 30 m unterhalb der GOK (Abb. 25). Acht von ihnen liegen im nordöstlichen Niedersachsen (Landkreise Harburg, Lüneburg, Heidekreis und Uelzen). Die

weiteren vier Messstellen verteilen sich auf die Landkreise Wittmund, Cuxhaven, Vechta und Hildesheim. Die Messstelle Wenzendorf G1 im Landkreis Harburg ist die einzige dieser Tiefenklasse, an der Rückstände eines Wirkstoffes

(Erythromycin) im Grundwasser nachgewiesen wurden. Die Oberkannte des Filters dieser Messstelle liegt ca. 43 m unter der GOK. In der Tiefenklasse von 20 bis 30 m unter der GOK wurden an den Standorten Großenkneten I (Landkreis Oldenburg) und Edewechterdamm I (Landkreis Cloppenburg) jeweils Rückstände von Amidotrizoesäure gefunden. Es ist davon auszugehen, dass Belastungen früher an den flacher verfilterten Messstellen erfasst werden können als an den tieferen Messstellen

6.4 Einfluss durch Böden und Untergrund

Für das landesweite Screening waren Messstellen im Bereich möglichst gut durchlässiger Böden auszuwählen (siehe Kap. 4.1). Die Untersuchungen konzentrierten sich daher auf Porengrundwasserleiter. Messstellen mit Verfilterung im Festgestein wurden nur vereinzelt berücksichtigt.

Am Großteil der untersuchten Standorte liegen podsolierte Böden vor. Dies deutet bereits auf meist sandigen Untergrund in der Umgebung der Standorte hin (Blume et al. 2010). Podsole, Gley- und Pseudogley-Podsole sowie Podsol- oder Pseudogley-Braunerden sind im Umfeld von über 50 % der untersuchten Messstellen vorherrschend.

Die Ergebnisse der Schwerpunktuntersuchung des NLWKN in den viehstarken Gebieten zwischen 2016 und 2017 lassen zum Vergleich andeutungsweise eine Häufung von positiven Befunden in Verbreitungsgebieten von Talsanden erkennen, die meist durch das Vorkommen von Gley-Podsolen geprägt sind (NLWKN 2018).

Die Auswertungen von vorliegenden Schichtenverzeichnissen und Bohrprofilen zum Untergrund im Bereich der 90 Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Arzneimitteln im landesweiten Screening haben ergeben, dass über 95 % der Messstellen im Bereich sandiger oder kiesiger Schichten verfiltert sind. Ca. 20 % der Messstellen mit positiven Befunden weisen Deckschichten auf. Diese sind meist zwischen ein und fünf Meter mächtig, können bei tief verfilterten Messstellen aber auch eine Mächtigkeit von zusammengekommen ca. zehn bis 15 Metern aufweisen. Der Einfluss dieser Schichten ist anhand

(LAWA 2018). Konkrete Aussagen zu einzelnen Messstellen lassen sich hierzu allerdings nur mit weiteren Informationen zu den einzelnen Standorten und den untersuchten Substanzen (u. a. vorherrschende Bodentypen, Art des Grundwasserleiters, Niederschlags-/Verdunstungsdaten, Art der Landnutzung, Umweltverhalten/Mobilität der untersuchten Stoffe) erreichen. Für viele der untersuchten Substanzen liegen hierzu noch keine hinreichenden Erkenntnisse vor (siehe Kap. 3.3).

der vorliegenden Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile allerdings nicht endgültig zu bewerten. Aufgrund der sandigen Hauptkornanteile der Grundwasserleiter im Bereich der Filterlagen (meist Fein- und Mittelsande), ist, gegenüber Substraten mit überwiegendem Schluff- oder Tonanteil, ein verhältnismäßig geringes Sorptionspotential für die Arzneimittelrückstände an der Festsubstanz des Untergrundes zu erwarten (Blume et al. 2010). Hieraus ergibt sich eine potentiell erhöhte Mobilität der Wirkstoffrückstände (siehe Kap. 3.3).

Aus den Vorgaben zur Auswahl der zu untersuchenden Messstellen (siehe Kap. 4.1) resultierte, dass in den südlichsten Regionen Niedersachsens (vorwiegend Festgesteinsgebiete) nur wenige Standorte beprobt wurden. Für die Messstellen, die durch Kluftgrundwasserleiter gespeist werden, kann daher bislang keine allgemeingültige Aussage getroffen werden.

Konkrete Bewertungen zu den Ursachen für die Nachweise der Arzneimittelrückstände an den einzelnen Messstellen waren nicht Gegenstand des landesweiten Screenings.

Detailliertere Auswertungen, wie z. B. zu den potentiellen Einflüssen weiterer naturräumlicher Gegebenheiten oder der Landnutzung, bedürfen näherer Kenntnisse zu den Einzugsgebieten der untersuchten Messstellen, wie beispielsweise in den Untersuchungen zur Ermittlung der Ursachen des Eintrags von TAM ins Grundwasser (NLWKN 2017) (siehe Kap. 2).

6.5 Vergleich mit Ergebnissen aus der Schwerpunktuntersuchung des NLWKN in viehstarken Gebieten

Die Schwerpunktuntersuchung in Gebieten mit einer Viehbesatzdichte von 1,75 GV/ha LF oder mehr (NLWKN 2018) wurde zwischen 2016 und 2017 im Anschluss an die Projekte des UBA (UBA 2016) und NLWKN (NLWKN 2017) zur Ermittlung der Ursachen für die Funde von Tierarzneimitteln im Grundwasser durchgeführt (siehe Kap. 2). Ziel der Untersuchung war es, einen detaillierteren Überblick über die Verbreitung von Antibiotika speziell in den viehstarken Regionen durch Hinzunahme weiterer geeigneter landeseigener Grundwassermessstellen zu bekommen. In den Gebieten mit $\geq 1,75$ GV/ha LF (nach LSKN 2011) wurden die Messstellen nach dem „worst case“-Ansatz (u. a. geringer Flurabstand und möglichst durchlässige Böden) ausgewählt, der auch schon für die vorangegangenen Projekte des UBA und NLWKN zur Ursachenermittlung (siehe Kap. 2) herangezogen wurde (NLWKN 2018).

Insgesamt wurden in den viehstarken Gebieten die Untersuchungsergebnisse von 159 Grundwassermessstellen ausgewertet. Das Programm umfasste landeseigene Messstellen der GÜN-Güte- und der GÜN-Standsmessprogramme des NLWKN (NLWKN 2014), einschließlich 65 GÜN-Güte Messstellen, die in 2015 und 2016 Teil des landesweiten Screenings waren (NLWKN 2018). Im Rahmen der Schwerpunktuntersuchung wurden die Probenahme und die Analytik von der Gesellschaft für Wasser- und Abwasserservice mbH, Niederlassung Institut für Wasser- und Umweltanalytik (IWU, GWA Umweltanalytik) durchgeführt. Die Probenahme erfolgte im Herbst 2016 und Frühjahr 2017 sowie an ausgewählten Messstellen nochmals im Herbst 2017.

Für das landesweite Screening erfolgten Probenahme und Analytik durch den NLWKN (siehe Kap. 4.2).

Untersucht wurde sowohl im Schwerpunktvorhaben als auch im landesweiten Screening auf dieselben 13 Sulfonamid-Wirkstoffe und Transformationsprodukte sowie das Kombipräparat Trimethoprim und das Humanarzneimittel Carbamazepin als Abwasserindikator. Die Stoffauswahl erfolgte in beiden Untersuchungen in Anlehnung an das UBA-Projekt (UBA 2016) zur „Aufklärung der Ursachen von Tierarzneimittelfunden im Grundwasser“ (siehe Kap. 2 und 4.3).

Die Abwasserindikatoren Acesulfam-K und Bor wurden ausschließlich im Rahmen des Schwerpunktvorhabens untersucht und bleiben daher bei dem Vergleich der Untersuchungsergebnisse unberücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Schwerpunktuntersuchung 2016/2017 (NLWKN 2018) mit den Ergebnissen des landesweiten Screenings aus dem Zeitraum 2015-2018 verglichen. Zu berücksichtigen sind die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen die je nach analysierendem Labor (NLWKN oder GWA Umweltanalytik) variieren (siehe Tab. A3 im Anhang). Im Rahmen der Schwerpunktuntersuchung wurde neben den Bestimmungsgrenzen der analysierten Parameter auch die Nachweisgrenzen verwendet. Aufgrund der niedrigen Bestimmungsgrenzen im NLWKN-Labor, die im Bereich der Nachweisgrenzen der GWA Umweltanalytik liegen (NLWKN 2018), wurden für die Analysen im landesweiten Screening keine Nachweisgrenze benannt. Allein beim Parameter Carbamazepin überschreitet die Bestimmungsgrenze des NLWKN-Labors die jeweils sehr niedrige Nachweis- und Bestimmungsgrenze der GWA Umweltanalytik (siehe Tab. A3 im Anhang).

An 32 der in der Schwerpunktuntersuchung ausgewerteten Grundwassermessstellen wurden einzelne oder auch mehrere Rückstände von Wirkstoffen bzw. Transformationsprodukte nachgewiesen. Dies entspricht einem Anteil von 20 % der Messstellen (NLWKN 2018). Beim landesweiten Screening wurde in den Gebieten mit $\geq 1,75$ GV/ha LF an 23 von 85 untersuchten Messstellen Rückstände von Sulfonamiden nachgewiesen. Mit 27 % liegt der Anteil hier höher als bei der Schwerpunktuntersuchung aber noch auf einem vergleichbaren Niveau. In den viehschwachen Regionen Niedersachsens ($< 1,75$ GV/ha LF) wurden im Rahmen der landesweiten Untersuchung an 13 % der Messstellen Sulfonamidrückstände gefunden.

Bei der Schwerpunktuntersuchung wurden die sechs Wirkstoffe Sulfadiazin, Sulfadimidin, Sulfamethoxazol, Sulfachloropyridazin, Sulfadimethoxin und Sulfamethoxyypyridazin sowie die Transformationsprodukte 4-OH-Sulfadiazin und N-Ac-Sulfamethoxazol (NLWKN 2018) nachgewiesen.

Sulfachloropyridazin und Sulfadimethoxin wurden ausschließlich bei den Untersuchungen des Schwerpunktvorhabens in viehstarken Gebieten nachgewiesen. Rückstände von Sulfadimethoxin wurden in jeweils einer Probe an den Messstellen Bremervörde UE 147 FI (Landkreis Rotenburg (Wümme)) und Oeveringen I (Grafschaft Bentheim) über der vom untersuchenden Labor (GWA Umweltanalytik) angegebenen Nachweisgrenze von 2 ng/l, aber noch unterhalb der Bestimmungsgrenze von 6 ng/l, gemessen. Sulfachloropyridazin wurde ausschließlich an der Messstelle Calveslage I (Landkreis Vechta) nachgewiesen (NLWKN 2018). Der Fund über 100 ng/l im 1. Halbjahr 2017 bestätigte sich in der Folgeuntersuchung im 2. Halbjahr. Die drei genannten Standorte waren nicht Teil des landesweiten Screenings.

Im Rahmen des landesweiten Screenings wurde N-Ac-Sulfadiazin (ein Transformationsprodukt von Sulfadiazin) im Jahr 2016 an zwei Messstellen nachgewiesen. An der Messstelle Klostermoor Brunselmeer im Landkreis Leer und der Messstelle LGD 014 N 13 Sothel im Landkreis Rotenburg (Wümme). Im Schwerpunktvorhaben konnte dieses Transformationsprodukt nicht detektiert werden. Die Messstelle LGD 014 N 13 Sothel (Landkreis Rotenburg (Wümme)) liegt im viehschwachen Gebiet (< 1,75 GV/ha LF). Der Standort Klostermoor

Brunselmeer (Landkreis Leer) befindet sich in der Gemeinde Rhauferhn, die mit 1,82 GV/ha LF (LSN 2018) als viehstarkes Gebiet eingestuft wird. Im Rahmen des Schwerpunktvorhabens war die Gemeinde und daher auch die Messstelle unberücksichtigt geblieben, da die zu diesem Zeitpunkt gültige Agrarstrukturerhebung 2010 (LSKN 2011) für diese Gemeinde einen Viehbesatz von 1,58 GV/ha aufwies und das Gebiet zum Zeitpunkt der Berichterstellung als nicht viehstark eingestuft wurde.

Im Rahmen der regionalen Schwerpunktuntersuchung wurde an 25 Messstellen, von denen 14 auch im landesweiten Screening ausgewertet wurden, in viehstarken Gebieten Sulfadimidin nachgewiesen (Tab. 5). Dies sind 16 % der untersuchten Messstellen und 78 % der Messstellen, an denen Wirkstoffrückstände nachgewiesen wurden (NLWKN 2018). Beim landesweiten Screening wurden in den viehstarken Gebieten an 18 Grundwassermessstellen Rückstände von Sulfadimidin nachgewiesen. Das entspricht 21 % der in diesen Regionen insgesamt untersuchten Standorte und, wie auch in der Schwerpunktuntersuchung, 78 % der Messstellen, an denen in den viehstarken Gebieten Sulfonamidrückstände gefunden wurden. In den viehschwachen Gebieten wurde an 10 % der insgesamt untersuchten Messstellen Sulfadimidin im Grundwasser nachgewiesen.

Tab. 5: Gegenüberstellung der positiven Befunde aus der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten (NLWKN 2018) und dem landesweiten Screening, bezogen auf die Antibiotika-Wirkstoffgruppe der Sulfonamide.

	Schwerpunktuntersuchung - Antibiotika im Grundwasser viehstarker Regionen ¹ in Niedersachsen (Daten von 2015-2017)		Landesweites Screening 2015-2018			
	Gebiete mit $\geq 1,75$ GV/ha LF (nach LSKN 2011)		Gebiete mit $\geq 1,75$ GV/ha LF (nach LSN 2018)		Gebiete mit $< 1,75$ GV/ha LF (nach LSN 2018)	
	Anzahl Messstellen	Anteil Messstellen in %	Anzahl Messstellen	Anteil Messstellen in %	Anzahl Messstellen	Anteil Messstellen in %
Untersuchte Messstellen insgesamt	159	100	85	100	202	100
Messstellen mit Nachweisen von:						
Sulfadimidin	25	16	18	21	20	10
Sulfadiazin + Abbauprodukte	12	8	11	13	5	2
Sulfamethoxazol + Abbauprodukte	6	4	3	4	3	1
Sulfadimethoxin	2	1	0	0	0	0
Sulfamethoxyipyridazin	2	1	3	4	4	2
Sulfachloropyridazin	1	1	0	0	0	0

¹ In der Schwerpunktuntersuchung wurden nur Gebiete mit $\geq 1,75$ GV/ha LF untersucht. Es wurden auch Ergebnisse von 65 Messstellen des landesweiten Screenings der Jahre 2015 und 2016 ausgewertet.

