Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen

Grundwassergefährdung durch undichte Kanäle

Literaturauswertung und Auswertung der Analysenergebnisse der landesweiten Grundwassermessstellen in NRW

LANUV-Fachbericht 43

www.lanuv.nrw.de

Grundwassergefährdung durch undichte Kanäle

Literaturauswertung und Auswertung der Analysenergebnisse der landesweiten Grundwassermessstellen in NRW

LANUV-Fachbericht 43

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2012

IMPRESSUM

Herausgeber:
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Bearbeitung:
Dr. Sabine Bergmann, Dr. Wolfgang Leuchs, Dr. Kurt Harff (LANUV)

Stand der Untersuchungen und Ergebnisse: April 2012

Fachredaktion:
Dr. Sabine Bergmann, Dr. Wolfgang Leuchs

Karten:
Geobasisdaten © Geobasis NRW

Titelfoto:
© Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH (IKT)

ISSN :
1864-3930 LANUV-Fachberichte

Informations-
dienste:
Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschafts-
dienst:
Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhalt

Impressum **2**

Inhalt **3**

1. Veranlassung und Vorbemerkungen **5**

2. Ergebnisse der Literaturauswertung **6**

2.1 Feststellung der Abwasserexfiltration durch Grundwasseruntersuchungen in Städten .6

2.2 Sickerwasseruntersuchungen und Untersuchungen des Exfiltrationspotenzials 11

2.3 Bedeutung für Grundwassernutzungen und Trinkwassergewinnung 12

3. Auswertung nordrhein-westfälischer Grundwasseranalysen **13**

3.1 Datengrundlage und Methodik 13

3.1.1 Datenquelle.....13
3.1.2 Parameterauswahl.....15
3.1.3 Berücksichtigung weiterer Faktoren 16
3.1.4 Datenanalyse.....17
3.1.5 Bewertungskriterien.....17
3.1.6 Fragestellungen.....19

3.2 Ergebnisse der landesweiten Datenauswertung in NRW.....20

3.2.1 Anzahl der ausgewerteten Grundwassermessstellen.....20
3.2.2 Siedlungs- und Verkehrsfläche in NRW 21
3.2.3 Auftreten von Indikatorstoffen im Grundwasser in Abhängigkeit von der Landnutzung.....22
3.2.4 Relevanz weiterer Einflussfaktoren 36
3.2.5 Regionalisierte Betrachtungen (Beispielhafte Kartenausschnitte).....40

4. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen **49**

5. Literaturverzeichnis **54**

ANHANG 1: Kommentierte Literaturliste, Stand 27.03.2012 .....**57**

ANHANG 2: Literatursteckbriefe **61**

1. Veranlassung und Vorbemerkungen

Vor dem Hintergrund der Neufassung der Regelungen zur Prüfung des Zustands und der Funktionsfähigkeit privater Abwasserleitungen wurden Auswertungen der wichtigsten i.W. nationalen Literaturstellen und Vortragsveröffentlichungen sowie der Grundwasserdaten in Nordrhein-Westfalen im Hinblick auf die Grundwassergefährdung durch undichte Kanäle vorgenommen.

Grundlage für die Literaturauswertung war eine vom Umweltministerium Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) zur Verfügung gestellte Literaturliste, die vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) weiter fortgeschrieben wurde (Anhang 1). Die Literaturstellen wurden im Hinblick auf die Fragestellung geprüft und bewertet. Es handelt sich um Veröffentlichungen, bei denen der Bezug zwischen Kanalleckagen und Grundwasser- bzw. Sickerwasser erkennbar ist und spezifische Grundwasser- und Bodenuntersuchungen durchgeführt wurden. Kurzbeschreibungen und Hinweise zur Art der Studien, zum Untersuchungsansatz, zu den Untersuchungsergebnissen sowie eine Bewertung des LANUV finden sich in den beigefügten 13 Literatursteckbriefen (Anhang 2).

Das Ergebnis der Literaturauswertung wird in Kapitel 2 zusammengefasst dargestellt. Weiterhin wird auf die Bedeutung der Ergebnisse für Grundwassernutzungen und die Trinkwassergewinnung eingegangen und ein erstes Fazit gezogen.

Darüber hinaus wurden die in der Landesdatenbank HYGRIS-C verfügbaren landesweiten Grundwasserdaten von Messstellen im urbanen Raum - im Vergleich zu Messstellen anderer Landnutzungseinflüsse - im Hinblick auf abwasserrelevante Parameter statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der nordrhein-westfälischen Grundwasserauswertungen sind in Kapitel 3 beschrieben.

2. Ergebnisse der Literaturauswertung

2.1 Feststellung der Abwasserexfiltration durch Grundwasseruntersuchungen in Städten

Eingehend untersucht und in der Literaturauswertung dargestellt sind die Effekte der Exfiltration aus Abwasserkanälen für das Grundwasser in den Städten Rastatt, Karlsruhe, Linz (Oberösterreich), Leipzig, Halle und Darmstadt. Neben dem Abwassereinfluss wird das urbane Grundwasser noch von anderen Emissionsquellen überprägt.

Die Zuordnung der spezifischen Grundwasserverunreinigungen zu vorhandenen Eintragsquellen (z.B. Streusalzanwendung; Landwirtschaft; Industrie; Abwasserkanäle, geogene Belastungen etc.) wurde von verschiedenen Autoren durch Verfahren der multivariaten Statistik (Faktorenanalyse, Clusteranalyse, Multikomponentenanalyse) vorgenommen, so dass eine separierte Auswertung der abwasserbürtigen Stoffeinträge möglich ist (z.B. Musolff et al. 2007, Beier M. 2008).

Grundsätzlich konnte für alle genannten Städte ein deutlicher abwasserbürtiger Einfluss auf die Grundwasserqualität festgestellt werden. Dies ist anhand der für Abwassereinflüsse charakteristischen Erhöhung anorganischer Indikatorstoffe (z.B. Ammonium, Bor, Natrium, Kalium, Chlorid) festzustellen. Begleitend sind in den betroffenen Grundwässern auch anthropogene Spurenstoffe aus der Gruppe der Humanarzneistoffe (z.B. Carbamazepin, Clofibrinsäure, Metoprolol, Solatol), Röntgenkontrastmittel (z.B. Amidotrizoesäure), Körperpflegeprodukte (synthetische Moschusverbindungen Tonalid, Galaxolid), weit verbreitete Industriestoffe mit endokriner Wirkung (Bisphenol A, Nonylphenol), Komplexbildner (EDTA, NTA), TTCP, oder auch Koffein, D-Limonen (Zitrus-Duftstoff) feststellbar, soweit die betreffenden Stoffe untersucht worden sind. Daneben werden auch Keime wie z.B. E.coli, Fäkalstreptokokken, Enterokokken gefunden.

In den Abbildungen 1 bis 3 ist die räumliche Konzentrationsverteilung ausgewählter anorganisch-chemischer Abwasserindikatoren im Grundwasser des Stadtgebiets Rastatt (Wolf 2006) dargestellt, die freundlicherweise vom Autor Herrn Dr. Leif Wolf für diese Arbeit zur Veröffentlichung freigegeben wurden. Insbesondere bei Bor zeigt sich, dass innerhalb des Stadtgebietes höhere Konzentrationen gefunden werden als in den ländlich strukturierten Außenbereichen.

Beier (2008) findet im Stadtgebiet Darmstadt und im nördlichen Stadtteil Arheilgen Kalium-Konzentrationen bis zu 250 mg/L, die deutlich über denen des Außenbereichs liegen.