An 12 Messstellen (8 % der untersuchten Standorte) wurden bei der Schwerpunktuntersuchung Sulfadiazin und seine Transformationsprodukte nachgewiesen (NLWKN 2018). Wie bereits bei Sulfadimidin liegen auch die Anteile der Messstellen mit Funden von Sulfadiazin inkl. seiner Transformationsprodukte im landesweiten Screening (viehstarke Gebiete) mit 13 % etwas höher als in der Schwerpunktuntersuchung aber auf vergleichbarem Niveau. Die Größenordnung der Anteile von Messstellen mit positiven Befunden ist auch bei Betrachtung weiterer nachgewiesener Sulfonamidrückstände vergleichbar (siehe Tab. 5).

Auch bei ausschließlicher Betrachtung der verdichtenden Messstellen des Schwerpunktvorhabens (ohne Messstellen des landesweiten Screenings) unterscheiden sich die Anteile von Messstellen mit positiven Befunden kaum von den in Tabelle 5 dargestellten. Lediglich der Anteil der Messstellen mit Nachweisen von Sulfadimidin verringert sich auf 11 % und verändert sich damit

deutlich. Dies könnte aber möglicherweise auch im Zusammenhang mit der deutlich niedrigeren Bestimmungsgrenze für Sulfadimidin (siehe Tab. A3 im Anhang) im landesweiten Screening stehen. Für alle weiteren aufgeführten Stoffe ändern sich die Anteile lediglich um maximal 1 %.

Die Konzentrationen der nachgewiesenen Substanzen liegen bei Gegenüberstellung der Ergebnisse der Schwerpunktuntersuchung und des landesweiten Screenings auf vergleichbarem Niveau. Besonders deutlich ist dies in Abbildung 26 anhand der Untersuchungsergebnisse von Sulfadimidin und 4-OH-Sulfadiazin zu erkennen. Erst ab der jeweilige Bestimmungsgrenze können die Konzentrationen untersuchter Stoffe auch quantitativ bestimmt werden (DIN 32645, Kölle 2017). Entsprechend werden in den Abbildungen 26 und 27 ausschließlich die Proben mit positiven Befunden über den jeweiligen Bestimmungsgrenzen der aufgeführten Substanzen dargestellt.

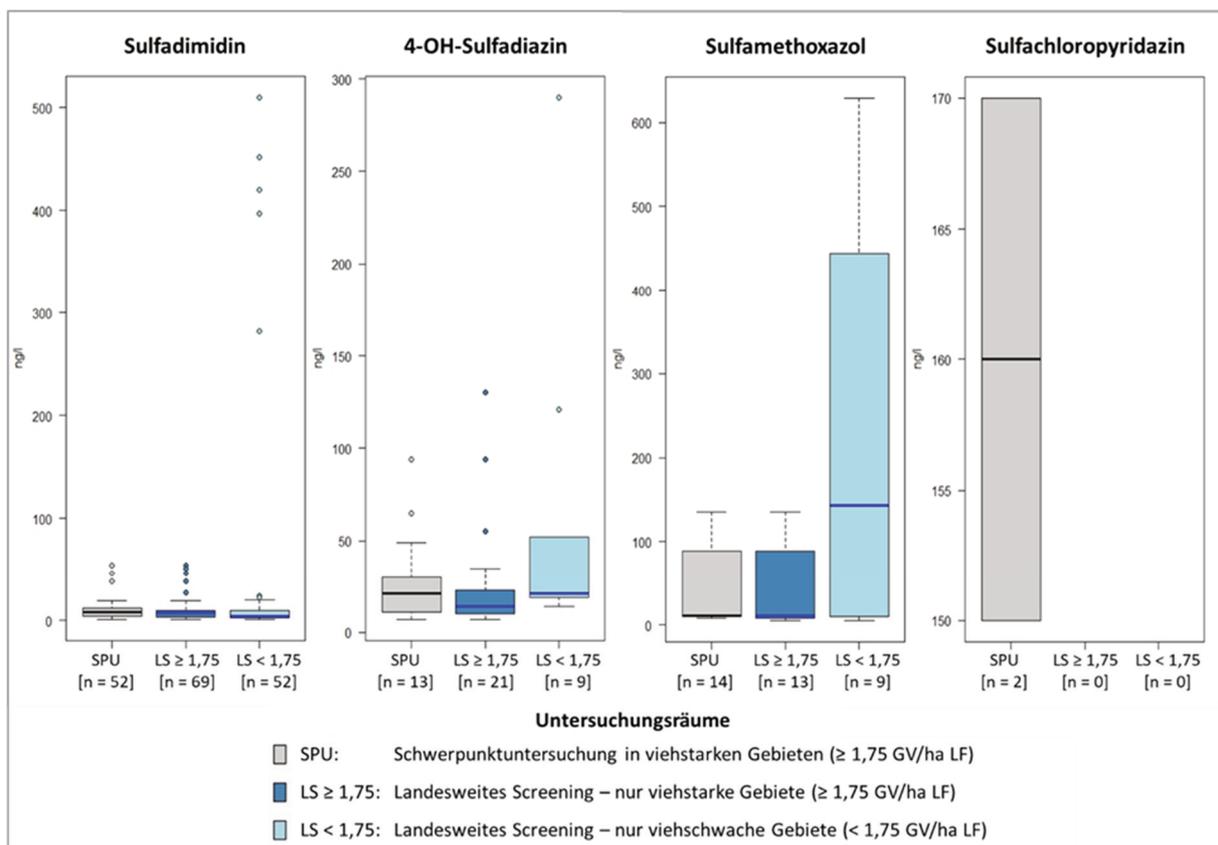


Abb. 26: Vergleich der Analyseergebnisse der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten (NLWKN 2018) und des landesweiten Screenings. Dargestellt sind alle Proben mit positiven Befunden > Bestimmungsgrenze [n = Probenanzahl] der Wirkstoffe oder Wirkstoffmetaboliten mit Maximum-Konzentrationen über 100 ng/l. Zu beachten sind die unterschiedlichen Größenordnungen der Ordinatenachsen.

Bis auf vereinzelte Ausreißer liegen die Sulfamidin-Konzentrationen in der Schwerpunktuntersuchung sowie im landesweiten Screening im niedrigen Nanogramm-Bereich unter 20 ng/l. Die fünf extrem hohen Messwerte (zwischen 282 und 510 ng/l) der Messstelle GD 35 N Trauen im Heidekreis (siehe Kap. 5.1 und 5.2) stehen besonders hervor und deuten auf einen Ausnahmefall hin.

Bis auf abweichende Einzelwerte weisen auch die Funde des Transformationsproduktes 4-OH-Sulfadiazin bei der Schwerpunktuntersuchung und dem landesweiten Screening vergleichbare Konzentrationen auf. Die höchsten Konzentrationen in den viehstarken Gebieten ($\geq 1,75$ GV/ha LF) wurden am Standort Bethen 2/6 I (Landkreis Cloppenburg) gemessen. Die Messstelle ist Teil des landesweiten Screenings und wurde auch im Rahmen des Schwerpunktvorhabens ausgewertet. In den viehschwachen Gebieten (landesweites Screening) sind zwei Messwerte (290 ng/l und 121 ng/l

4-OH-Sulfadiazin) der Messstelle GD 35 N Trauen (Heidekreis) besonders auffällig.

Die Spannweite der gemessenen Sulfamethoxazol-Konzentrationen innerhalb der Schwerpunktuntersuchung und des landesweiten Screenings (nur viehstarke Gebiete) sind vergleichbar. Die Ergebnisse der landesweiten Untersuchung in den viehschwachen Regionen weisen eine größere Spannweite auf. Dies ist vorwiegend auf die hohen Konzentrationen, die zwischen 2015 und 2017 an der Messstelle Neubruchhausen I (Landkreis Sulingen) gemessen wurden, zurückzuführen. Die Gehalte reichen an diesem Standort bis zu einem Maximalwert von 629 ng/l. Beim Vergleich der Messergebnisse zwischen den beiden Untersuchungen ist auch die jeweilige Anzahl der Proben mit positiven Befunden zu beachten, die in den Abbildungen 26 und 27 angegeben sind (siehe eckige Klammern, n = Probenanzahl).

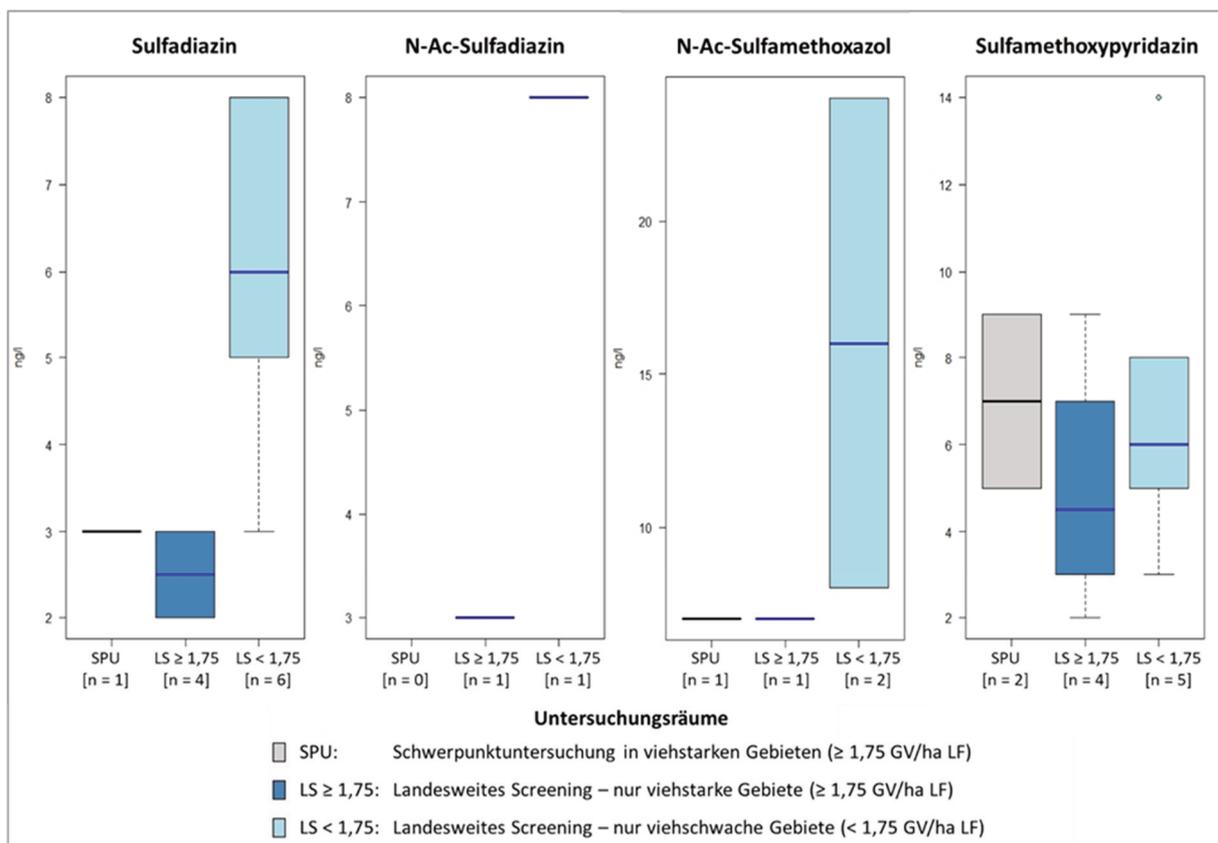


Abb. 27: Vergleich der Analyseergebnisse der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten (NLWKN 2018) und des landesweiten Screenings. Dargestellt sind alle Proben mit positiven Befunden > Bestimmungsgrenze [n = Probenanzahl] der Wirkstoffe oder Wirkstoffmetaboliten mit Maximum-Konzentrationen unter 100 ng/l. Zu beachten sind die unterschiedlichen Größenordnungen der Ordinatenachsen.

Der Wirkstoff Sulfachloropyridazin wurde nur im Rahmen der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten nachgewiesen. In den zwei Proben mit positiven Befunden aus dem Jahr 2017 lagen die Konzentrationen am Standort Calveslage I (Landkreis Vechta) mit 170 ng/l und 150 ng/l jeweils über dem vom UBA vorgeschlagenen Grenzwert von 100 ng/l (NLWKN 2018). Sowohl im Schwerpunktvorhaben als auch im landesweiten Screening lagen die Konzentrationen von Sulfadiazin, N-Ac-Sulfadiazin, N-Ac-Sulfamethoxazol und Sulfamethoxy-pyridazin, deutlich unterhalb von 100 ng/l (Abb. 27). Auffällig sind in beiden Untersuchungsvorhaben die meist geringeren Fundhäufigkeiten dieser Stoffe im Vergleich zur Gruppe der Sulfonamidrückstände, die Maximalkonzentrationen von über 100 ng/l in den Messstellen erreichen (siehe Abb. 26). Der Wirkstoff Sulfadimethoxin wurde nur im Rahmen der Schwerpunktuntersuchung (s. o.) und ausschließlich in Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze von 6 ng/l nachgewiesen. Da in Abbildung 27 nur Konzentrationen oberhalb der entsprechenden Bestimmungsgrenzen abgebildet werden, ist Sulfadimethoxin nicht dargestellt.

Für die Wirkstoffe Sulfadimidin, Sulfamethoxazol und Sulfadiazin (inkl. Transformationsprodukten), die jeweils mehrfach nachgewiesen wurden, bestätigen sich die Erkenntnisse aus den beiden Untersuchungen.

Sulfadimidin ist der Wirkstoff, der am häufigsten nachgewiesen werden konnte. Die Konzentrationen liegen, bis auf wenige Ausnahmen, deutlich unterhalb des diskutierten Grenzwertes von 100 ng/l.

Die Fundhäufigkeit von Sulfamethoxazol war deutlich geringer, allerdings traten in der vergleichsweise geringen Zahl an Messstellen häufiger hohe Konzentrationen über 100 ng/l auf.