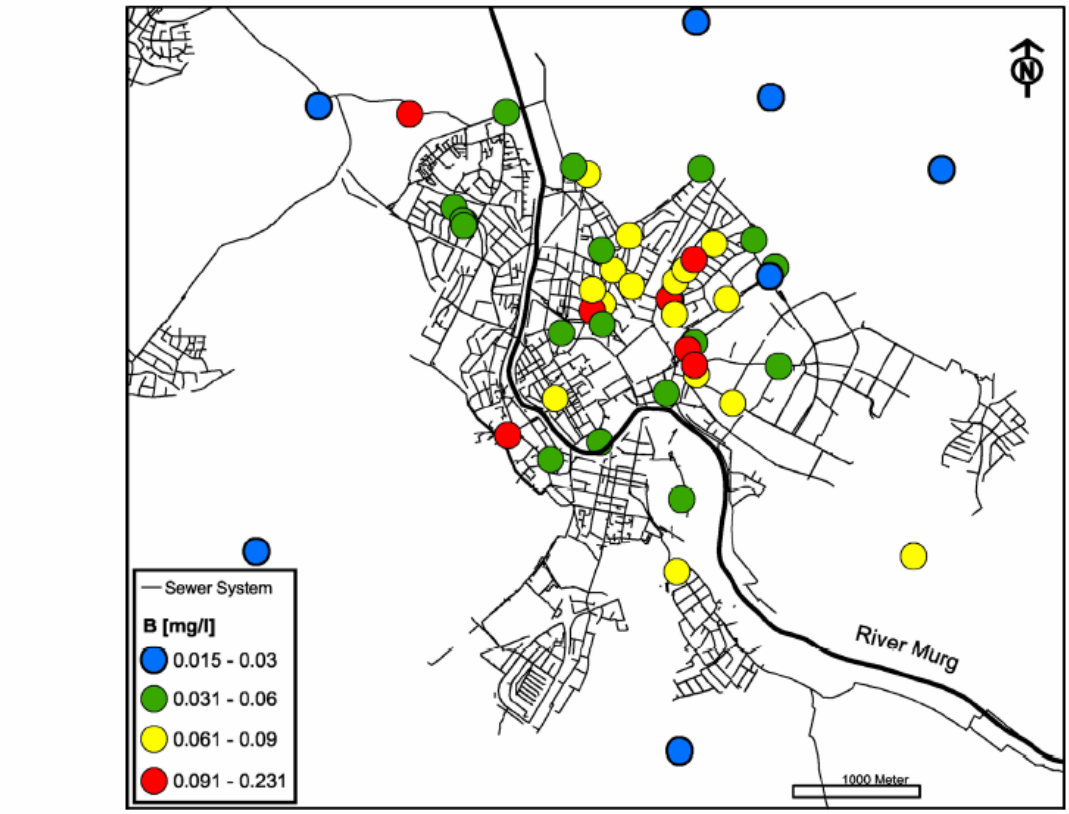


Abb. 1: **Bor-Konzentrationen** im Grundwasser der Stadt Rastatt (Wolf 2006)

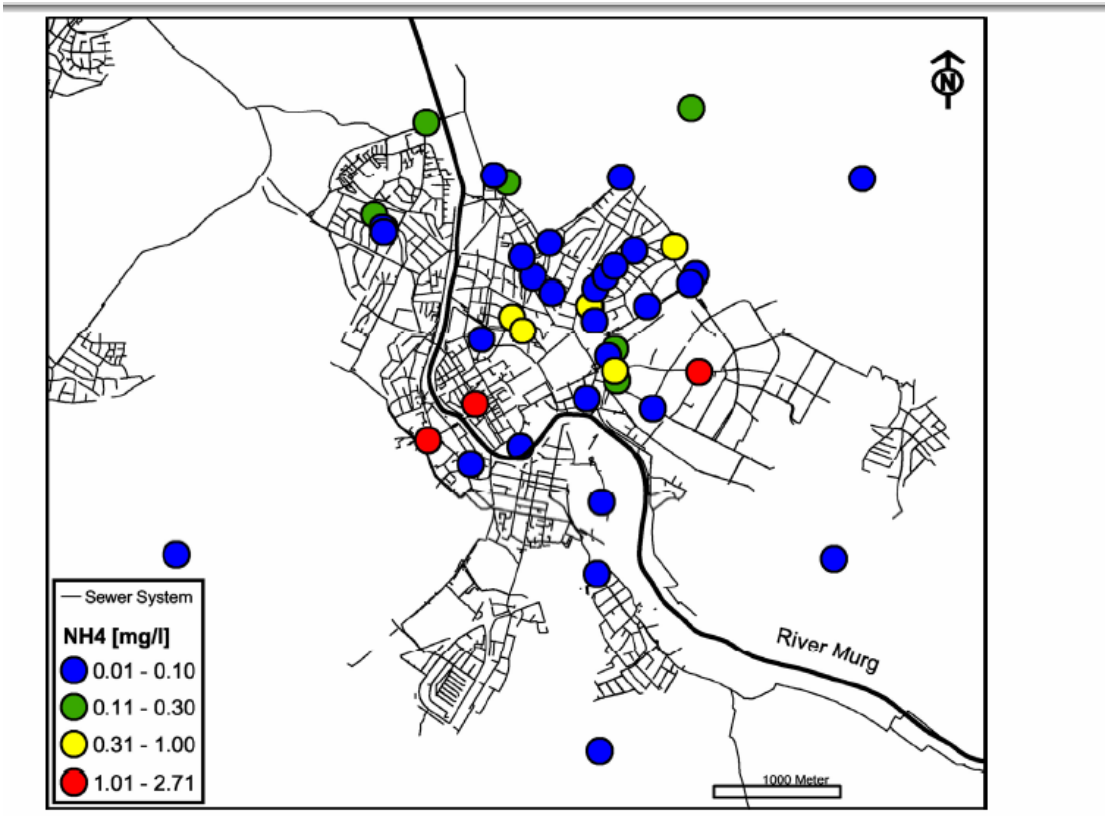


Abb. 2: **Ammonium-Konzentrationen** im Grundwasser der Stadt Rastatt (Wolf 2006)

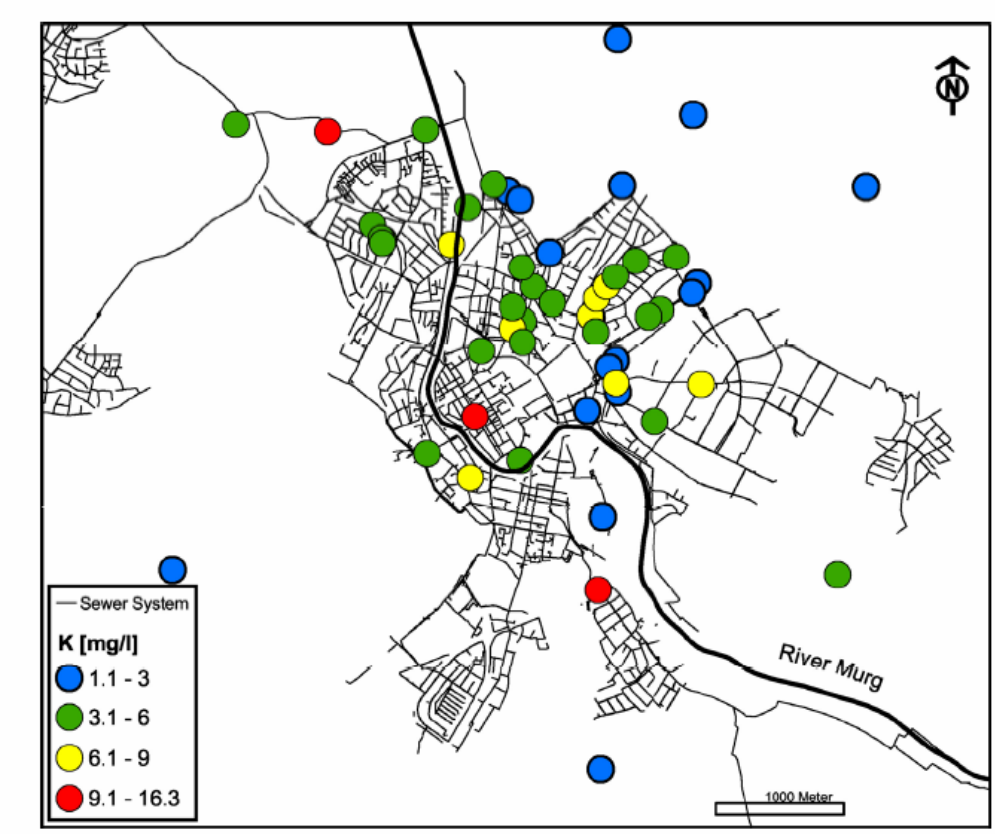


Abb. 3: **Kalium-Konzentrationen** im Grundwasser der Stadt Rastatt (Wolf 2006)

Zur Feststellung abwasserbedingter Beeinflussungen der Grundwasserqualität können in Siedlungsabwässern ubiquitär enthaltene Xenobiotika (z.B. Arzneistoffe, sog. Personal Care Products, Kosmetika, Waschmittelzusätze etc.) als Tracer verwendet werden. Eindrucksvoll konnte der Nachweis von Xenobiotika in urbanen Grundwasserleitern im Zusammenhang mit Kanalleckagen u.a. in den Städten Linz (Fenz et al 2005), Halle (Reinstorf et al. 2006), Leipzig (Musolff et al. 2007) und Rastatt (Wolf 2006) geführt werden. Als Beispiel hierfür ist die Verteilung von Befunden der beiden Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure und Ioxithalaminsäure im urbanen Grundwasser der Stadt Rastatt dargestellt (Abb. 4 und 5).

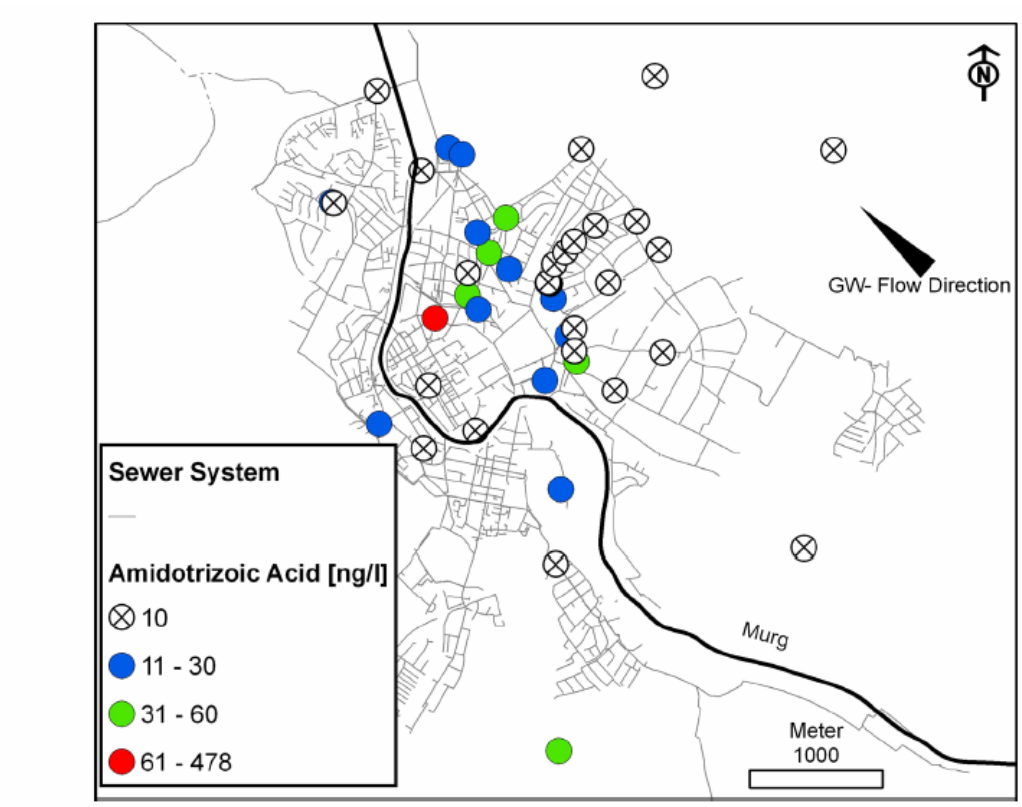


Abb. 4: Konzentrationen des Röntgenkontrastmittels **Amidotrizoesäure** im Grundwasser der Stadt Rastatt (Wolf 2006)[1]

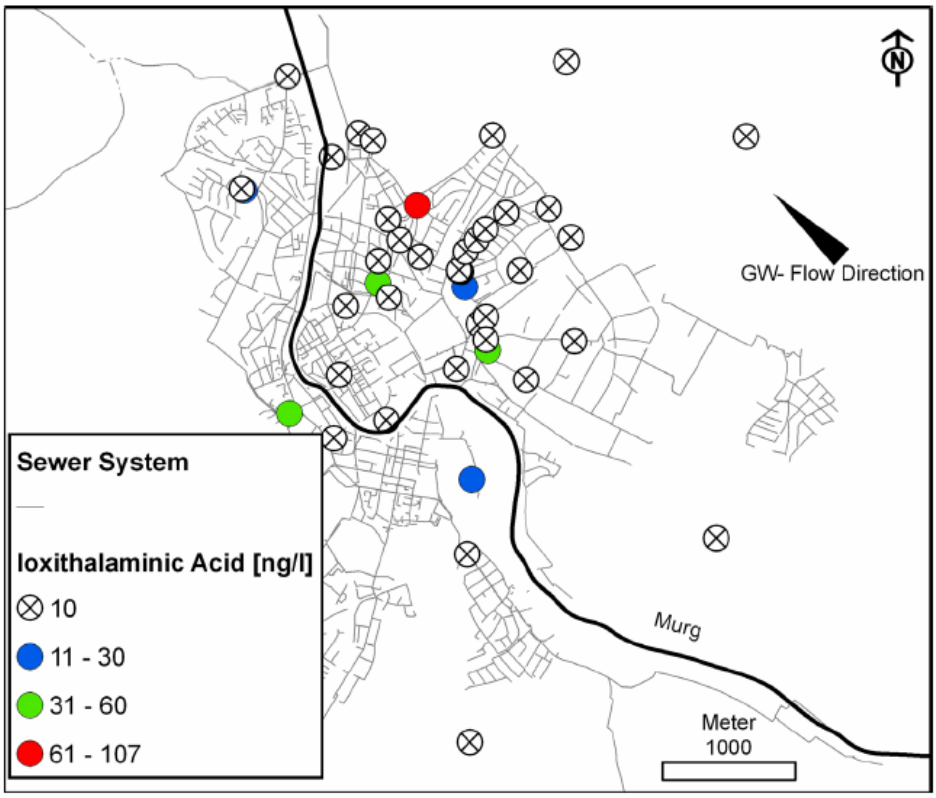


Abb. 5: Konzentrationen des Röntgenkontrastmittels **Ioxithalaminsäure** im Grundwasser der Stadt Rastatt (Wolf 2006)[1]

[1] Mit freundlicher Genehmigung des Autors

Da mit dem ungeklärten Abwasser auch (Fäkal-)Keime eingetragen werden können, kommen auch mikrobiologische Parameter in Betracht. Grundwasserdaten (Grund- und Rohwasser) liegen zu den mikrobiologischen Parametern und Indikatorparametern der Trinkwasserverordnung vor, die häufig in den Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen seitens der Anlagenbetreiber im Rahmen der Rohwasserüberwachung und Kontrolle des Einzugsgebietes untersucht werden (Abb. 6 und 7).

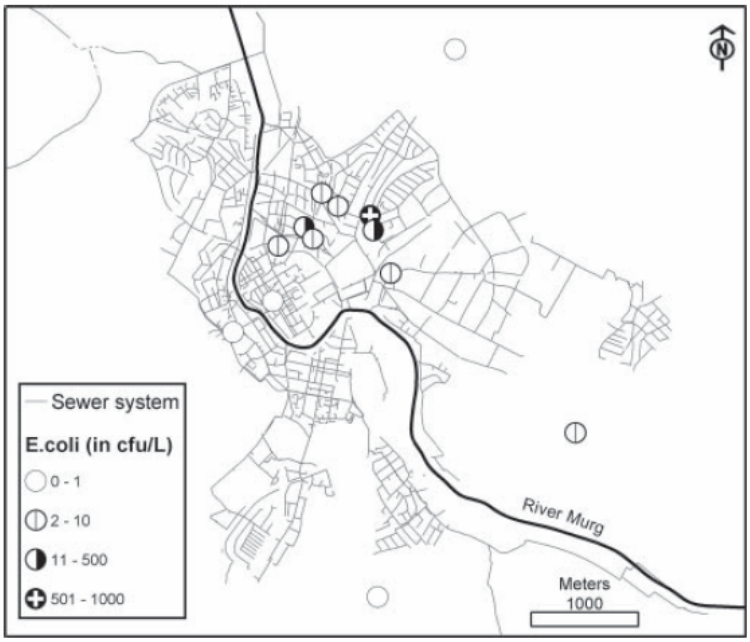


Abb. 6 E. coli-Befunde im Grundwasser der Stadt Rastatt (Paul et al. 2004)[2]