Der Wirkstoff Sulfadiazin wurde an weniger Messstellen nachgewiesen als seine Transformationsprodukte. Im Rahmen der Schwerpunktuntersuchung wurde dieser Wirkstoff nur an der Messstelle Bethen 2/6 I (Landkreis Cloppenburg) gefunden, die auch Bestandteil des landesweiten Screenings war (NLWKN 2018). In der landesweiten Untersuchung wurde Sulfadiazin an insgesamt vier Standorten nachgewiesen. Zwei Messstellen in viehstarken und zwei Messstellen in viehschwachen Gebieten. Das Transformationsprodukt 4-OH-Sulfadiazin wurde in der

Schwerpunktuntersuchung an insgesamt zwölf Standorten nachgewiesen. An drei Messstellen wurde dabei ausschließlich die Nachweisgrenze überschritten. Von den zwölf Messstellen waren fünf Teil der landesweiten Untersuchung.

Im Rahmen des landesweiten Screenings wiesen insgesamt 13 Standorte Funde von 4-OH-Sulfadiazin auf. Davon liegen drei Messstellen in viehschwachen Regionen. N-Ac-Sulfadiazin wurde in der landesweiten Untersuchung an zwei Messstellen nachgewiesen. Jeweils eine Messstelle davon liegt in einem viehstarken und in einem viehschwachen Gebiet.

Anhand der Untersuchungsergebnisse des Schwerpunktvorhabens, als auch des landesweiten Screenings, ist erkennbar, dass die Wahrscheinlichkeit von Antibiotikafunden im Grundwasser viehstarker Regionen höher ist, als in vergleichsweise viehschwachen Gebieten. Eine eindeutige Beziehung der gemessenen Konzentrationen und der Belastungsschwerpunkte zur Höhe des Viehbesatzes konnte aber weder in der Schwerpunktuntersuchung (NLWKN 2018) noch im landesweiten Screening festgestellt werden.

Neben den Antibiotika wurde das Grundwasser in der Schwerpunktuntersuchung und im landesweiten Screening auf Carbamazepin, ein Antiepileptikum aus der Humanmedizin, untersucht. In der Schwerpunktuntersuchung diente dieser Wirkstoff, neben Acesulfam-K und Bor, als Abwasserindikator (NLWKN 2018). Beim landesweiten Screening wurde im gesamten Untersuchungszeitraum ab 2015 auf Carbamazepin im Grundwasser untersucht (siehe Kap. 4.3). Acesulfam-K und Bor wurden in der landesweiten Untersuchung nicht analysiert und ausgewertet. Im Rahmen des landesweiten Screenings wurden an acht Grundwassermessstellen Rückstände von Carbamazepin nachgewiesen. Die Messstellen Bethen 2/6 I (Landkreis Cloppenburg) und Bexten (Landkreis Emsland) liegen in viehstarken Gebieten ($\geq 1,75$ GV/ha LF). Der Standort Bethen 2/6 I wurde auch im Schwerpunktvorhaben in die Auswertung einbezogen. An diesem Standort wurden neben Carbamazepin auch verschiedene Sulfonamide und Transformationsprodukte (Sulfadiazin, 4-OH-Sulfadiazin, Sulfamethoxazol und Sulfadimidin) nachgewiesen. Die übrigen sechs Messstellen des landesweiten Screenings, die Carbamazepin-Funde

aufwiesen, liegen in eher viehschwachen Gebieten.

Neben Bethen 2/6 I wurde an fünf weiteren Standorten der Schwerpunktuntersuchung Carbamazepin im Grundwasser nachgewiesen. Hier ist die jeweils niedrigere Nachweis- und Bestimmungsgrenze im Vergleich zum landesweiten Screening zu beachten (siehe Tab. A3 im Anhang). An vier Messstellen konnten Sulfona-

mide bzw. deren Transformationsprodukte, teilweise in Kombinationen, detektiert werden. Dabei handelte es sich um 4-OH-Sulfadiazin, Sulfamethoxazol, Sulfadimidin und Sulfadimethoxin (NLWKN 2018). An einem Standort wurde Carbamazepin einmalig im Untersuchungszeitraum oberhalb der Nachweisgrenze nachgewiesen, wobei keine Antibiotika gefunden werden konnten.

Kapitel 6 in Kürze...

- Anzahl von Messstellen mit Nachweisen von untersuchten Stoffen, die ...
 - ... ausschließlich als HAM zugelassen sind: 48
 - ... ausschließlich als TAM zugelassen sind: 40
 - ... als TAM und als HAM zugelassen sind: 29
- 95 % aller Messstellen mit positiven Befunden sind bis max. 20 m unter der Geländeoberkante verfiltert.
- Die prozentualen Anteile der Messstellen mit Funden von TAM sowie Stoffen, die als HAM und als TAM zugelassen sind, waren in viehstarken Regionen ($\geq 1,75$ GV/ha LF) und Gebieten mit hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (> 15 Einw. mit KKA/km²) größer als in Gebieten mit jeweils geringerer Dichte.
- Die Anteile der Messstellen mit Funden von HAM sind im Vergleich der viehstarken ($\geq 1,75$ GV/ha LF) mit den viehschwächeren Regionen ($< 1,75$ GV/ha LF) nahezu identisch.
- Im Vergleich der Gebiete mit hoher Dichte (> 15 Einw. mit KKA/km²) und geringerer Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (≤ 15 Einw. mit KKA/km²) sind die prozentualen Anteile der Messstellen mit Nachweisen von HAM nahezu gleich groß.
- An 58 Messstellen wurden Antibiotikarückstände nachgewiesen.
- In viehstarken Gebieten wurden an jeder vierten, in viehschwachen Gebieten an jeder sechsten Messstelle Antibiotikarückstände nachgewiesen.
- Die Schwerpunktuntersuchung in den viehstarken Regionen (NLWKN 2018) und das landesweite Screening weisen, bezogen auf die in beiden Projekten untersuchten Wirkstoffe (Sulfonamide), ähnliche Ergebnisse auf.

7 Fazit und Ausblick

Das Ziel des landesweiten Screenings war es, neben den regionalen Untersuchungen des NLWKN zwischen 2015 und 2016 (NLWKN 2018), einen ersten landesweiten Überblick über die Belastungssituation bezüglich Arzneimittelrückständen im Grundwasser Niedersachsens zu erlangen. In den ersten beiden Jahren lag der Fokus dabei auf Tierarzneimitteln, in den Folgejahren dann auch auf Wirkstoffen aus dem humanmedizinischen Bereich (siehe Kap. 4.3). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Messstellenauswahl nach einem „worst case“-Ansatz erfolgte. Daher können nicht alle naturräumlichen und hydrogeologischen Verhältnisse Niedersachsens wiederge spiegelt werden. Das Hauptaugenmerk lag auf Porengrundwasserleitern (siehe Kap. 4.1).

Von 37 untersuchten Wirkstoffen und Metaboliten wurden im Untersuchungszeitraum zwischen 2015 und 2018 insgesamt 22 im Grundwasser Niedersachsens nachgewiesen. Positive Befunde lagen an 90 der 287 untersuchten Grundwassermessstellen vor. Das entspricht einem Anteil von 31 % (siehe Kap. 5.1 und 5.2). Die beiden am häufigsten nachgewiesenen Stoffe sind Sulfadimidin (an 38 GWM), ein Antibiotikum aus dem veterinärmedizinischen Bereich, und Amidotrizoesäure (an 26 GWM), ein RKM aus der Humanmedizin. Es gibt demnach aus beiden Anwendungsbereichen Substanzen, die sich in ihrer Fundhäufigkeit (Anzahl der Messstellen mit positiven Befunden) von den übrigen untersuchten Stoffen abheben. Der Anteil der Grundwassermessstellen mit Nachweisen von Stoffen, die ausschließlich der Humanmedizin zuzuordnen sind, liegt mit ca. 16,7 % (48 GWM) der 287 untersuchten Standorte nur wenig höher, als der Anteil der Messstellen mit Nachweisen von Stoffen, die ausschließlich der Tiermedizin zuzuordnen sind, mit ca. 13,9 % (40 GWM) (siehe Kap. 6.1.1 und 6.1.2). Rückstände von Wirkstoffen, die aktuell in Human- und in der Tiermedizin zum Einsatz kommen, wurden an insgesamt 29 Grundwassermessstellen (ca. 10,1 %) nachgewiesen. Um die Rückstände an den jeweiligen Standorten einer bestimmten Quelle zuordnen zu können, müssten weitere Informationen vorliegen (z. B. An-

wendungsmuster der Wirkstoffe im Einzugsgebiet der Messstelle, etc.), die meist nur durch kleinräumigere Untersuchungen im Umfeld der entsprechenden Messstellen gewonnen werden können (siehe UBA 2016 und NLWKN 2017).

Während sich bei allgemeiner Betrachtung die Nachweise der analysierten Stoffe nahezu flächendeckend über die untersuchte Landesfläche verteilen, ergeben sich bei der Unterscheidung der Wirkstoffe in Anwendungsbereiche teilweise differenziertere Verteilungsmuster. Im Vergleich zwischen den Gebieten mit hohem ($\geq 1,75$ GV/ha LF) und niedrigem Viehbesatz ($< 1,75$ GV/ha LF) sowie zwischen den Gebieten mit hoher (> 15 Einw. mit KKA/km²) und geringerer Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen (≤ 15 Einw. mit KKA/km²) weisen die Fundhäufigkeiten von TAM und Stoffen, die aktuell parallel als TAM und HAM eingesetzt werden, deutliche Unterschiede auf. In den Gebieten mit hoher Viehbesatzdichte sowie mit hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen sind die Fundhäufigkeiten, bezogen auf die Anzahl der in diesem Gebiet untersuchten Messstellen, deutlich höher als in den jeweils anderen beiden Gebieten. Im Westen Niedersachsens (Weser-Ems-Gebiet) überschneiden sich die Gebiete mit hohem Viehbesatz und hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen in weiten Teilen. Die Fundhäufigkeiten sind hier im Vergleich zum übrigen Land am höchsten (siehe Kap. 6.1). Hinweise auf die Eintragspfade sind aufgrund der Ähnlichkeiten in den Verteilungen der Viehdichte und der Dichte an Einwohnern, die an Kleinkläranlagen angeschlossen sind, anhand dieses Vergleichs nicht gegeben. Eine Fundaufklärung war auch nicht Bestandteil dieser landesweiten Untersuchung. Die Fundhäufigkeiten der Wirkstoffe aus dem humanmedizinischen Bereich zeigen keine deutlichen regionalen Unterschiede. Die Viehbesatzdichte und die Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen scheinen keinen prägenden Einfluss auf das regionale Vorkommen von HAM-Rückständen im Grundwasser Niedersachsens zu haben. Für nähere Informationen zu potentiellen Eintragspfaden an den entsprechenden Messstellen

sind auch diesbezüglich zusätzliche Untersuchungen im Einzugsbereich der Standorte nötig.

Die Messstellen mit Nachweisen von Antibiotikarückständen sind in der Fläche weit verbreitet (siehe Kap. 5.3). Die Fundhäufigkeiten sind in den Gebieten mit hohem Viehbesatz und vergleichsweise hoher Dichte an Einwohnern mit Anschluss an Kleinkläranlagen allerdings deutlich höher, als in den anderen Regionen. Auch hier ist die Region Weser-Ems besonders hervorzuheben. Die Fundhäufigkeiten der Stoffe ohne antibiotische Wirkung liegen im Vergleich der betrachteten Gebiete jeweils auf vergleichbarem Niveau (siehe Kap. 6.2). Diese Erkenntnis ist besonders in Bezug auf die potentielle Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen von Bedeutung. Trotz des weiterhin bestehenden Forschungsbedarfs zur Entwicklung und Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen in Gewässern, ist in diesem Zusammenhang vorsorglich zu empfehlen, den Gebrauch von Reserveantibiotika ausschließlich auf den humanmedizinischen Bereich zu beschränken, um auch weiterhin einen wirkungsvollen Einsatz gewährleisten zu können (siehe Kap. 3.4).

Der Großteil der in den Analysen ermittelten Konzentrationen der Stoffe, die beim landesweiten Screening nachgewiesen wurden, liegt im ein- bis zweistelligen Nanogramm-Bereich. Die in der Regel therapeutisch verabreichten Dosen werden damit weit unterschritten, weshalb die Gehalte, nach aktuellem Wissensstand, kein direktes Risiko für den Menschen darstellen. Dennoch können u. U. Pflanzen und Mikroorganismen geschädigt werden. Für viele Wirkstoffe liegen bisher auch nur wenige Kenntnisse zur Umweltrelevanz vor (siehe Kap. 3.4).

Bemerkenswert ist, dass sich die Nachweise von einzelnen Wirkstoffen (z. B. Sulfadimidin, Sulfamethoxazol und Carbamazepin) an mehreren Grundwassermessstellen in den Untersuchungen der Folgejahre wiederholten (siehe Tab A2 im Anhang). Dies könnte vor allem für Langzeitwirkungen von Bedeutung sein, zu denen es für viele Wirkstoffe ebenfalls bisher nur wenige Erkenntnisse gibt (siehe Kap. 3.4).

Von sieben der untersuchten Wirkstoffe und Metaboliten wurde der vom UBA vorgeschlagenen Grenzwert von 100 ng/l überschritten. In jeweils

einer Probe lagen die Konzentrationen von Diclofenac (Analgetikum) und Carbamazepin (Antiepileptikum) über dem jeweiligen GOW (jeweils 300 ng/l). Insgesamt wurden an elf Messstellen Konzentrationen einzelner oder verschiedener Wirkstoffe über 100 ng/l gemessen (siehe 5.1 und 5.2).

Die nachgewiesenen Arzneimittelrückstände kommen nicht natürlicherweise im Grundwasser vor. Im Sinne des vorsorgenden Grundwasserschutzes bedürfen sie unbedingt weiterer Aufmerksamkeit. Bisher bestehen keine rechtlichen Grenz- oder Schwellenwerte für die untersuchten Arzneimittel (siehe Kap. 5). Dennoch gilt es, das Verschlechterungsverbot nach WRRL einzuhalten. Die Entwicklung und Festlegung von Grenz- und Schwellenwerten ist, wie bereits vom UBA (2018) empfohlen, unbedingt voranzutreiben.

Mit Blick auf die Anzahl und die flächenhafte Verbreitung der positiven Befunde, die im landesweiten Screening ermittelt wurden, und die sich wiederholenden Nachweise einiger Wirkstoffrückstände an mehreren Messstellen ist eine Verstärkung der Untersuchungen dringend zu empfehlen. Darüber hinaus wird angeregt, sich bundesweit über Grundzüge eines Monitoringprogramms zu Arzneimitteln im Grundwasser zu verständigen.