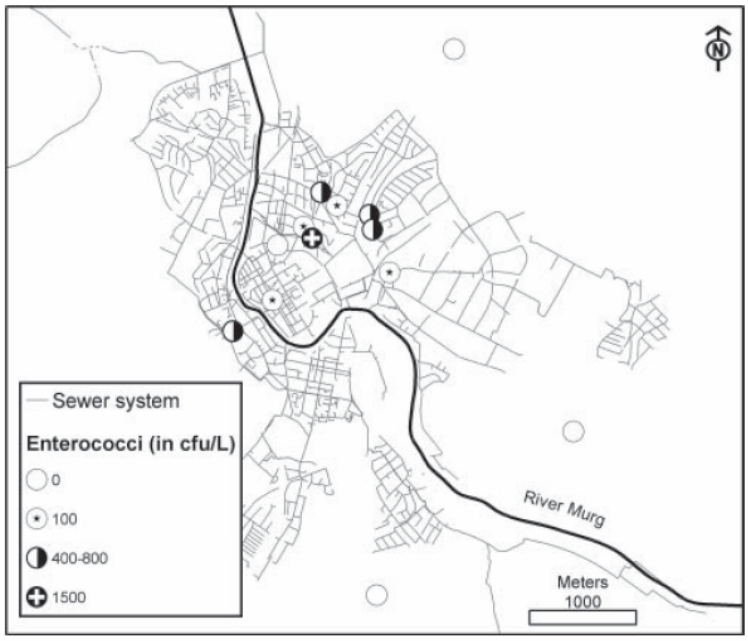


Abb. 7: **Enterokokken**-Befunde im Grundwasser der Stadt Rastatt (Paul et al. 2004)[2]

[2] Mit freundlicher Genehmigung von H. Dr. Leif Wolf

Insbesondere sind Belastungen des Grundwassers infolge von Kanalleckagen in gut durchlässigen Grundwasserleitern (z.B. quartäre Porengrundwasserleiter), bei relativ niedrigem Abstand zwischen Kanalrohren und der Grundwasseroberfläche sowie in gering mächtigen Grundwasserleitern zu erwarten und festzustellen. Befindet sich eine gering wasserdurchlässige bzw. wasserundurchlässige Schicht (z.B. Tonführende Schicht, Lehm- oder Lössschicht) zwischen Abwasserkanal und Grundwasserleiter können die Effekte geringer sein oder auch fehlen. Dies trifft auch für sandige Standorte zu, wenn der Abstand zum Grundwasser sehr groß ist. Bisher wurden fast ausschließlich Gebiete in Poren-Grundwasserleitern untersucht, die auch für Nordrhein-Westfalen typisch und bedeutend sind. In stark versiegelten Stadtteilen kommt hinzu, dass sich das Grundwasser zu einem hohen Anteil durch Exfil tration aus Kanalleckagen erneuert (vgl. Untersuchungen in Darmstadt, Beier 2008). Unter ungünstigen Voraussetzungen können sich die Konzentrationen im Grundwasser punktuell der Konzentration im Abwasserkanal annähern. Bei Stoffen, die sich im Grundwasser anreichern, können sie sogar höher sein (mögliche Erklärung z.B. für die Bisphenol A-Befunde im Grundwasser der Stadt Halle).

Die Belastungen weisen innerhalb eines Stadtgebietes sowie im Vergleich zwischen unterschiedlichen Städten / Stadtteilen räumlich sehr starke Unterschiede auf. Es wurden aber immer Abwassereinflüsse festgestellt. Schadstofffahnen aus punktförmigen oder linienhaft vorhandenen Leckagen können sich überlagern. Vereinzelt lassen sich Hot-Spots identifizieren, die auch ganze Stadtteile betreffen. Bei Hot-Spot-Situationen, z.B. in Rastatt, konnte in der Regel ein Bezug zum defekten Kanal hergestellt werden. Die beeinflussten Grundwassermessstellen liegen dort im unmittelbaren Grundwasserunterstrom von undichten Kanälen.

2.2 Sickerwasseruntersuchungen und Untersuchungen des Exfiltrationspotenzials

Wichtig für die Relevanz einer Kanalleckage sind verschiedene Randbedingungen. Zur Ausbildung einer Kolmationsschicht („Selbstabdichtung“ durch Ablagerungsprozesse im Bodenfilter) kommt es v.a. bei gleichbleibenden Fließbedingungen. Die Kolmationsschichten führen zu einer Minderung des tatsächlichen Austrages, niemals aber zu einer vollständigen Abdichtung. Durch mikrobiologische Abbauprozesse und die damit verbundene Gasbildung kann unter bestimmten Bedingungen die Kolmationsschicht wieder zerstört werden. Weiterhin wirken sich um das Kanalniveau schwankende Grundwasserstände negativ auf die Kolmation aus, da Exfiltrations- und Infiltrationsbedingungen häufig wechseln. Einige Inhaltsstoffe des Abwassers können in der Bodenzone abgebaut und/oder zurückgehalten werden. Mit abnehmendem Abstand zwischen Kanalsohle und Grundwasseroberfläche, abnehmendem Tongehalt und abnehmender natürlicher organischer Substanz des Bodens verringert sich die Rückhalte- und Abbauleistung der Bodenschichten. Umgekehrt nimmt das Grundwassergefährdungspotenzial zu. Weiterhin ist im Bereich der Undichtigkeit mit wechselnden oxischen/anoxischen Bedingungen zu rechnen, die zu mikrobiellen Abbau- und Umbauvorgängen führen. Diese Aspekte wurden in verschiedenen Laborversuchen näher untersucht. In den Versuchen wurde üblicherweise mit sandigem Versuchbodenmaterial gearbeitet. In den

Abläufen solcher Versuchssäulen wurde festgestellt, dass Abwasserinhaltsstoffe retardiert und abgebaut werden. Gleichwohl kam es nicht zur dauerhaften Rückhaltung oder vollständigen Elimination der betrachteten Stoffe oder Keime.

2.3 Bedeutung für Grundwassernutzungen und Trinkwassergewinnung

Die abwasserbürtigen Belastungen des Grundwassers, die innerhalb Stadtgebieten mehr oder weniger regelmäßig festzustellen sind, können sich nachteilig auf Grundwassernutzungen (Bewässerung, Brauchwasser-, Trinkwassergewinnung) auswirken. Betroffen können vorhandene Privatbrunnen, Grundwasserentnahmen in Stadtgebieten sowie Wasserwerke und Notversorgungsanlagen sein, die im städtischen oder stadtnahen Bereich angesiedelt sind. Hierzu ist anzumerken, dass es für anthropogene Spurenstoffe in der Regel keine Trinkwassergrenzwerte gibt und die Trinkwasseraufbereitung üblicherweise nicht auf die Elimination dieser Stoffe ausgerichtet ist.

In Österreich wurden die Ergebnisse zu den in abwasserbeeinflussten Grundwassermessstellen ermittelten Carbamazepin-Befunden aus Sicht des Umweltbundesamtes in Wien vor diesem Hintergrund diskutiert (Schramm et al. 2006). Bei Anwesenheit von Carbamazepin im Grundwasser als geeignetem konservativem Indikatorstoff, der

- im Siedlungsabwasser „ubiquitär“ vorhanden ist,
- so gut wie nicht abgebaut und im Boden nicht adsorbiert wird,

ist aus Sicht der Autoren davon auszugehen, dass dann gleichzeitig noch mit weiteren abwasserbürtigen Stoffen oder Mikroorganismen zu rechnen ist, für die ggf. keine Parameterwerte festgesetzt sind, oder die gar nicht untersucht wurden und die (ggf. auch durch additive Wirkungen) die Rohwasser- bzw. Trinkwasserqualität ebenfalls beeinträchtigen können.

Die im Grundwasser festgestellten Konzentrationen der untersuchten Xenobiotika liegen meist unterhalb des allgemeinen Vorsorgewertes von 0,1 µg/L (UBA 2011), in Einzelfällen aber auch (deutlich) darüber. Insgesamt geht aus den in der Literatur verfügbaren Messdaten hervor, dass der Grundwasserzustand in urbanen Grundwasserleitern hinsichtlich Humanarzneistoffen und anderen Xenobiotika durchaus mit der Belastungssituation in abwasserbeeinflussten Oberflächengewässern vergleichbar ist.

3. Auswertung nordrhein-westfälischer Grundwasseranalysen

Vor dem Hintergrund der Literaturergebnisse wurden die in der Grundwasserdatenbank HYGRIS-C des Landes NRW abgespeicherten Daten im Hinblick auf abwassertypische Parameter an siedlungsbeeinflussten Messstellen im Vergleich zu Wald-, Acker- und Grünlandbeeinflussten Messstellen geprüft.

3.1 Datengrundlage und Methodik

3.1.1 Datenquelle

In HYGRIS-C liegen aktuelle Gütedaten zu mehr als 3.600 aktiven Grundwassermessstellen vor. Die jeweilige Anzahl Messstellen, zu denen Messdaten im Betrachtungszeitraum vorliegen, variiert je nach Parameter (s.u.).

Enthalten und bei den Auswertungen berücksichtigt sind

- Messstellen des Landesgrundwassermessdienstes (LGD, Messprogramm 50),
- Grundwassermessstellen anderer Betreiber (Messprogramm 53) und
- Rohwassermessstellen der Wasserversorgungsunternehmen (Messprogramm 52).

Den Messstellen sind die im Einzugsgebiet jeweils vorherrschenden Landnutzungseinflüsse in HYGRIS-C datentechnisch fest zugeordnet:

- Bebauung/Besiedlung,
- Acker,
- Grünland,
- Wald,
- Sonstige: z.B. Feuchtflächen, Wasserflächen etc.,

so dass varianzanalytische Auswertungen zu den Hauptnutzungseinflüssen Besiedlung, Acker, Grünland, Wald sowie statistische Vergleiche zwischen „Siedlungs-„ und „Waldmessstellen“ möglich sind. Die Zuordnung der Landnutzungseinflüsse basiert auf den ATKIS-Landnutzungsdaten (Zuordnung der Einzugsgebiete: vgl. Abb. 8).

Zusätzlich zu den Messstellen sind auch die punktuellen Nutzungseinflüsse datentechnisch erfasst, d.h. die unmittelbar am Ort der Messstelle vorhandenen Nutzungen (sog. Punkt-Nutzung).

Die Auswertungen wurden sowohl für die punktuell als auch für die im Einzugsgebiet vorherrschenden Nutzungseinflüsse vorgenommen; für die Beschaffenheit des Grundwassers ist im Allgemeinen der Einfluss des Einzugsgebietes ausschlaggebend.

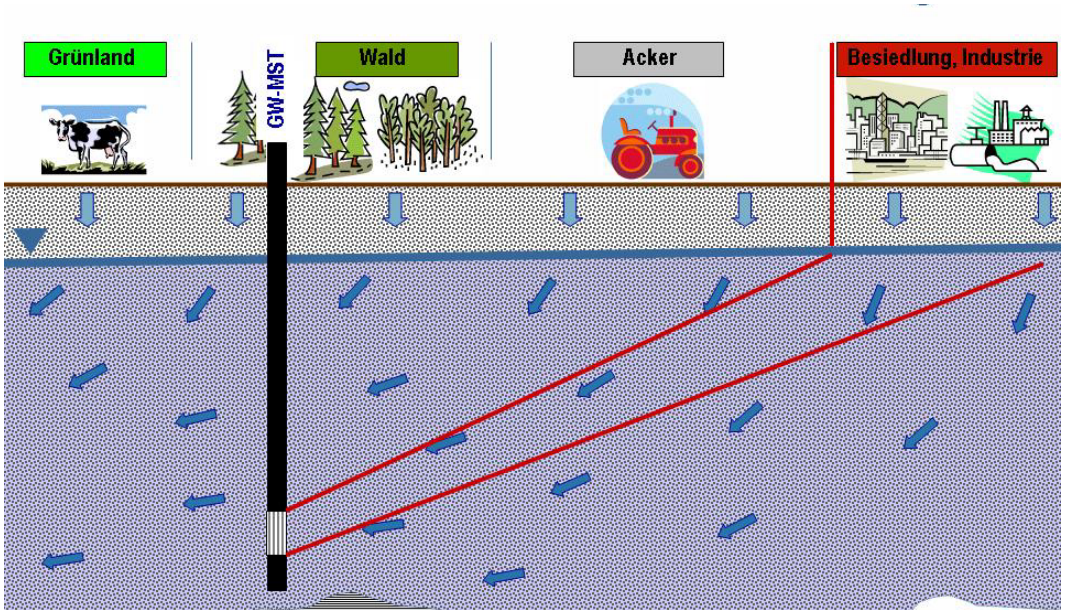


Abb. 8: Ermittlung des vorherrschenden Landnutzungseinflusses im Einzugsgebiet einer im unteren Bereich verfilterten Grundwassermessstelle in Abhängigkeit von der Mächtigkeit und den Strömungsverhältnissen (Fließgefälle) des Grundwasserleiters (Quelle: LANUV)

Um eine ausreichende und repräsentative Datenbasis für die statistische Datenanalyse zu erhalten, werden mehrjährige Untersuchungen (2000-2005 bzw. 2006-2011[3]) pro Messstelle zu Messstellenmittelwerten zusammengefasst.

Grundsätzlich ist das Landesmessnetz so aufgebaut, dass pro Grundwasserkörper (bei 275 Grundwasserkörpern in NRW) die verschiedenen Landnutzungseinflüsse repräsentativ erfasst werden. Dieses Messnetz dient u.a. zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit gemäß NRW-Monitoringleitfaden Grundwasser zur Umsetzung der EU-WRRL. Einzelfallbezogene Aussagen zu lokalen Punktquellen lassen sich aus diesem Messnetz in der Regel nicht oder nur eingeschränkt ableiten.

Ergänzt wird das Messnetz durch Daten von Betreibern (z.B. von Bergbautreibenden, Wasserverbänden, Anlagen-Selbstüberwachung, Eigenüberwachung der Städte und Gemeinden), die mit unterschiedlichen räumlichen / regionalen Schwerpunkten vorliegen. Ein großer Datenbestand steht aus der Grund- und Rohwasserüberwachung der Wasserversorgungsunternehmen zur Verfügung, deren Messstellen sich i.W. innerhalb von Trinkwasserschutzgebieten befinden. Vergleichsweise gering sind die kommunalen Messnetze vertreten.

Berücksichtigt wurden landesweit alle für die Grundwasserüberwachung geeigneten Grund- und Rohwassermessstellen im ersten Grundwasserstockwerk, zu denen Analysendaten der betrachteten Parameter im ausgewerteten Untersuchungszeitraum vorliegen.

[3] Die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume für die anorganisch-chemischen Parameter (2000-2005) und die mikrobiologischen Parameter und synthetischen Komplexbildner (2006-2011) ergaben sich aus organisatorischen Gründen. Es wird nicht davon ausgegangen, dass der Betrachtungszeitraum für die untersuchten Fragestellungen einen Einfluss auf die Resultate hat. Aufgrund der langen Verweilzeit des Grundwassers im Grundwasserleiter sind die Analysenwerte des Zeitraums 2000 – 2005 aktuell.

3.1.2 Parameterauswahl

Als potenzielle Abwasser-Indikatorstoffe wurden folgende Parameter ausgewertet:

- Anorganische Stoffe: Ammonium, Bor, Chlorid, Kalium, Natrium
- Xenobiotika: DTPA, EDTA, NTA
- Mikrobiologische Indikatorparameter: Koloniezahl bei 20 ± 2 Grad, Koloniezahl bei 36 ± Grad, Coliforme Keime bei 36 ± 1 Grad, Coliforme Keime bei 42 Grad und E. Coli.

Bor ist in Siedlungsabwässern aufgrund seiner Verwendung als Bleichmittel in Wasch- und Reinigungsmitteln stets vorhanden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass erhöhte Borbefunde in urbanen Grundwasserleitern bei gleichzeitig erhöhten anderen abwasserspezifischen Begleitparametern - wie z.B. Kalium, Ammonium, Natrium, Chlorid - den Eintrag von Abwasser aus der Kanalisation indizieren. Während andere Anorganika auch aus dem Straßenverkehr (Streusalz) sowie aus Düngemitteln in das Grundwasser eingetragen werden können und das Auftreten erhöhter Ammonium-Konzentrationen im Grundwasser an reduzierende Milieubedingungen gebunden ist, erscheint Bor (in Kombination mit weiteren abwassertypischen Inhaltsstoffen) als besonders gut geeigneter Indikatorstoff. Zu berücksichtigen sind für Bor allenfalls vereinzelte Punktquellen (z.B. Altablagerungen, Deponien, Altlasten). Allerdings hat Bor den Nachteil, dass die relativen Unterschiede zwischen der natürlichen Hintergrundkonzentration des Grundwassers und der Konzentration im ungereinigten Kommunalabwasser vergleichsweise niedrig sind. Die Konzentrationen im Abwasser (Kläranlagenzulauf) liegen nur etwa um Faktor 3 bis maximal 10 (vgl. Tab. 1 und 2) über den durchschnittlichen Hintergrundwerten und sind zudem seit den 1990er Jahren durch den Ersatz des Bors als Bleichmittel in Waschmitteln seit vielen Jahren rückläufig. Abwasserexfiltrationen führen im Grundwasserleiter daher nur bei ungünstigen Verdünnungsverhältnissen zu deutlich auffälligen Konzentrationen. Wie Beier M. (2008) feststellen konnte, ist diese Situation jedoch in stark versiegelten Gebieten durchaus gegeben, da der Eintrag aus undichten Kanälen in urbanen Grundwasserleitern einen beträchtlichen Anteil an der Grundwasserneubildung ausmachen kann.