Die Annahme, dass der Verbrauch von Arzneimitteln in der nahen Zukunft noch weiter zunehmen wird, spricht ebenfalls für die Intensivierung der Beobachtung der Rückstände im Grundwasser (UBA 2014, CIVITY 2017, TAB 2019). Dies wird auch durch die Vorsorgebestrebungen zur Verhinderung der Verschlechterung der Grundwasserqualität gemäß WRRL unterstützt. Das Thema Arzneimittel in der Umwelt, speziell in Gewässern, wird aktuell besonders mit Blick auf die potentielle Verbreitung von Antibiotikaresistenzen zunehmend in der Öffentlichkeit diskutiert (Schönfeld et al. 2017, UBA 2018a, NLWKN 2019, TAB 2019). Auch aus diesem Grund sind weitere Informationen zur Entwicklung der Belastungssituation im Grundwasser notwendig. Die Ergebnisse des landesweiten Screenings auf Arzneimitteln im Grundwasser Niedersachsens liefern zu den vorgenannten Aspekten einen ersten Überblick.

Literatur

- BALZER, F., WOLTER, R., PENNING, M., BERGMANN, S., KARFUSEHR, C. & S. HANNAPPEL (2015): Antibiotika-Rückstände im oberflächennahen Grundwasser in Nordwestdeutschland – Aktueller Stand der Kenntnisse und mögliche Eintragsquellen. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2015 (8), Nr. 7. S. 411-416.
- BFT (Bundesverband für Tiergesundheit e. V.) (2019): Produkte für gesunde Tiere. Bonn. URL: <<https://www.bft-online.de/der-verband/tierarzneimittelmarkt/>> Zugriff: 30.07.2019.
- BLAC (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit) (2003): Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz am 19./20. November 2003. Hamburg.
- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G.W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & B.-M. WILKE (2010): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- BMG (Bundesministerium für Gesundheit) (2019): Antibiotika-Resistenzen – Die wichtigsten Begriffe zum Thema Antibiotika-Resistenzen. Aktualisiert am 09.08.2019. URL: <<https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/praevention/antibiotika-resistenzen/die-wichtigsten-begriffe.html>> Zugriff: 30.08.2019.
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2020): Abgabe an Antibiotika in der Tiermedizin sinkt weiter. Presseinformation vom 29.07.2020. URL: <https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/05_tierarzneimittel/2020/2020_07_29_PI_Antibiotikaabgabe.html> Zugriff: 27.08.2020.
- CIVITY (Civity Management Consultants GmbH & Co. KG) (Hrsg.) (2017): Arzneimittelverbrauch im Spannungsfeld des demographischen Wandels. Im Auftrag des Bundesverbandes der Energie und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Berlin.
- CLEUVERS, M. (2004): Mixture toxicity of the anti-inflammatory drugs diclofenac, ibuprofen, naproxen and acetylsalicyl acid. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Volume 59 (2004), s. 309-315. Elsevier.
- DEXHEIMER, K., AVERESCH, N. & H. SCHMEDDING (2010): Mikroschadstoffe im Grundwasser. In: *Wasser und Abfall*. Ausgabe 12/2010, S. 45-48. BWK. Wiesbaden: Springer.
- DIMDI (Deutsches Institut für medizinische Dokumentation und Information) (2018): Arzneimittel-Informationssystem. URL: <https://portal.dimdi.de/amis-off/servlet/Gate#__DEFANCHOR__> Zugriff: 30.11.2018.
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2016): Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. Sonderdruck aus *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, Heft 6/2016. Hennef.
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2015): Stickstoffumsatz im Grundwasser. DWA-Themen, T2/2015. Hennef.
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2014): Bedeutung von Transformationsprodukten für den Wasserkreislauf. KA 8.1 - T 4/2014. Ausgabe 09/2014. Hennef.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2005): Meeting on Pharmaceuticals in the Environment - Meeting Summary. U.S. EPA, National Exposure Research Laboratory, Las Vegas. 23-25 August.
- FENT, K. (2013): *Ökotoxikologie – Umweltchemie, Toxikologie, Ökologie*. 4. vollst. überarb. Auflage. Stuttgart: Thieme.
- FLAHERTY, C. M. & S. I. DODSON (2005): Effects of pharmaceuticals on *Daphnia* survival, growth and reproduction. In: *Chemosphere*. Volume 61, Issue 2, S. 200-207. Elsevier.
- GANS, O. (2007): Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden. In: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2007): *Tierarzneimittel in der Umwelt*. Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 58. München: Oldenbourg Industrie-verlag.
- GÖTZ, K., BIRZLE-HARDER, B. & G. SUNDERER (2014): Ergebnisse einer Repräsentativbefragung zu Medikamentenrückständen im

- Wasserkreislauf und zur Medikamentenentsorgung. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 61 (12). Hennef: GFA. S. 1102-1105.
- HAMSCHER, G., MOHRING, S., HÖPER, H., STAHL, J., KIETZMANN, M., HAIß, A. & K. KÜMMERER (2013): Identifizierung und Charakterisierung von umweltfreundlichen Tierarzneimitteln am Beispiel der Sulfonamide – Abschlussbericht. Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- HAMSCHER, G. & H. HÖPER (2007): Tierarzneimittel in Boden, Sicker- und Grundwasser – Langzeituntersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen 2000-2006. In: LFU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2007): Tierarzneimittel in der Umwelt. München: Oldenbourg Industrieverlag. S. 61-82.
- HANKE, I., SINGER, H., McARDELL-BUERGISER, C., BRENNWALD, M., TRABER, D., MURALT, R., HEROLD, T., OECHSLIN, R. & R. KIPFER (2007): Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser. Sonderdruck Nr. 1501 aus gwa 3/2007 des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW). Zürich. S. 3-12.
- HANNAPPEL, S., BALZER, F., GROENEWEG, J., ZÜHLKE, S. & D. SCHULZ (2014): Vorkommen von Tierarzneimitteln im oberflächennahen Grundwasser unter Standorten mit hoher Viehbesatzdichte in Deutschland. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 58, Heft 4, 2014, S. 208-220.
- HANNAPPEL, S., SCHÖTTLER, M. & G. LEMKE (2014a): Methoden zur Fundstellenaufklärung diffuser Nährstoffeinträge in das Grundwasser – Möglichkeiten und Grenzen. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft. 2014, Nr. 8. S. 443-447. Hennef: GFA.
- HEIN, A. (2019): Auskunft vom 21.03.2019 auf die Anfrage des NLWKN zu Daten aus der DIMDI-Datenbank. Auswertung über den Zugang des Umweltbundesamtes zur Datenbank des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI), Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit.
- HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) (2018): Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2017. Grundwasser in Hessen, Heft 3. Wiesbaden.
- JAGEMANN, P., NAFO, I. & B. TEICHGRÄBER (2017): (Technologische) Kompetenz Spurenstoffe – Zehn Jahre Untersuchungen bei Em-scher-Genossenschaft und Lippeverband. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2017, 64. Jahrgang, Nr. 10, S. 880-888. DWA. Hennef: GFA.
- KAHRFUSEHR, C., KAYSER, A., TE GEMPT, R., HEIN, A. & L. GERMERSHAUSEN (2019): Auftreten und Herkunftsbestimmung von Antibiotika in viehstarken Regionen Niedersachsens. In: Grundwasser, Vol. 24, Issue, 1, S. 3-11. Springer.
- KÖLLE, W. (2017): Wasseranalysen – richtig beurteilt. Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe. 4. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2005): Schwermetalle und Tierarzneimittel in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift, Darmstadt.
- KÜMMERER, K., ALEXY, R., KÜMPEL, T., SCHÖLL, A., KALSCH, W., JUNKER, T., MOLTMANN, F., KNACKER, T. THEIS, W., WEIHS, C., ULRICH, E., GARTISER, S., METZINGER, M., WENZ, M., LANGE, T. & C. BEIMFOHR (2003): Eintrag von Antibiotika in die aquatische Umwelt – Prüfung der biologischen Abbaubarkeit ausgewählter Antibiotika, ihr Vorkommen im Abwasser und ihr möglicher Einfluss auf die Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen – Identifizierung von Risikofeldern. Abschlussbericht, F&E-Vorhaben 298 63 722. Freiburg.
- KÜSTER, A., LEHMANN, S., HEIN, A. & J. SCHÖNEFELD (2013): Antibiotika in der Umwelt – Wirkung mit Nebenwirkung. In: UMID (2013): Umwelt und Mensch-Informationsdienst. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/antibiotika_in_der_umwelt.pdf> Zugriff: 20.04.2015.
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) (2012): Grundwassergefährdung durch undichte Kanäle. Literaturlauswertung und Auswertung der Analyseergebnisse der landesweiten Grundwassermessstellen in NRW. LANUV-Fachbericht 43. Recklinghausen.
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) (2007): Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie. LANUV-Fachbericht 2. Recklinghausen.

- LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2018): Ermittlung von Verweil- und Fließzeiten. Abschlussbericht Länderfinanzierungsprojekt. Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Beteiligte Institutionen: Consulaqua, Hamburg; IWW Mühlheim a. d. Ruhr; Forschungszentrum Jülich.
- LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2016): Mikroschadstoffe in Gewässern. Stand: Januar 2016. Magdeburg.
- LEHMANN, L. L. (2017): Antibiotika in Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Gärresten und deren Interaktion mit Pflanzen. Dissertation. Julius-Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde. Braunschweig.
- LUWG (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht) (2013): Grundwassermonitoring 2011/12 – auf Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, relevante und „nicht relevante“ Metaboliten, Arzneimittelrückstände sowie perfluorierte Tenside. Mainz.
- LSKN (Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen) (2011): Daten zur Landwirtschaftszählung 2010, Hannover.
- LSN (Landesamt für Statistik Niedersachsen) (2018): Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung und Viehbestand in 2016 und Landwirtschaftliche Betriebe insgesamt 2016 nach jeweiligen Flächen. Öffentliche Daten. Datenanfrage vom 16.05.2018.
- LSN (Landesamt für Statistik Niedersachsen) (2016): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung 2013. Statistische Berichte, Q I 1 -3j/2013. Korrigierte Version vom 05.10.2016. Hannover.
- LWK (Landwirtschaftskammer Niedersachsen) (2020): Nährstoffbericht für Niedersachsen 2018/2019. Stand: 28.02.2020. Oldenburg.
- MEHRTENS, A., LICHA, T., BROERS, H.P. & V. BURKE (2020): Tracing veterinary antibiotics in the subsurface – A long-term field experiment with spiked manure. In: *Environmental Pollution*, 265 (2020), S. 1-13. Elsevier.
- MELUR (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein) (2014): Merkblatt „Kleinkläranlagen in Schleswig-Holstein“ – Errichtung, Betrieb und Wartung. Kiel.
- MERSMANN, P. (2003): Transport- und Sorptionsverhalten der Arzneimittelwirkstoffe Carbamazepin, Clofibrinsäure, Diclofenac, Ibuprofen, und Propyphenazon in der wasser-gesättigten und -ungesättigten Zone. Dissertation. Technische Universität Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften. Berlin.
- ML (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2011): Bericht über den Antibiotikaeinsatz in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung in Niedersachsen. In Zusammenarbeit mit dem Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES). URL: <<http://www.ml.niedersachsen.de/download/62481>> Zugriff: 08.01.2015.
- NIW (Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung) (2003): Regionalmonitoring Niedersachsen – Regionalreport 2003. Im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Hannover.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2019): Vorkommen antibiotikaresistenter Bakterien und von Antibiotikarückständen in niedersächsischen Kläranlagen und Oberflächengewässern. Abschlussbericht, Niedersächsisches Sondermessprogramm. Gemeinschaftsarbeit mit dem Universitätsklinikum Bonn, Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit und Institut für Medizinische Mikrobiologie, Immunologie und Parasitologie. URL: <https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen_im_fokus/multiresistente-bakterien-164411.html> Zugriff: 05.04.2019.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2018): Antibiotika im Grundwasser viehstarker Regionen Niedersachsens. Daten 2015 bis 2017. Themenbericht. Reihe Grundwasser, Band 34. Norden.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2017): Ermittlung der Ursachen des Eintrages von Tierarzneimitteln in das oberflächennahe Grundwasser – Datenauswertung 2012 bis 2016. Regionaler Themenbericht. Reihe Grundwasser, Band 29. Norden.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2017a): Arznei- und Röntgenkontrastmittelrückstände im Grundwasser – Untersuchung in Abwasser- bzw. Klärschlammverregungsgebieten im Raum Braunschweig-Wolfsburg.

- Regionaler Themenbericht. Reihe Grundwasser, Band 20. Norden.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2014): Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN) – Güte- und Standsmessnetz Grundwasser. Messkonzept. Reihe Grundwasser, Band 18. Norden.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2013): Untersuchung niedersächsischer Oberflächengewässer auf bestimmte Humanarzneimittel (Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol). September 2013. Hildesheim.
- OLSSON, O. & K. KÜMMERER (2019): Wasser und nachhaltige Chemie. In: Vom Wasser. 1/2019, S. 5-8. Wasserchemische Gesellschaft. Weinheim: Wiley-VCH.
- SCHAFFER, M., BOXBERGER, N., BÖRNICK, H., LICHA, T., & WORCH, E. (2012): Sorption influenced transport of ionizable pharmaceuticals onto a natural sandy aquifer sediment at different pH. In: Chemosphere, 87, 2012, S. 513-520. Elsevier.
- SCHÖNFELD, J., KONRADI, S., BERKNER, S. & K. WESTPHAL-SETTELE (2017): Antimikrobielle Resistenzen in der Umwelt – Gibt es Neues zum bekannten Phänomen?. In: UMID – Umwelt + Mensch Informationsdienst. Nr. 2/2017, S. 7-19. Berlin.
- SCHWABE, U., PAFFRATH, D., LUDWIG, W.-D. & J. KLAUBER (Hrsg.) (2018): Arzneiverordnungs-Report 2018. Springer: Berlin.
- SPIELMEYER, A., NURK, L. & F. JACOBI (2018): Eliminierung von Tierarzneimitteln durch effektive Güllebehandlung. Abschlussbericht. Justus-Liebig-Universität Gießen, Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (Bad Hersfeld).
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2007): Arzneimittel in der Umwelt. Stellungnahme, April 2012, Nr. 12. URL: <http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2004_2008/2007_Stellung_Arzneimittel_in_der_Umwelt.html> Zugriff: 14.01.2015.
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2019): Arzneimittelrückstände in Trinkwasser und Gewässern. Drucksache 19/16430, Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode. Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Berlin.
- TERNES, T.A., JOSS, A. & H. SIEGRIST (2004): Scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment. In: Environmental Science & Technology, 38, S. 392-399. American Chemical Society.
- THIELE-BRUHN, S. (2003): Pharmaceutical antibiotic compounds in soils – a review. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2003, 166, S. 145-167. Weinheim: Wiley-VCH.
- UBA (Umweltbundesamt) (2019): Liste der nach Gesundheitlichen Orientierungswerten bewerteten Stoffe. Stand März 2019. Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2018): Empfehlungen zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Hintergrund/April 2018, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2018a): Antibiotika und Antibiotikaresistenzen in der Umwelt – Hintergrund, Herausforderungen und Handlungsoptionen. Hintergrund/Oktober 2018, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2016): Aufklärung der Ursachen von Tierarzneimittelfunden im Grundwasser – Untersuchung eintragsgefährdeter Standorte in Norddeutschland. Texte 54/2016, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2014): Arzneimittel in der Umwelt – vermeiden, reduzieren, überwachen. Hintergrund/April 2014, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2014a): Antibiotika und Antiparasitika im Grundwasser unter Standorten mit hoher Viehbesatzdichte. Texte 27/2014, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2014b): Tierarzneimittel – ein neues Problem für das Grundwasser? Presseinformation. URL: <<http://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/tierarzneimittel-ein-neues-problem-fuer-das>> Zugriff: 04.03.2015.
- UBA (Umweltbundesamt) (2013): Pharmaceuticals in the Environment – A first Compilation of German Monitoring Data. Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. Durchführung: IWW Rheinisch-Westfälisches Institut

- für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH. Texte 66/2011, Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 2003, S. 249-251. Springer: Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH (2010): Antibiotika im Grundwasser – Sondermessprogramm im Rahmen einer Gewässerzustandsüberwachungsverordnung. Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.). Wien.
- UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH (2006): Carbamazepin und Koffein – Potenzielle Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunales Abwasser?. Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.). Wien.
- WIEGAND, C. (2005): Spurensuche in Niedersachsen - Historische Kulturlandschaften entdecken. Niedersächsischer Heimatbund (Hrsg.). 2. Auflage. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
- ZESSEL, K. (2012): Verringerung des Eintrags von Tierarzneimittelrückständen in die Umwelt mit besser abbaubaren Sulfonamiden. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover. Hannover.