Daneben (bzw. ergänzend) erweist sich v.a. auch Kalium als aussagekräftiger Tracer, sofern Einträge aus der Landwirtschaft sowie erhöhte Hintergrundkonzentrationen ausgeschlossen werden können.

Bei den untersuchten mikrobiologischen Parametern muss beachtet werden, dass sie im Grundwasser nicht notwendigerweise einen Abwassereinfluss indizieren. Coliforme Keime liegen in der Umwelt in großer Bandbreite vor und müssen daher nicht auf einen anthropogenen Einfluss aus Fäkalien bzw. häuslichem Abwasser hinweisen. Zwar sind intestinale Enterokokken (ebenso wie E. coli) dafür bekannt, dass sie eindeutig Fäkaleinfluss anzeigen, der muss allerdings nicht notwendigerweise anthropogenen Ursprungs sein, sondern kann auch aus Wirtschaftsdüngern sowie von Haus- und Wildtierbeständen herrühren.

Enterokokken überleben in der Umwelt unter widrigen Bedingungen länger und können somit ggf. auch einen länger zurückliegenden Abwassereinfluss indizieren. Zu Enterokokken sind

in der Landesgrundwasserdatenbank NRW jedoch nur sehr wenige Grundwasserdaten vorhanden, so dass keine statistischen Auswertungen zur Fragestellung möglich sind.

Für E. coli (und Coliforme Keime) gilt, dass sie im Grundwasser nur begrenzte Zeit überleben. Sie können somit nur „akute“ bzw. punktuelle Quellen indizieren, sofern sie nicht bereits während der Bodenpassage, also vor dem Eintritt in das Grundwasser, eliminiert werden. Auch können sie ubiquitär durch Fäkalien von Warmblütern eingetragen werden, sind also für anthropogene Abwasserexfiltrationen kein spezifischer Indikator.

Da die Landesmessstellen nicht auf bakteriologische Parameter untersucht werden, sind zu Coliformen Keimen und E. coli deutlich weniger Daten vorhanden als bei den anorganischen Parametern, die landesweite Messstellenverteilung ist daher für diese Parameter weniger repräsentativ.

Zu Komplexbildnern liegen in der Landesgrundwasserdatenbank NRW nur vergleichsweise wenige Daten vor. Die bisherigen Untersuchungen erfolgten aufgrund anderer Fragestellungen und orientieren sich deshalb schwerpunktmäßig an anderen potenziellen Eintragsquellen für diese Stoffe (Uferfiltrat, Landwirtschaft, Industrie/Gewerbe), so dass sich das Kollektiv der auf EDTA, DTPA und NTA untersuchten Messstellen für die Fragestellung als nur wenig aussagekräftig erweist.

3.1.3 Berücksichtigung weiterer Faktoren

Da Abwasserkanäle in der Regel in einer Tiefe zwischen 0,80 m und 2 bis 3 m verlegt sind, entscheidet der Grundwasserflurabstand darüber, ob sich der Kanal in der ungesättigten oder gesättigten Zone befindet und Exfiltration oder Infiltration vorherrschend sind, und wie groß die Bodenpassage durch die ungesättigte Zone bis zum Erreichen der Grundwasseroberfläche ist. Dies kann für die im Falle einer Leckage in das Grundwasser austretende Abwassermenge sowie für den Anteil der das Grundwasser erreichenden Kontaminationen von Belang sein, da sich die Sorptions- und Abbauprozesse in der ungesättigten und gesättigten Zone deutlich unterscheiden können. Die im Grundwasserleiter gemessene Konzentration kann außerdem von der Verfilterungstiefe der Messstelle und von der Mächtigkeit des Grundwasserleiters abhängen.

Es wurden daher noch folgende Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Mittlerer Grundwasserflurabstand
- Verfilterungstiefe (oberes Drittel, mittleres Drittel, unteres Drittel, gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters)
- Mächtigkeit des Grundwasserleiters (soweit Angaben vorhanden).

3.1.4 Datenanalyse

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Programm IBM SPSS Statistics 19 durchgeführt. Geprüft wurden Korrelationen zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen und Interkorrelationen (Pearson: intervallskalierte Parameter, Spearman: ordinalskalierte Parameter). Varianzen bzw. signifikante Unterschiede innerhalb und zwischen den Messstellengruppen nach obigen Landnutzungseinflüssen (Vergleich: Besiedlung – Wald – Acker - Grünland) wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA – Analysis of Variance) und Mehrfachvergleichen (Scheffé-Prozeduren) getestet. Die räumliche landesweite Verteilung der Messstellen ist kartografisch dargestellt. Zusätzlich sind Kartenausschnitte für einzelne Stadtgebiete exemplarisch herausgegriffen, um eventuelle räumliche Koinzidenzen zwischen Stadtgebieten und Grundwasserkontaminationen zu visualisieren.

Eine detaillierte Fallbetrachtung kann allerdings aufgrund des Datenmaterials nicht durchgeführt werden. Hierfür sind stadtbezogene Messnetze mit einer – im Idealfall - reihenförmigen Anordnung der Messstellen im Anstrom, im Stadtgebiet und im Abstrom der Stadt erforderlich (vgl. Untersuchungen in Karlsruhe oder in Darmstadt), die hier nicht vorliegen. Infolgedessen wurde von geostatistischen Auswertungen abgesehen, ebenso wie vom Einsatz komplexer multivariater Datenanalysen (Faktoren- und Hauptkomponentenanalyse, Clusteranalyse etc.), die zur Identifizierung und Charakterisierung von Abwasserexfiltrationen in grundwasserseitig intensiv untersuchten Stadtgebieten von anderen Autoren erfolgreich eingesetzt und in der Literatur beschrieben worden sind.

3.1.5 Bewertungskriterien

Für die Bewertung der Stoffbefunde im Grundwasser sind bei den natürlich vorkommenden, anorganischen Stoffen Hintergrundwerte zu berücksichtigen. Dazu können, soweit vorhanden, die von Kunkel et al. (2004) auf Basis deutschlandweiter Auswertungen der 90-Perzentilwerte von nicht anthropogen beeinflussten Grundwassermessstellen ermittelten Hintergrundwerte verwendet werden. In Anlehnung an diese Vorgehensweise können orientierend auch die 90-Perzentilwerte aus dem Kollektiv der NRW-Daten (Messstellen mit Wald-Nutzung im Einzugsgebiet) verwendet werden.

Als Kriterium zur Feststellung schädlicher Verunreinigungen des Grundwassers werden die sog. Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) der LAWA (LAWA, 2004) herangezogen. Für die Bewertung der Grundwasserqualität als potenzielle Ressource für die Trinkwassergewinnung sind in Tabelle 1 zusätzlich die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) aufgeführt. Für die mikrobiologischen Parameter (E. Coli) und Indikatorparameter (Coliforme Keime) gilt im Trinkwasser der Grenzwert 0/100 ml.

Tab. 1: Bewertungskriterien für Grundwasserdaten

Parameter	**Dimension**	**90-Perzentil** (GW-MSt. Wald; NRW 2000-2005)	**Hintergrund-wert** (Kunkel et al.2004; LAWA 2004)	**GFS-Wert** (LAWA 2004)	**TrinkwV 2001**
Ammonium	mg/L	0,27			0,5
Bor	mg/L	0,14	0,088[a]	0,74	1,0
Chlorid	mg/L	53,0		250	250
Kalium	mg/L	5,3			
Natrium	mg/L	30,0			200

[a] 90. Perzentil von 15 hydrogeologischen Bezugsräumen in Deutschland

Für die Interpretation der Befunde (Plausibilisierung mit Blick auf mögliche Eintragsquellen) sind weiterhin die Konzentrationen des Abwassers in der Kanalisation von Interesse. Dazu können die im Rahmen der Dissertation von Beier (2008) zusammengetragenen Literatur- und Messwerte herangezogen werden, von denen angenommen werden kann, dass sie auch für NRW typisch sind (Tabelle 2).