Gesetze, Richtlinien, Verordnungen und Normen

- AMG (Arzneimittelgesetz) (2019): Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln. In der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3394), das zuletzt durch Artikel 18 des Gesetzes vom 20. November 2019 (BGBl. I S. 1626) geändert worden ist.
- DIN 32645:2008-11 (2018): Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholungsbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung. Deutsches Institut für Normung e. V.. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 4261-1:2010-10 (2010): Kleinkläranlagen – Teil 1: Anlagen zur Schmutzwasservorbehandlung. Deutsches Institut für Normung e. V.. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (2005): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Deutsches Institut für Normung e. V.. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- EU-Verordnung 2019/6 (2018): Verordnung (EU) 2019/6 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über Tierarzneimittel und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/82/EG.
- EU-Richtlinie 2001/83/EG (2001): Richtlinie 2001/83/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. November 2001 zur Schaffung eines Gemeinschaftskodexes für Humanarzneimittel.
- GrwV (Grundwasserverordnung) (2017): Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist.
- TrinkwV (Trinkwasserverordnung) (2018): Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Januar 2018 (BGBl. I S. 99) geändert worden ist.
- WHG (Wasserhaushaltsgesetz) (2018): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. Ausfertigungsdatum 31.07.2009. Zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254).
- WRRL (EG-Wasserrahmenrichtlinie) (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für die Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

Anhang

Tab. A1: Häufigkeit der Beprobung und Probeneingangsdaten der untersuchten Grundwassermessstellen.

Landkreis	Gemeinde	Messstellen-Name	Datum des Probeneingangs			
			2015	2016	2017	2018
Ammerland	Bad Zwischenahn	Petersfehn I			23.03.	05.04.
Ammerland	Rastede	Rastederberg I	22.04. / 24.09.	25.02. / 20.10.	15.03.	21.02.
Ammerland	Westerstede, Stadt	Eggelogerfeld II	10.03. / 23.09.	16.03.	22.03.	14.03.
Aurich	Aurich, Stadt	Meerhusen II			26.04.	16.05.
Aurich	Hinte	Klein Sande I		20.04. / 26.10.	08.03.	13.06.
Aurich	Ihlow	Ludwigsdorf I			31.05.	19.06.
Aurich	Ihlow	Simonswolde I	29.04. / 07.10.	09.03.		
Aurich	Norden, Stadt	Süderneuland I		27.04. / 26.10.		
Aurich	Wiesmoor	Vossbarg Mitte		06.04. / 26.10.	22.03.	16.05.
Celle	Bergen, Stadt	GUN 116 N Salzmoor	29.04. / 13.10.	07.09.	28.06.	27.03.
Celle	Eschede	BDF 057 Starkshorn		26.04. / 01.11.	30.05.	29.05.
Celle	Eschede	GD 53 N 12 Dalle		26.04.	30.05.	29.05.
Celle	Eschede	GUN 058/1 Höfer			23.05.	
Celle	Lachendorf	GD 51 N Lachendorf			31.05.	30.05.
Celle	Südheide	NA 113 N 12 Hetendorf		05.04.	09.05.	28.03.
Cloppenburg	Barßel	Elisabethfehn I			14.03.	17.04.
Cloppenburg	Barßel	Lohe I	22.09.			
Cloppenburg	Barßel	Lohe II	23.04.			
Cloppenburg	Barßel	Lohe II (neu)		17.03.	14.03.	17.04.
Cloppenburg	Bösel	Bösel I	23.04. / 22.09.	17.03. / 20.10.	23.03.	18.04.
Cloppenburg	Bösel	Vehneemoor I	16.04. / 22.09.	19.10.	23.03.	17.04.
Cloppenburg	Cloppenburg, Stadt	Bethen 2/6 I	16.04. / 23.09.	26.04. / 26.10.	30.03.	18.04.
Cloppenburg	Friesoythe, Stadt	Edewechterdamm I			14.03.	17.04.
Cloppenburg	Friesoythe, Stadt	Kampe I	16.04. / 22.09.	19.10.	29.03.	17.04.
Cloppenburg	Friesoythe, Stadt	Markhausen-BDF	23.04. / 23.09.	17.03. / 20.10.	23.03.	18.04.
Cloppenburg	Garrel	Varrelbusch	16.04. / 23.09.	26.10.	30.03.	18.04.
Cuxhaven	Armstorf	Dornsode I				18.05.
Cuxhaven	Beverstedt	Heyerhoefen I	26.03. / 20.08.	27.04.	09.06.	15.06.
Cuxhaven	Beverstedt	Kirchwistedt I			09.06.	26.04.
Cuxhaven	Cuxhaven, Stadt	Oxstedt HL 12 FI		27.04. / 26.10.	13.04.	14.09.
Cuxhaven	Cuxhaven, Stadt	Sahlenburg I			13.04.	14.09.
Cuxhaven	Geestland	Neu-Ebersdorf UE 60	01.04. / 20.08.	31.03.	09.06.	15.06.
Cuxhaven	Hagen im Bremischen	Driftsethe I	26.03. / 20.08.	27.04.	09.06.	26.04.
Cuxhaven	Hagen im Bremischen	Uthlede UWO 133 FI	23.04. / 28.10.	27.04.	09.06.	26.04.
Cuxhaven	Hemmoor, Stadt	Basbeck UE 126			05.05.	02.10.
Cuxhaven	Hollinseth	Abbenseth UE 129	26.03. / 20.08.	31.03. / 26.10.	24.05.	18.05.
Cuxhaven	Lamstedt	Westerberg II				13.04.
Cuxhaven	Loxstedt	Stotel UWO 158			09.06.	08.06.
Cuxhaven	Neuhaus (Oste), Flecken	Neuhauserfelde I				13.04.
Cuxhaven	Nordleda	Nordleda UE 104 FI			21.04.	14.09.
Cuxhaven	Schiffdorf	Bramel I			05.05.	14.09.
Cuxhaven	Wingst	Zollbaum I		31.03. / 26.10.	28.04.	13.04.
Cuxhaven	Wurster Nordseeküste	Nordholz I				20.04.
Cuxhaven	Wurster Nordseeküste	Northum UE 81 FI	01.04. / 28.10.	27.04.	21.04.	14.09.
Diepholz	Barenburg, Flecken	Paschenburg (neu)			23.03.	21.03.
Diepholz	Barver	Barver I			11.05.	25.04.
Diepholz	Bassum, Stadt	Neubbruchhausen I	01.04. / 03.09.	07.04. / 13.10.	23.03.	07.03.
Diepholz	Hemslöh	Hemslöhbruch	26.03. / 03.09.	26.05.	11.05.	25.04.
Diepholz	Stemshorn	Stemshorn			11.05.	25.04.
Diepholz	Stuhr	Moordeich			23.03.	07.03.
Diepholz	Sulingen, Stadt	Nordsulingen I	29.04. / 03.09.	10.03.	09.03.	07.03.
Diepholz	Süstedt	Süstedt	28.05. / 03.09.	07.04.		30.05.
Diepholz	Syke, Stadt	Gödestorf I	01.04. / 03.09.	07.04.	23.03.	07.03.
Diepholz	Twistringen, Stadt	Bissenhausen	12.03. / 10.09.	28.04.	04.05.	17.04.
Diepholz	Twistringen, Stadt	Rüssen	23.04. / 28.10.	20.10.	04.05.	17.04.
Diepholz	Wagenfeld	Ströhen	29.04. / 22.10.	26.05.	11.05.	05.09.
Diepholz	Wehrbleck	Wehrbleck	23.04. / 03.09.	10.03.	09.03.	07.03.
Emsland	Beesten	Beesten-Bahnhof I	23.04. / 23.09.	15.03.	13.06.	19.06.
Emsland	Emsbüren	Elbergen	17.03. / 23.09.	31.08.	15.03.	26.04.
Emsland	Emsbüren	Elbergen-Moor Elb. I	17.03. / 23.09.	31.08.	15.03.	26.04.
Emsland	Geeste	Bramhar I	23.04. / 20.10.	12.10.	15.03.	26.04.
Emsland	Geeste	Dalumer Moor I	17.03. / 08.10.	15.11.	08.06.	01.03.
Emsland	Gersten	Gersten	23.04. / 23.09.	12.10.	15.03.	26.04.
Emsland	Haren (Ems), Stadt	Haar I	17.03. / 08.10.	20.04. / 12.10.	04.05.	07.06.
Emsland	Haren (Ems), Stadt	Rütenbrocker Moor I	17.03. / 08.10.	20.04.	04.05.	07.06.

Tab. A1: Häufigkeit der Beprobung und Probeneingangsdaten der untersuchten Grundwassermessstellen (Fortsetzung).

Landkreis	Gemeinde	Messstellen-Name	Datum des Probeneingangs			
			2015	2016	2017	2018
Emsland	Haselünne, Stadt	Flechum I			07.06.	17.04.
Emsland	Haselünne, Stadt	Lotten I	23.04. / 27.10.	13.04.	15.03.	26.04.
Emsland	Hüven	Hüven I	17.03. / 08.10.		15.06.	15.03.
Emsland	Klein Berßen	Klein Berßen-Loherfeld		06.09.	15.03.	07.06.
Emsland	Klein Berßen	Klein Berßen-Loherfeld I_alt	17.03. / 14.10.	06.09.		07.06.
Emsland	Lingen (Ems), Stadt	Brögbern I			11.04.	26.04.
Emsland	Lorup	Lorup	17.03. / 14.10.	12.10.	21.03.	15.03.
Emsland	Meppen, Stadt	Fullener Moor I	31.03. / 08.10.	13.04.	15.03.	01.03.
Emsland	Meppen, Stadt	Helte I	17.03. / 01.09.	13.04.	11.04.	15.05.
Emsland	Neubörger	Neubörger			04.05.	15.03.
Emsland	Rhede (Ems)	Rhederfeld I			04.05.	15.03.
Emsland	Salzbergen	Bexten	23.04. / 23.09.	20.04.	15.03.	15.05.
Emsland	Spelle	Spelle	23.04. / 23.09.	17.11.	15.03.	19.06.
Emsland	Spelle	Varenrode	23.04. / 23.09.	20.04.	15.03.	19.06.
Emsland	Spelle	Venhaus			15.03.	19.06.
Emsland	Vrees	Vrees-Lorup I			21.03.	15.03.
Emsland	Walchum	Hasselberg I	17.03. / 08.10.	06.09.	04.05.	15.03.
Gifhorn	Adenbüttel	Gr_Schwülper_P3	07.05. / 22.10.	07.06.	11.05.	15.06.
Gifhorn	Ehra-Lessien	Ehra - Lessien I	24.04. / 26.08.	13.05.	04.05.	29.05.
Gifhorn	Gifhorn, Stadt	Gifhorn_21_A			11.05.	15.06.
Gifhorn	Hankensbüttel	Hankensbüttel_NA 135 fl		29.04. / 15.09.	11.05.	14.06.
Gifhorn	Leiferde	Leiferde (GF) I		01.06. / 13.09.	01.06.	25.05.
Gifhorn	Rühen	Eischott_GWM H (Wipperaller)	06.05. / 28.10.	29.04.		
Gifhorn	Rühen	Eischott_GWM H 2 (Wipperaller)			18.05.	17.05.
Gifhorn	Tülau	Brome I		13.05. / 21.09.	18.05.	06.06.
Gifhorn	Wahrenholz	Schönewörde_W12 fl	08.05. / 22.10.	29.04.	11.05.	14.06.
Gifhorn	Wahrenholz	Wahrenholz I	23.04. / 23.09.	10.05.	30.05.	18.05.
Gifhorn	Weyhausen	Weyhausen_W26h	08.05. / 28.10.	29.04.	11.05.	15.06.
Gifhorn	Wittingen, Stadt	Radenbeck I	24.04. / 26.08.	13.05.	04.05.	29.05.
Gifhorn	Wittingen, Stadt	Wittingen_B3/04 fl	06.05. / 21.10.	29.04.	11.05.	14.06.
Goslar	Goslar, Stadt	Wiedelah A1		27.04.	27.04.	22.06.
Goslar	Wallmoden	Altwallmoden_GrSpring	07.05. / 15.10.	29.04.	11.05.	29.05.
Göttingen	Bovenden, Flecken	Spanbeck I		26.04. / 13.09.	03.05.	16.05.
Göttingen	Friedland	Reinshof-Nord		20.04. / 13.09.	29.03.	10.04.
Grafschaft Bentheim	Bad Bentheim, Stadt	Gildehaus Süd	09.06. / 08.10.	06.04.	15.03.	10.04.
Grafschaft Bentheim	Esche	Esche I	17.03. / 01.09.	27.04.	06.04.	03.05.
Grafschaft Bentheim	Isterberg	Isterberg	09.06. / 08.10.	06.04.	06.04.	10.04.
Grafschaft Bentheim	Isterberg	Quendorf I	17.03. / 08.10.	13.04.	15.03.	10.04.
Grafschaft Bentheim	Laar	Echtelerfeld I	24.02. / 01.09.	27.04. / 12.10.	06.04.	30.05.
Grafschaft Bentheim	Laar	Heesterkante I	24.02. / 04.11.	27.04.	01.03.	18.04.
Grafschaft Bentheim	Laar	Laar I	24.02. / 04.11.	27.04.	01.03.	18.04.
Grafschaft Bentheim	Laar	Volzel I	24.02. / 04.11.	27.04.	01.03.	18.04.
Grafschaft Bentheim	Neuenhaus, Stadt	Grasdorf I	09.06. / 08.10.	15.03.	06.04.	10.04.
Grafschaft Bentheim	Nordhorn, Stadt	Nordhorn II	23.04. / 23.09.	15.03. / 12.10.	15.06.	10.04.
Grafschaft Bentheim	Nordhorn, Stadt	Nordhorn-Wietmarschen	23.04. / 23.09.	13.04.	15.03.	10.04.
Grafschaft Bentheim	Ringe	Großringerwösten I	23.04. / 04.11.	15.11.	01.03.	18.04.
Grafschaft Bentheim	Ringe	Kleineringerwösten I	23.04. / 04.11.	15.03. / 12.10.	01.03.	18.04.
Grafschaft Bentheim	Wietmarschen	Wietmarschen-Lohne I	23.04. / 23.09.	06.04. / 12.10.	13.06.	01.03.
Hameln-Pyrmont	Emmerthal	Ohr 1		30.03. / 13.10.	10.05.	22.05.
Hameln-Pyrmont	Hessisch Oldendorf, Stadt	Fuhlen-Lachem:: P 10	16.04. / 10.09.	08.03.	10.05.	16.05.
Hameln-Pyrmont	Salzhemmendorf, Flecken	Hemmendorf	16.04. / 10.09.	30.03.	29.05.	14.06.
Harburg	Halvesbostel	Holvede G1	20.03. / 02.10.	03.05.	12.09.	13.06.
Harburg	Königsmoor	Königsmoor G1	27.03. / 02.10.	07.04.	12.09.	12.04.
Harburg	Marchacht	Eichholz GA1		03.05.	16.03.	12.04.
Harburg	Neu Wulmstorf	WW Elstorf EL 7	20.03. / 02.10.	31.03.		24.04.
Harburg	Regesbostel	WW Moisburg MO 5a	20.03. / 02.10.	31.03.		24.04.
Harburg	Wenzendorf	Wenzendorf G1		03.05.	12.09.	13.06.
Heidekreis	Bomlitz	WWE Jarlingen B 92	22.04. / 13.10.	15.03.	25.04.	20.03.
Heidekreis	Frankenfeld	UAV 14 N 12 Neu Bosse			22.03.	12.04.
Heidekreis	Munster, Stadt	GD 35 N Trauen	22.04. / 27.10.	29.09.	14.11.	06.06.
Heidekreis	Schneverdingen, Stadt	GD 32 N 12 Lünzen		05.10.	07.06.	06.06.
Heidekreis	Schneverdingen, Stadt	GUN 036 Heber		23.06. / 06.09.	15.03.	03.05.
Heidekreis	Soltau, Stadt	BDF 016/1 Soltau-Tetendorf	22.04. / 27.10.	08.03.	29.03.	19.04.
Heidekreis	Wietendorf	GD 34 N Wietendorf	22.04. / 27.10.	29.09.	14.11.	06.06.
Helmstedt	Bahrdorf	Bahrdorf I		19.05. / 21.09.	24.05.	06.06.
Helmstedt	Helmstedt, Stadt	Emmerstedt_WaBo_Brunnssole			31.05.	17.05.
Hildesheim	Bad Salzdetfurth, Stadt	Bodenburg: Bodenburg Tiefbrunnen 1	16.04. / 10.09.	06.04.	19.04.	24.05.
Hildesheim	Gronau (Leine), Stadt	Gronau		29.03. / 12.10.	20.06.	29.05.
Hildesheim	Sarstedt, Stadt	LK-HI:: Moorberg GWM 5-02			20.06.	07.05.
Holzminden	Halle	Wegensen I		12.04. / 13.10.	27.06.	22.05.
Leer	Bunde	Charlottenpolder Bahn			05.04.	06.06.
Leer	Bunde	Wymeer I	06.05. / 07.10.	13.04.	05.04.	04.07.
Leer	Filsun	Stallb.Feld	25.03. / 07.10.	09.03.		
Leer	Leer (Ostfriesland), Stadt	Bingum Einhaus I			05.04.	06.06.

Tab. A1: Häufigkeit der Beprobung und Probeneingangsdaten der untersuchten Grundwassermessstellen (Fortsetzung).

Landkreis	Gemeinde	Messstellen-Name	Datum des Probeneingangs			
			2015	2016	2017	2018
Leer	Nortmoor	Nortmoor-Rüscheweg I	25.03. / 07.10.	30.03.	10.05.	25.04.
Leer	Rhauderfehn	Holte			10.05.	30.05.
Leer	Rhauderfehn	Klostermoor Brunselmeer		09.03. / 26.10.	16.05.	30.05.
Leer	Rhauderfehn	Schatteburg SB 2			10.05.	30.05.
Leer	Uplengen	Kleinoldendorf I			22.03.	25.04.
Leer	Uplengen	Stapel I	22.04. / 07.10.	06.04.	22.03.	25.04.
Leer	Westoverledingen	Moorhusen Lüdeweg	25.03. / 07.10.	09.03.	21.06.	30.05.
Lüchow-Dannenberg	Gusborn	Klein Gusborn F1	02.10.	07.04.	26.10.	31.05.
Lüchow-Dannenberg	Hitzacker (Elbe)	WW Kähmen KM 21			05.04.	13.06.
Lüchow-Dannenberg	Langendorf	Laase G1	20.03. / 02.10.	07.04.	11.05.	31.05.
Lüchow-Dannenberg	Lemgow	Schmarsau F1		20.04.	26.10.	31.05.
Lüchow-Dannenberg	Lübbow	Dangenstorf G1	20.03. / 02.10.	20.04.	26.10.	31.05.
Lüchow-Dannenberg	Lüchow, Stadt	Weitsche F1		20.04.	11.05.	31.05.
Lüchow-Dannenberg	Trebel	Liepe G1		20.04.		31.05.
Lüchow-Dannenberg	Trebel	Nemitz G1		20.04.	11.05.	31.05.
Lüneburg	Amt Neuhaus	Neuhaus Konau BDF	20.03. / 11.09.	16.03.	13.09.	12.04.
Lüneburg	Bleckede, Stadt	Breetze A			28.03.	12.04.
Lüneburg	Radbruch	Radbruch B		03.05.	24.05.	13.06.
Lüneburg	Reinstorf	Horndorf G1			28.03.	12.04.
Lüneburg	Reppenstedt	Dachtmissen NO G1	20.03. / 11.09.	07.04.	13.09.	
Lüneburg	Scharnebeck	Echem G1	20.03. / 02.10.	03.05.	13.09.	12.04.
Nienburg (Weser)	Bücken, Flecken	Helzendorf I	16.04. / 24.09.	28.04.	04.05.	22.08.
Nienburg (Weser)	Diepenau, Flecken	Nordel I	29.04. / 28.10.	26.05.	11.05.	12.09.
Nienburg (Weser)	Husum	Groß Varlingen I			23.05.	05.06.
Nienburg (Weser)	Raddestorf	Kleinenheerse	29.04. / 28.10.	11.05.	06.04.	12.09.
Nienburg (Weser)	Rodewald	Rodewald MB I			06.04.	30.05.
Nienburg (Weser)	Steyerberg, Flecken	Voigtei	23.04. / 22.10.	07.04. / 10.11.	23.03.	28.03.
Nienburg (Weser)	Steyerberg, Flecken	Voigtei-Sportplatz		07.04. / 10.11.	23.03.	28.03.
Nienburg (Weser)	Warmßen	Bohnhorst	23.04. / 28.10.	26.05.	11.05.	12.09.
Nienburg (Weser)	Wietzen	Mützensgrund I	16.04. / 24.09.	28.04.	04.05.	08.08.
Northeim	Kalefeld	Oldershausen	22.04. / 19.08.	12.04.	25.04.	05.06.
Oldenburg	Colnrade	Colnrade I			12.04.	28.02.
Oldenburg	Colnrade	Colnrade II	24.02. / 27.10.	23.03.	12.04.	28.02.
Oldenburg	Dötlingen	Egypten I	24.02. / 15.09.	28.09.	14.03.	13.03.
Oldenburg	Ganderkese	Schönemoor-Batt. A	17.03. / 08.09.	23.02.	15.03.	27.02.
Oldenburg	Großenkneten	Ahlhorn I	21.04. / 27.10.	23.03.	28.03.	13.03.
Oldenburg	Großenkneten	Großenkneten I	21.04. / 15.09.	01.03.	28.03.	13.03.
Oldenburg	Harpstedt, Flecken	Inselbruch-Harpstedt (neu)	21.04. / 09.09.	23.03.	12.04.	27.02.
Oldenburg	Hude	Sandersfeld I	25.02. / 20.10.	20.04.		28.02.
Oldenburg	Wildeshausen, Stadt	Tählstedt	21.04. / 27.10.	23.03.	28.03.	13.03.
Osnabrück	Bad Essen	Rabber			17.05.	15.06.
Osnabrück	Badbergen	Vehs	19.03. / 17.09.	10.11.	27.04.	09.10.
Osnabrück	Berge	Grafeld	19.03. / 10.09.	27.04. / 20.09.	27.04.	09.05.
Osnabrück	Bersenbrück, Stadt	Woltrup-Wehbergen	16.09.	27.04. / 10.11.	23.05.	15.05.
Osnabrück	Bippen	Vechtel I	19.03. / 10.09.	20.09.	27.04.	26.04.
Osnabrück	Bohmte	Hunteburg I	23.04. / 16.09.	09.11.	09.06.	20.04.
Osnabrück	Bramsche, Stadt	Achmer	19.03. / 15.09.	27.09.	16.05.	24.04.
Osnabrück	Fürstenau, Stadt	Hollenstede	19.03. / 28.10.	27.09.	23.05.	24.04.
Osnabrück	Glandorf	Schwege	23.04. / 15.09.	27.10.	16.05.	08.05.
Osnabrück	Melle, Stadt	Föckinghausen			17.05.	20.04.
Osnabrück	Ostercappeln	Gut Vorwalde I	23.04. / 15.09.	09.11.	09.06.	20.04.
Osnabrück	Voltlage	Voltlage I	19.03. / 10.09.	27.09.	27.04.	24.04.
Osterholz	Lilienthal	UWO 167/1 Saatmoor			12.04.	27.02.
Peine	Edemissen	Wehnsen_1047		07.06. / 16.09.	11.05.	07.06.
Peine	Peine, Stadt	Stederdorf I		04.04. / 30.09.	07.06.	15.05.
Peine	Wendeburg	Bortfeld-Nord		27.05. / 23.09.	01.06.	24.04.
Region Hannover	Barsinghausen, Stadt	Forst Esloh: PBE 83		16.03. / 05.10.	28.06.	25.06.
Region Hannover	Burgwedel, Stadt	Fuhrberg: GWM20143 (Fuhrberger Feld)			30.03.	03.05.
Region Hannover	Burgwedel, Stadt	Fuhrberg-Süd	09.04. / 14.09.	10.03. / 06.10.	30.03.	26.04.
Region Hannover	Garbsen, Stadt	Frielingen		29.03. / 10.10.	17.05.	12.04.
Region Hannover	Hannover, Landeshauptstadt	LHH:: 040070 Schwarze Heide Trafo			21.06.	10.04.
Region Hannover	Hannover, Landeshauptstadt	LHH:: 040306 Dorotheenstr.			21.06.	10.04.
Region Hannover	Hannover, Landeshauptstadt	LHH:: 040679 Kronsberg südl. DeberoderS		24.02. / 27.09.	31.05.	17.07.
Region Hannover	Hannover, Landeshauptstadt	LHH:: 041174 Fritz-Behrens-Allee / Emmic			21.06.	17.07.
Region Hannover	Hemmingen, Stadt	Pattensen (H)	16.04. / 15.09.	29.02.	26.06.	04.07.
Region Hannover	Laatzen, Stadt	Grasdorf: GWM60132Hy			26.06.	02.10.
Region Hannover	Lehrte, Stadt	Immensen I		17.03. / 19.10.	01.06.	15.05.
Region Hannover	Lehrte, Stadt	Kolshorn I	13.04. / 14.09.	17.03.	31.05.	05.06.
Region Hannover	Neustadt am Rübenberge, St.	Büren I	13.04. / 09.09.	07.03.	28.03.	03.07.
Region Hannover	Neustadt am Rübenberge, St.	Schneeren: 111	04.03. / 09.09.	09.03. / 04.10.	17.05.	23.05.
Region Hannover	Pattensen, Stadt	Jeinser Holz		29.03. / 20.10.	26.06.	25.06.
Region Hannover	Uetze	RegHan-BodS:: Ölteich Dedenhausen B102f	09.04. / 14.09.	17.03.	01.06.	19.06.
Region Hannover	Wedemarek	Elze-Berkhof: GWM20197 (Fuhrberger Feld)		10.03. / 10.10.	28.03.	20.06.
Region Hannover	Wunstorf, Stadt	RegHan-BodS:: 2530204007 GWM 2			11.05.	26.07.

Tab. A1: Häufigkeit der Beprobung und Probeneingangsdaten der untersuchten Grundwassermessstellen (Fortsetzung).