Tab. 2: Abwasserbeschaffenheit in Darmstadt (Zulauf der Kläranlagen) und Literaturdaten nach Beier (2008)

Parameter	**Dimension**	**Darmstadt** (Messung TU Darmstadt)	**Darmstadt** (Betreiberdaten, HSE AG)	**Darmstadt** (Umweltamt)	**Deutschland** (Literatur)
Ammonium	mg/L	3,5 - 97	16,7 – 42,7	28 - 150	10 - 170
Bor	mg/L	0,24 – 0,64			0,31 – 2,6
Chlorid	mg/L	41 - 191		60 - 380	40 - 272
Kalium	mg/L	8 - 29			2 - 63
Natrium	mg/L	13 - 144		31 - 115	18 - 250
EDTA	µg/L	2 - 4			
NTA	µg/L	155 - 415			

3.1.6 Fragestellungen

Für die ausgewählten abwassertypischen Indikatorparameter wurde die Grundwasserbeschaffenheit in Siedlungsgebieten im Vergleich zu Messstellen, die anderen Landnutzungseinflüssen unterliegen (Acker, Grünland, Wald, Sonstige), ausgewertet. Die Waldbeeinflussten Messstellen wurden dabei als „unbeeinflusst“ angenommen.

Dabei wurde folgenden Fragen nachgegangen:

- Gibt es statistisch signifikante Unterschiede?
- Bei welchen Parametern existieren signifikante Unterschiede?
- Sind signifikante Unterschiede über das gesamte Messstellenkollektiv allgemein feststellbar oder nur bei bestimmten Grundwasserflurabständen?
- Sind Einflüsse nur unmittelbar, d.h. als Punkt-Einfluss, am Ort der Messstelle feststellbar oder sind im Einzugsgebiet vorherrschende städtische Einflüsse feststellbar? Sind Einflüsse im gesamten Grundwasserleiter oder nur im oberen / mittleren / unteren Drittel festzustellen?

3.2 Ergebnisse der landesweiten Datenauswertung in NRW

3.2.1 Anzahl der ausgewerteten Grundwassermessstellen

In den Tabellen 3 und 4 sind die Anzahl und Verteilung der untersuchten Messstellen pro Parameter und Landnutzungseinfluss im ersten oberen Grundwasserstockwerk zusammengestellt.

Tab. 3: Anzahl und Verteilung der Grundwassermessstellen für ausgewählte anorganisch-chemische Parameter und Landnutzungen (2000-2005) im ersten Grundwasserstockwerk

Nutzung	Ammonium	Bor	Chlorid	Kalium	Natrium
k.A.	369	93	367	355	354
bebaut, besiedelt	687	407	684	659	658
Acker	1377	567	1388	1361	1364
Grünland	336	194	338	332	332
Wald	797	291	831	789	787
Sonstige	82	17	86	63	62
gesamt	**3648**	**1569**	**3694**	**3559**	**3557**

Die Anzahl der Messstellen pro Parameter und den hier hauptsächlich betrachteten Landnutzungseinflüssen liegt im Bereich von mehreren hundert Messstellen und ist ausreichend für die weitergehenden statistischen Auswertungen.

Tab. 4: Anzahl und Verteilung der Grundwassermessstellen für bakteriologische Parameter, Komplexbildner und Landnutzungen (2006-2011) im ersten Grundwasserstockwerk

Nutzung	Coliforme gesamt	E. Coli	Koloniezahl 20°C	Koloniezahl 37°C	DTPA	EDTA	NTA
k.A.	77	43	88	49	0	7	1
bebaut, besiedelt	136	130	138	131	28	69	70
Acker	437	382	473	417	90	117	120
Grünland	66	61	76	66	14	17	15
Wald	230	199	258	232	22	66	56
gesamt	**946**	**815**	**1033**	**895**	**154**	**276**	**262**

Die Anzahl der Messstellen pro relevanter Landnutzung ist bei den bakteriologischen Parameter geringer als bei den anorganisch-chemischen Parametern, liegt aber bei den Landnutzungen „bebaut/besiedelt“ und der Vergleichsnutzung „Wald“ noch bei etwa 130 bzw. um 200 Messstellen. Deutlich weniger Untersuchungsergebnisse liegen für die Komplexbildner vor. Sie sind überdies räumlich in Ostwestfalen konzentriert.

3.2.2 Siedlungs- und Verkehrsfläche in NRW

Nordrhein-Westfalen ist gekennzeichnet durch einen hohen bis sehr hohen Flächenanteil, der durch Siedlungen und Verkehrsflächen überbaut ist (LANUV 2009). Durchschnittlich sind 10 % der Landesfläche versiegelt. In vielen Städten und Gemeinden liegt dieser Anteil bei über 50 %. Insoweit ist ein hoher Anteil der Grundwasserressourcen Nordrhein-Westfalens siedlungsspezifischen Einflüssen ausgesetzt.

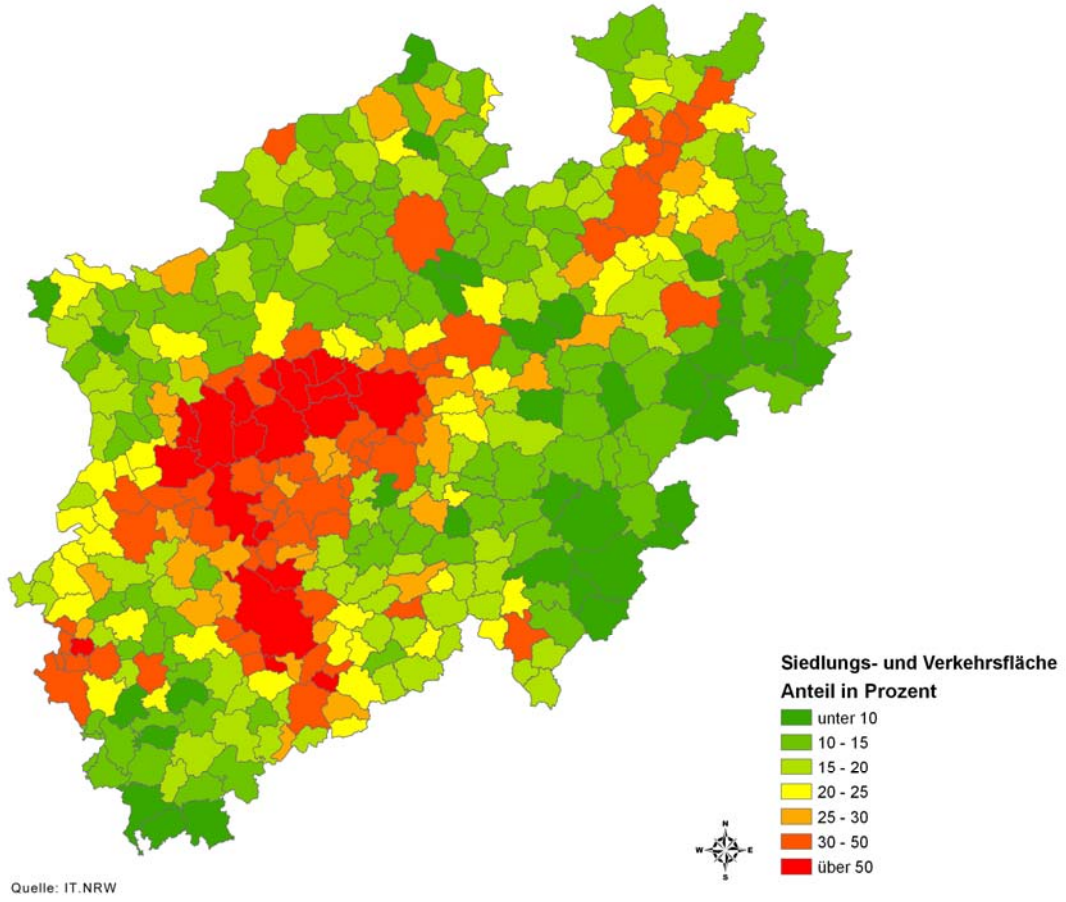


Abb. 9: Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche im Jahr 2008 in NRW (LANUV 2009)

3.2.3 Auftreten von Indikatorstoffen im Grundwasser in Abhängigkeit von der Landnutzung

Bor

Die Grundwassermessstellen mit Nutzungseinfluss Bebauung/Besiedlung im Einzugsgebiet weisen deutlich höhere Bor-Konzentrationen auf im Vergleich zu allen anderen Nutzungen (Abb. 10 und 11). Die niedrigsten Bor-Konzentrationen finden sich erwartungsgemäß bei den Wald-Messstellen (Abb. 11). Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind signifikant (One-way-ANOVA, Signifikanz 0,000); die Signifikanz der Mehrfachvergleiche (Scheffé-Prozedur) für die Gruppen Bebauung/Besiedlung und Wald beträgt 0,004.