Landkreis	Gemeinde	Messstellen-Name	Datum des Probeneingangs			
			2015	2016	2017	2018
Rotenburg (Wümme)	Ahausen	UWO 008/1 Eversen S			26.07.	13.06.
Rotenburg (Wümme)	Alfstedt	Alfstedt UE 56 FI			24.05.	18.05.
Rotenburg (Wümme)	Basdahl	Basdahl UE 54			09.06.	14.09.
Rotenburg (Wümme)	Bothel	UWO 051/1 Bothel	29.04. / 13.10.	05.10.	07.06.	06.06.
Rotenburg (Wümme)	Bremervörde, Stadt	Niederrochtenhausen UE 130 FI	01.04. / 20.08.	31.03.	24.05.	15.06.
Rotenburg (Wümme)	Deinstedt	Deinstedt UE 146	26.03. / 26.08.	31.03.	31.05.	25.04.
Rotenburg (Wümme)	Helvesiek	UWO 025/1 Neuenfelde		19.10.	27.06.	20.06.
Rotenburg (Wümme)	Hepstedt	Hepstedt UWO 83 FI		31.03. / 26.10.	31.05.	15.06.
Rotenburg (Wümme)	Kirchwalsede	UWO 031 Riekenbostel	29.04. / 13.10.	19.10.	27.06.	20.06.
Rotenburg (Wümme)	Oerel	Oereler-Moor UE 148 FI	01.04. / 20.08.	31.03.	09.06.	26.04.
Rotenburg (Wümme)	Ostereistedt	Rockstedt UWO 87 FI	23.04. / 26.08.	31.03.	31.05.	25.04.
Rotenburg (Wümme)	Scheeßel	LGD 014 N 13 Sothel		19.10.	27.06.	20.06.
Rotenburg (Wümme)	Scheeßel	UWO 024/1 Wittkopsbostel		19.10.	27.06.	20.06.
Rotenburg (Wümme)	Scheeßel	UWO 026/1 Jeersdorf N	29.04. / 13.10.	18.10.	20.06.	13.06.
Rotenburg (Wümme)	Visselhövede, Stadt	LGD 013 N 13 Schwitschen	22.04. / 27.10.	29.09.	14.11.	06.06.
Rotenburg (Wümme)	Zeven, Stadt	Bruettendorf UE 168	26.03. / 26.08.	31.03.	31.05.	25.04.
Rotenburg (Wümme)	Zeven, Stadt	Zeven II	29.04. / 26.08.	31.03. / 26.10.	31.05.	25.04.
Schaumburg	Hagenburg, Flecken	Altenhagen I	13.04. / 09.09.	02.03.	07.06.	02.07.
Schaumburg	Rinteln, Stadt	Heinekamp: 88		16.03. / 13.10.	09.05.	28.05.
Stade	Ahlerstedt	Oersdorf I	01.04. / 26.08.	23.03.	31.05.	14.09.
Stade	Beckdorf	Buxtehude G 4	26.03. / 26.08.	23.03.	01.06.	15.06.
Stade	Engelschoff	Neuland UE 26 FI				02.10.
Stade	Fredenbeck	Schwinge I		23.03. / 26.10.	24.05.	15.06.
Stade	Fredenbeck	Wedel I	23.04. / 27.08.	23.03.	01.06.	06.04.
Stade	Hollern-Twielenfleth	Hollern I				06.04.
Stade	Horneburg, Flecken	Dollern G 3 (AB 045)		23.03. / 26.10.	01.06.	06.04.
Stade	Sauensiek	Revenahe I				06.04.
Stadt Braunschweig	Braunschweig, Stadt	Bienroder Weg MB77			11.05.	09.05.
Stadt Braunschweig	Braunschweig, Stadt	Timmerlah I		18.05. / 20.09.	16.05.	24.04.
Stadt Braunschweig	Braunschweig, Stadt	Walle (GF) I 2			23.05.	30.05.
Stadt Delmenhorst	Delmenhorst, Stadt	Neuendeel A			15.03.	27.02.
Stadt Emden	Emden, Stadt	Petkum I		20.04. / 26.10.	14.03.	13.06.
Stadt Oldenburg (Oldb)	Oldenburg (Oldb), Stadt	Klein-Bornhorst IV	03.03. / 20.10.	18.02. / 20.10.	14.03.	04.04.
Stadt Oldenburg (Oldb)	Oldenburg (Oldb), Stadt	Kreyenbrück I			14.03.	21.03.
Stadt Osnabrück	Osnabrück, Stadt	OS-Kreuzbreite			16.05.	09.10.
Stadt Osnabrück	Osnabrück, Stadt	OS-Limbergerstr. I			16.05.	09.10.
Uelzen	Altenmedingen	Groß Thondorf W F1.1		20.04.	24.05.	31.05.
Uelzen	Bienenbüttel	Wulfstorf B			30.03.	12.09.
Uelzen	Ebstorf, Flecken	Allenbostel A			30.03.	25.04.
Uelzen	Eimke	Eimke O G1	11.09.	20.04.	24.05.	31.05.
Uelzen	Lüder	Reinstorf (UE) G1	20.03. / 02.10.	16.03.	14.09.	24.04.
Uelzen	Rosche	Rosche G2			04.04.	26.04.
Uelzen	Rosche	Stütensen			14.09.	26.04.
Uelzen	Suderburg	Holxen N G1	20.03.			
Uelzen	Wriedel	Wulfsode G		20.04.	14.09.	31.05.
Vechta	Bakum	Carum I	23.04. / 23.09.	17.03. / 15.11.	07.06.	22.06.
Vechta	Damme, Stadt	Hüde I	09.04. / 09.09.	21.09.	09.06.	15.03.
Vechta	Damme, Stadt	Ihldorf	09.04. / 09.09.	21.09.	09.06.	15.03.
Vechta	Damme, Stadt	Südfelde	09.04. / 09.09.	21.09.	09.06.	15.03.
Vechta	Dinklage, Stadt	Langwege	23.04. / 16.09.	22.09.	27.04.	15.03.
Vechta	Dinklage, Stadt	Wulfenau I	19.03. / 23.09.	28.09.	27.04.	09.05.
Vechta	Goldenstedt	Einen	09.04. / 08.09.	16.11.	07.06.	06.03.
Vechta	Holdorf	Holdorf I	19.03. / 16.09.	22.09.	29.06.	15.03.
Vechta	Lohne (Oldenburg), Stadt	Krimpenfort I	23.04. / 17.09.	28.09.	29.06.	15.03.
Vechta	Lohne (Oldenburg), Stadt	Märschendorf I	23.04. / 17.09.	28.09.	29.06.	15.03.
Vechta	Lohne (Oldenburg), Stadt	Südlohne	23.04. / 17.09.	26.04. / 22.09.	29.06.	15.03.
Vechta	Neuenkirchen-Vörden	Westerhausen 9/3	19.03. / 16.09.	10.11.	23.05.	09.05.
Vechta	Visbek	Bullmühle	09.04. / 08.09.	16.11.	07.06.	06.03.
Verden	Achim, Stadt	UWO 151 N 13 Uesen			21.03.	21.06.
Verden	Dörverden	GUN 092 Dörverden	22.04. / 27.10.	23.11.	14.03.	04.04.
Verden	Dörverden	NA 089 N 12 Wahnebergen			22.03.	12.04.
Verden	Kirchlinteln	NA 090/1 Kirchlinteln			14.03.	04.04.
Verden	Ottersberg, Flecken	BDF 018/1 Fischerhude-Moorland		24.02. / 01.11.	12.04.	27.02.
Wesermarsch	Jade	Jaderberg			15.03.	21.02.
Wittmund	Esens, Stadt	Esens			28.03.	06.03.
Wittmund	Esens, Stadt	Westbense I	22.04. / 14.10.	27.04.	08.03.	06.03.
Wittmund	Friedeburg	Reepsholt-Ost			23.07.	26.04.
Wittmund	Neuschoo	Südmoor I	29.04. / 14.10.	27.04.	08.03.	17.04.
Wittmund	Wittmund, Stadt	Ardorf I	22.04. / 14.10.	27.04.	28.03.	05.04.
Wittmund	Wittmund, Stadt	Negenbargen I	22.04. / 14.10.	27.04.	08.03.	13.03.
Wittmund	Wittmund, Stadt	Webershausen I			26.04.	06.03.
Wolfenbüttel	Erkerode	Erkeroder_Quellen_Q2			11.05.	29.05.
Wolfenbüttel	Schladen-Werla	Gielde 2			03.05.	23.05.
Wolfenbüttel	Schladen-Werla	Schladen			27.04.	22.06.

Tab. A2: Analysedaten der Proben mit positiven Befunden der untersuchten Grundwassermessstellen.
 BG - Bestimmungsgrenze

Landkreis	Messstellen-Name	Eingangsdatum	in ng/l																						
			Sulfadiazin	N-Ac-Sulfadiazin	Sulfamethoxazol	Sulfamidin	4-OH-Sulfadiazin	Sulfamethoxypridazin	N-Ac-Sulfamethoxazol	Carbamazepin	Diclofenac	Ibuprofen	Iopamidol	Iopromid	Amidotrizeosäure	Bisoprolol	Clofibrinsäure	Erythromycin	Gabapentin	Metoprolol	Naproxen	Phenazon (Antipyrine)	Propyphenazon	Sotalol	
Cuxhaven	Abbenseth UE 129	26.03.2015	< BG	< BG	< BG	8,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Abbenseth UE 129	20.08.2015	< BG	< BG	< BG	6,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Abbenseth UE 129	31.03.2016	< BG	< BG	< BG	7,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Abbenseth UE 129	26.10.2016	< BG	< BG	< BG	12,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Abbenseth UE 129	24.05.2017	< BG	< BG	< BG	10,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Abbenseth UE 129	18.05.2018	< BG	< BG	< BG	7,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Achmer	16.05.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Achmer	24.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Goslar	Altkallmoden_GrSpring	15.10.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Helmstedt	Bahrdorf I	21.09.2016	< BG	< BG	< BG	1,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Helmstedt	Bahrdorf I	24.05.2017	< BG	< BG	< BG	1,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	BDF 016/1 Soltau-Tetendorf	29.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	BDF 016/1 Soltau-Tetendorf	19.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Celle	BDF 057 Starkshorn	30.05.2017	< BG	< BG	< BG	1,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bethen 2/6 I	16.04.2015	< BG	< BG	< BG	46,2	13,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bethen 2/6 I	23.09.2015	< BG	< BG	< BG	38,1	9,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bethen 2/6 I	26.04.2016	< BG	< BG	< BG	2,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bethen 2/6 I	26.10.2016	2,6	< BG	8,1	54,3	94,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bethen 2/6 I	30.03.2017	2,0	< BG	5,0	51,0	129,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bethen 2/6 I	18.04.2018	2,7	< BG	< BG	26,5	55,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Bexten	15.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Braunschweig	Bienroder Weg_MB77	11.05.2017	< BG	< BG	< BG	69,1	7,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Braunschweig	Bienroder Weg_MB77	09.05.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Bissenhausen	04.05.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bösel I	23.04.2015	< BG	< BG	< BG	129,8	9,5	< BG	< BG	< BG	7,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bösel I	22.09.2015	< BG	< BG	< BG	134,6	9,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bösel I	17.03.2016	< BG	< BG	< BG	88,7	5,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bösel I	20.10.2016	< BG	< BG	< BG	95,1	11,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bösel I	23.03.2017	< BG	< BG	< BG	69,1	7,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Bösel I	18.04.2018	< BG	< BG	< BG	57,3	8,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Lüneburg	Breetze A	28.03.2017	< BG	< BG	< BG	5,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Lüneburg	Breetze A	12.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Brogbern I	11.04.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	2,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Brogbern I	26.04.2018	2,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	11,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Carum I	23.04.2015	< BG	< BG	< BG	2,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Carum I	23.09.2015	< BG	< BG	< BG	2,0	< BG	< BG	< BG	< BG	5,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Carum I	17.03.2016	< BG	< BG	< BG	1,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Carum I	15.11.2016	< BG	< BG	< BG	2,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Carum I	07.06.2017	< BG	< BG	< BG	2,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Oldenburg	Coinrade I	28.02.2018	< BG	< BG	< BG	4,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG

Tab. A2: Analysedaten der Proben mit positiven Befunden der untersuchten Grundwassermessstellen.
 BG – Bestimmungsgrenze
 (Fortsetzung)

Landkreis	Messstellen-Name	Eingangdatum	in ng/l																					
			Sulfadiazin	N-Ac-Sulfadiazin	Sulfamethoxazol	Sulfamidin	4-OH-Sulfadiazin	Sulfamethoxypridazin	N-Ac-Sulfamethoxazol	Carbamazepin	Diclofenac	Ibuprofen	Iopamidol	Iopromid	Amidotrizoessure	Bisoprolol	Clofibrinsäure	Erythromycin	Gabapentin	Metoprolol	Naproxen	Phenazon (Antipyrine)	Propyphenazon	Sotalol
Rotenburg (Wümme)	Deinstedt UE 146	26.03.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotenburg (Wümme)	Deinstedt UE 146	26.08.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	19,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotenburg (Wümme)	Deinstedt UE 146	31.03.2016	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotenburg (Wümme)	Deinstedt UE 146	31.05.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	10,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	Deinstedt UE 146	25.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	6,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Echelerfeld I	24.02.2015	< BG	< BG	< BG	5,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Echelerfeld I	01.09.2015	< BG	< BG	< BG	4,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Echelerfeld I	27.04.2016	< BG	< BG	< BG	1,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Echelerfeld I	12.10.2016	< BG	< BG	< BG	3,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Echelerfeld I	06.04.2017	< BG	< BG	< BG	4,0	35,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Edewechterdamm I	14.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Edewechterdamm I	17.04.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Eggelogerfeld II	22.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	340,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Eggelogerfeld II	14.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	8,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Gifhorn	Ehra - Lessien I	04.05.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Gifhorn	Eischott_GWM H 2 (Wipperaller)	17.05.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Elbergen	23.09.2015	< BG	< BG	< BG	1,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Elbergen	31.08.2016	< BG	< BG	< BG	2,0	7,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Elbergen	15.03.2017	< BG	< BG	< BG	31,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Elbergen	26.04.2018	< BG	< BG	< BG	3,0	19,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Elisabethfehn I	14.03.2017	< BG	< BG	< BG	23,3	< BG	< BG	< BG	< BG	13,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Elisabethfehn I	17.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Wittmund	Esens	28.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Wittmund	Esens	06.03.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Flechum I	07.06.2017	< BG	< BG	< BG	4,0	< BG	< BG	< BG	< BG	5,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Flechum I	17.04.2018	< BG	< BG	< BG	3,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Fuhrberg-Süd	09.04.2015	< BG	< BG	< BG	4,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Fuhrberg-Süd	14.09.2015	< BG	< BG	< BG	9,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Fuhrberg-Süd	10.03.2016	< BG	< BG	< BG	8,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Fuhrberg-Süd	06.10.2016	< BG	< BG	< BG	10,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Fuhrberg-Süd	30.03.2017	< BG	< BG	< BG	9,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Fuhrberg-Süd	26.04.2018	< BG	< BG	< BG	6,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	GD 32 N 12 Lünzen	07.06.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	GD 34 N Wietzendorf	14.11.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	GD 35 N Trauen	22.04.2015	< BG	< BG	< BG	451,8	15,7	13,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	GD 35 N Trauen	27.10.2015	< BG	< BG	< BG	509,6	20,8	4,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	GD 35 N Trauen	29.09.2016	< BG	< BG	< BG	397,0	139,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	GD 35 N Trauen	14.11.2017	< BG	< BG	< BG	420,0	290,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Heidekreis	GD 35 N Trauen	06.06.2018	< BG	< BG	< BG	282,0	121,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Gildehaus Süd	15.03.2017	< BG	< BG	< BG	8,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG

Tab. A2: Analysedaten der Proben mit positiven Befunden der untersuchten Grundwassermessstellen.
 BG – Bestimmungsgrenze
 (Fortsetzung)

Landkreis	Messstellen-Name	Eingangsdatum	in ng/l																					
			Sulfadiazin	N-Ac-Sulfadiazin	Sulfamethoxazol	Sulfadimidin	4-OH-Sulfadiazin	Sulfamethoxy-pyridazin	N-Ac-Sulfamethoxazol	Carbamazepin	Diclofenac	Ibuprofen	Iopamidol	Amidotrizoessäure	Bisoprolol	Clofibrinsäure	Erythromycin	Gabapentin	Metoprolol	Naproxen	Phenazon (Antipyrine)	Propyphenazon	Sotalol	
Osnabrück	Grafeld	19.03.2015	< BG	< BG	< BG	11,3 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Grafeld	10.09.2015	< BG	< BG	< BG	12,9 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Grafeld	20.09.2016	< BG	< BG	< BG	7,4 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Grafeld	27.04.2017	< BG	< BG	< BG	10,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Grafeld	09.05.2018	< BG	< BG	< BG	7,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Oldenburg	Großenkneten I	28.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	31,7 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Haar I	17.03.2015	< BG	< BG	< BG	6,8 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Haar I	08.10.2015	< BG	< BG	< BG	5,3 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Haar I	12.10.2016	< BG	< BG	< BG	4,8 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Haar I	04.05.2017	< BG	< BG	< BG	6,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Haar I	07.06.2018	< BG	< BG	< BG	6,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Hollenstede	27.09.2016	< BG	< BG	< BG	6,8 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Hollenstede	23.05.2017	< BG	< BG	< BG	8,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Hüven I	15.03.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	14,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Isterberg	10.04.2018	< BG	< BG	< BG	2,5 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Kampe I	29.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Kampe I	17.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Emsland	Klein Berßen-Loherfeld	07.06.2018	< BG	< BG	< BG	2,6 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	6,5 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Oldenburg (Oldb)	Klein-Bornhorst IV	04.04.2018	< BG	< BG	< BG	2,6 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Kleinringewösten I	23.04.2015	< BG	< BG	< BG	18,9 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Kleinringewösten I	04.11.2015	< BG	< BG	< BG	13,4 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Kleinringewösten I	15.03.2016	< BG	< BG	< BG	10,8 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Kleinringewösten I	12.10.2016	< BG	< BG	< BG	11,7 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Kleinringewösten I	01.03.2017	< BG	< BG	< BG	14,6 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Kleinringewösten I	18.04.2018	< BG	< BG	< BG	10,4	7,8 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Kleinringewösten I	26.10.2016	< BG	< BG	< BG	2,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Oldenburg (Oldb)	Kreyenbrück I	14.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	449,0 < BG	< BG	48,2 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Oldenburg (Oldb)	Kreyenbrück I	21.03.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	349,0 < BG	< BG	48,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	LGD 013 N 13 Schwitschen	06.06.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	11,4 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	LGD 014 N 13 Sothel	19.10.2016	< BG	< BG	< BG	7,6 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	LHH:: 040070 Schwarze Heide Trafo	21.06.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	LHH:: 040070 Schwarze Heide Trafo	10.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	LHH:: 041174 Fritz-Behrens-Allee / Emmic	21.06.2017	< BG	< BG	< BG	2,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Hildesheim	LK-HI:: Moorberg GWM 5-02	20.06.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	13,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Lohe I	22.09.2015	< BG	< BG	< BG	8,6 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	9,2 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Lohe II (neu)	17.03.2016	< BG	< BG	< BG	6,6	15,5 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Markhausen-BDF	23.04.2015	< BG	< BG	< BG	7,8 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Markhausen-BDF	23.09.2015	< BG	< BG	< BG	6,1 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Markhausen-BDF	17.03.2016	< BG	< BG	< BG	6,1	10,6 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Markhausen-BDF	20.10.2016	< BG	< BG	< BG	11,8	21,0 < BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG

Tab. A2: Analysedaten der Proben mit positiven Befunden der untersuchten Grundwassermessstellen.
 BG – Bestimmungsgrenze
 (Fortsetzung)

Landkreis	Messstellen-Name	Eingangsdatum	in ng/l																						
			Sulfadiazin	N-Ac-Sulfadiazin	Sulfamethoxazol	Sulfamidin	4-OH-Sulfadiazin	Sulfamethoxyprydazin	N-Ac-Sulfamethoxazol	Carbamazepin	Diclofenac	Ibuprofen	Iopamidol	Iopromid	Amidotrizoessure	Bisoprolol	Clofibrinsäure	Erythromycin	Gabapentin	Metoprolol	Naproxen	Phenazon (Antipyrene)	Propyphenazon	Sotalol	
Cloppenburg	Markhausen-BDF	23.03.2017	< BG	< BG	< BG	8,2	22,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cloppenburg	Markhausen-BDF	18.04.2018	< BG	< BG	< BG	6,4	13,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Lüchow-Dannenberg	Nemitz G1	11.05.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Neubruichhausen I	01.04.2015	< BG	< BG	< BG	349,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Neubruichhausen I	03.09.2015	< BG	< BG	< BG	539,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Neubruichhausen I	07.04.2016	< BG	< BG	< BG	143,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Neubruichhausen I	13.10.2016	< BG	< BG	< BG	629,4	< BG	< BG	< BG	7,6	> BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Neubruichhausen I	23.03.2017	< BG	< BG	< BG	444,0	< BG	< BG	< BG	23,6	< BG	< BG	< BG	< BG	584,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Neubruichhausen I	07.03.2018	< BG	< BG	< BG	30,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Neu-Ebersdorf UE 60	31.03.2016	< BG	< BG	< BG	1,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	Niederrochtenhausen UE 130 FI	31.03.2016	< BG	< BG	< BG	1,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	Niederrochtenhausen UE 130 FI	24.05.2017	< BG	< BG	< BG	1,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Nordholz I	20.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	19,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Nordhorn II	23.04.2015	< BG	< BG	< BG	5,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Nordhorn II	23.09.2015	< BG	< BG	< BG	17,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Nordhorn II	15.03.2016	< BG	< BG	< BG	6,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Nordhorn II	12.10.2016	< BG	< BG	< BG	9,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Nordhorn II	15.06.2017	< BG	< BG	< BG	9,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Nordhorn II	10.04.2018	< BG	< BG	< BG	5,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Nordleda UE 104 FI	21.04.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Leer	Nortmoor-Rüscheweg I	25.04.2018	< BG	< BG	< BG	2,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Hamel-Pyrmont	Ohr 1	22.05.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Osnabrück	OS-Limbergerstr. I	16.05.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Osnabrück	OS-Limbergerstr. I	09.10.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Rastederberg I	22.04.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Rastederberg I	24.09.2015	< BG	< BG	< BG	8,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Rastederberg I	25.02.2016	< BG	< BG	< BG	8,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Rastederberg I	20.10.2016	< BG	< BG	< BG	11,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Rastederberg I	15.03.2017	< BG	< BG	< BG	12,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Rastederberg I	21.02.2018	< BG	< BG	< BG	10,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ammerland	Rastederberg I	14.09.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Uelzen	Reinstorf (UE) G1	26.10.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Lüchow-Dannenberg	Schmarsau F1	04.03.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Schneeren: 111	09.09.2015	< BG	< BG	< BG	2,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Schneeren: 111	09.03.2016	< BG	< BG	< BG	3,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Schneeren: 111	04.10.2016	< BG	< BG	< BG	2,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Region Hannover	Schneeren: 111	17.05.2017	< BG	< BG	< BG	4,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Schwege	14.09.2017	< BG	< BG	< BG	1,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Uelzen	Stütensen	16.09.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Südfelde	09.06.2017	< BG	< BG	< BG	1,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG

Tab. A2: Analysedaten der Proben mit positiven Befunden der untersuchten Grundwassermessstellen.
 BG – Bestimmungsgrenze
 (Fortsetzung)

Landkreis	Messstellen-Name	Eingangsdatum	in ng/l																					
			Sulfadiazin	N-Ac-Sulfadiazin	Sulfamethoxazol	Sulfamidin	4-OH-Sulfadiazin	Sulfamethoxyprydazin	N-Ac-Sulfamethoxazol	Carbamazepin	Diclofenac	Ibuprofen	Iopamidol	Iopromid	Amidotrizesäure	Bisoprolol	Clofibrinsäure	Erythromycin	Gabapentin	Metoprolol	Naproxen	Phenazon (Antipyrene)	Propyphenazon	Sotalol
Vechta	Südlöhne	23.04.2015	< BG	< BG	9,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Südlöhne	17.09.2015	< BG	< BG	10,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Südlöhne	22.09.2016	< BG	< BG	8,0	1,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Südlöhne	29.06.2017	< BG	< BG	11,0	2,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Vechta	Südlöhne	15.03.2018	< BG	< BG	8,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	8,0
Heidekreis	UAV 14 N 12 Neu Bosse	12.04.2018	< BG	< BG	< BG	2,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cuxhaven	Uthiede-UWO 133 FI	09.06.2017	< BG	< BG	< BG	2,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	UWO 026/1 Jeersdorf N	18.10.2016	< BG	< BG	< BG	1,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	UWO 031 Riekenbostel	29.04.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	7,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Verden	UWO 151 N 13 Uesen	21.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	115,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Verden	UWO 151 N 13 Uesen	21.06.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	45,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osterholz	UWO 167/1 Saatmoor	27.02.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osterholz	Vehnemoor I	23.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Vehs	19.03.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	330,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Vehs	17.09.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	122,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Vehs	10.11.2016	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	40,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Vehs	27.04.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	38,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Vehs	09.10.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	168,0	8,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Nienburg (Weser)	Voigtel	22.10.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	3,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Nienburg (Weser)	Voigtel	10.11.2016	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Nienburg (Weser)	Voigtel	23.03.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Vollflage I	27.04.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Vollflage I	24.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Gifhorn	Wahrenholz I	30.05.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stadt Braunschweig	Waile (GF) I 2	30.05.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Stade	Wedel I	06.04.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Holzminde	Wegensen I	22.05.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Diepholz	Wehrbleck	07.03.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Lüchow-Dannenberg	Weitsche F1	11.05.2017	8,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Lüchow-Dannenberg	Weitsche F1	11.05.2018	5,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Lüchow-Dannenberg	Weitsche F1	12.09.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Harburg	Wenzendorf G1	27.04.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Goslar	Wiedelah A1	27.04.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Goslar	Wiedelah A1	22.06.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Wietmarschen-Lohne I	23.04.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Wietmarschen-Lohne I	23.09.2015	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	9,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Wietmarschen-Lohne I	06.04.2016	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	5,4	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Wietmarschen-Lohne I	12.10.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	7,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Wietmarschen-Lohne I	13.06.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Grafschaft Bentheim	Wietmarschen-Lohne I	01.03.2018	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Woltrup-Wehbergen	16.09.2015	2,6	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	19,8	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG

Tab. A2: Analysedaten der Proben mit positiven Befunden der untersuchten Grundwassermessstellen.
 BG – Bestimmungsgrenze
 (Fortsetzung)

Landkreis	Messstellen-Name	Eingangsdatum	Sulfadiazin	N-Ac-Sulfadiazin	Sulfamethoxazol	Sulfadimidin	4-OH-Sulfadiazin	Sulfamethoxypridazin	N-Ac-Sulfamethoxazol	Carbamazepin	Diclofenac	Ibuprofen	Iopamidol	Iopromid	Amidotrizoensäure	Bisoprolol	Clotirinsäure	Erythromycin	Gabapentin	Metoprolol	Naproxen	Phenazon (Antipyrene)	Propyphenazon	Sotalol
Osnabrück	Woltrup-Wehbergen	27.04.2016	< BG	< BG	< BG	1,1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Osnabrück	Woltrup-Wehbergen	10.11.2016	7,4	< BG	< BG	24,1	20,0	< BG	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Osnabrück	Woltrup-Wehbergen	23.05.2017	8,0	< BG	< BG	22,0	52,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Osnabrück	Woltrup-Wehbergen	15.05.2018	5,0	< BG	< BG	15,0	19,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Uelzen	Wulfsoede G	14.09.2017	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	40,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	Zeven II	29.04.2015	< BG	< BG	< BG	2,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotenburg (Wümme)	Zeven II	26.08.2015	< BG	< BG	< BG	3,5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotenburg (Wümme)	Zeven II	31.03.2016	< BG	< BG	< BG	2,9	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotenburg (Wümme)	Zeven II	26.10.2016	< BG	< BG	< BG	3,2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotenburg (Wümme)	Zeven II	31.05.2017	< BG	< BG	< BG	2,0	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Rotenburg (Wümme)	Zeven II	25.04.2018	< BG	< BG	< BG	3,3	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG

Tab. A3: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der untersuchten Wirkstoffe und Transformationsprodukte in Abhängigkeit vom untersuchenden Labor im Rahmen der Schwerpunktuntersuchung in viehstarken Gebieten und des landesweiten Screenings (verändert nach NLWKN 2018).

Parameter	Labor GWA Umweltanalytik		Labor NLWKN
	Nachweisgrenze	Bestimmungsgrenze	Bestimmungsgrenze*
	in ng/l		in ng/l
Sulfadiazin	2	6	2
4-Hydroxy-Sulfadiazin	6	18	6
N-Acetyl-Sulfadiazin	2	6	2
Sulfamethoxazol	4	6	4
N-Acetyl-Sulfamethoxazol	6	18	6
Sulfadimidin	2	6	1
Sulfamerazin	2	6	2
Sulfathiazol	2	6	2
Sulfadoxin	2	6	2
Sulfaethoxypyridazin	2	6	2
Sulfamethoxypyridazin	2	6	2
Sulfachloropyridazin	6	18	2
Sulfadimethoxin	2	6	2
Trimethoprim	2	6	2
Carbamazepin	0,3	0,9	5

* Aufgrund der niedrigen Bestimmungsgrenze keine Nachweisgrenze benannt.