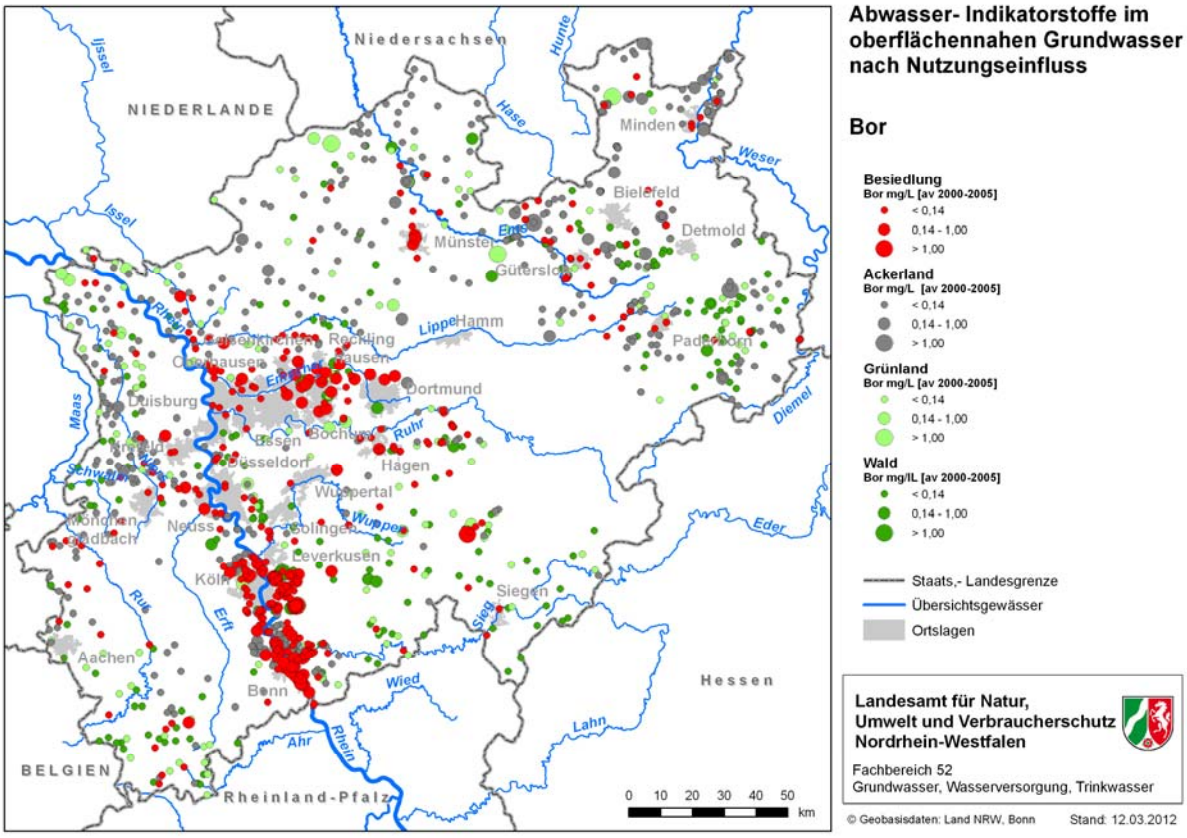


Abb. 10: Landesweite Verteilung der **Bor-Konzentrationen** differenziert nach Nutzungseinflüssen

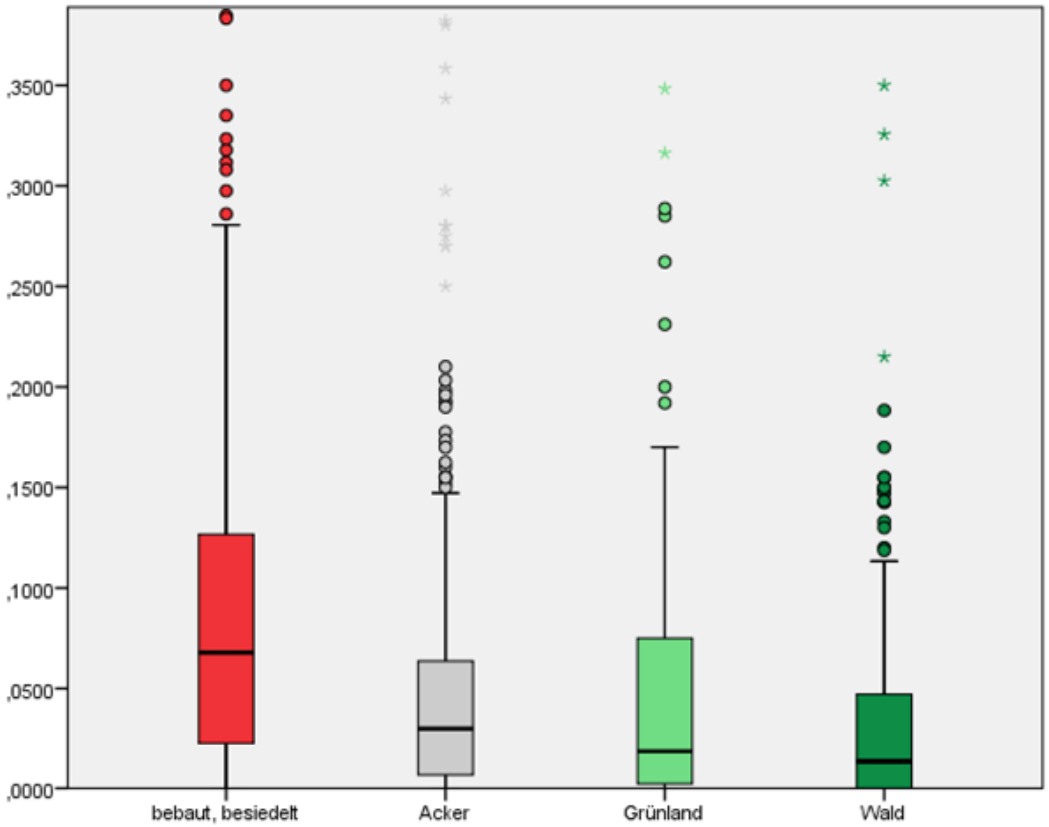


Abb. 11: SPSS-Boxplot-Diagramm[4] : **Bor-Konzentrationen** (in mg/L) differenziert nach Nutzung im Einzugsgebiet.

Ammonium

Keine signifikanten Unterschiede sind zwischen den Nutzungseinflüssen für den Parameter Ammonium festzustellen (Abb. 12 und 13). Zwar ist der arithmetische Mittelwert[5] der Ammonium-Konzentrationen bei den Messstellen mit Nutzungseinfluss Bebauung / Besiedlung am höchsten (Bebauung/Besiedlung: 0,345 mg/L; Acker: 0,252; Grünland: 0,226; Wald: 0,249 mg/L). Höher (zunehmend deutlich ab dem 70. Perzentil) im Vergleich zu den Waldmessstellen sind auch die oberen Perzentilwerte sowie die Maximalwerte. Aufgrund der Streuung sind die Unterschiede zwischen den Gruppen jedoch nicht signifikant.

Es ist zu beachten, dass erhöhte Ammonium-Konzentrationen nur in reduzierenden Grundwässern stabil sind, bei oxidierenden Verhältnissen wird das Ammonium durch nitrifizierende Bakterien zu Nitrit und Nitrat aufoxidiert. Die Messstellen im Nutzungseinfluss Acker und Grünland erhalten Ammonium- und N_{org}-Einträge zusätzlich aus Wirtschafts- und Mineraldüngern.

[4] Die farbige Box repräsentiert den Bereich der 50% mittleren Werte. Dies sind die Werte zwischen dem 25%- und dem 75%-Perzentil. Der Median, also das 50%-Perzentil, wird durch den schwarzen Strich innerhalb der Box dargestellt. Die horizontal verlaufenden Striche über und unter der Box kennzeichnen den größten und den kleinsten Wert, der nicht als extremer Wert oder als Ausreißer klassifiziert wird. Ausreißer werden durch kleine Kreise, extreme Werte durch Sternchen dargestellt.
Ausreißer und extreme Werte sind folgendermaßen definiert: Kreise: Werte, deren Abstand vom 25%-Perzentil nach unten bzw. vom 75%-Perzentil nach oben zwischen dem 1,5fachen und dem 3fachen der Boxhöhe liegt. Sternchen: Der Abstand vom 25%- oder dem 75%-Perzentil beträgt mehr als das Dreifache der Boxhöhe.

[5] nicht dargestellt

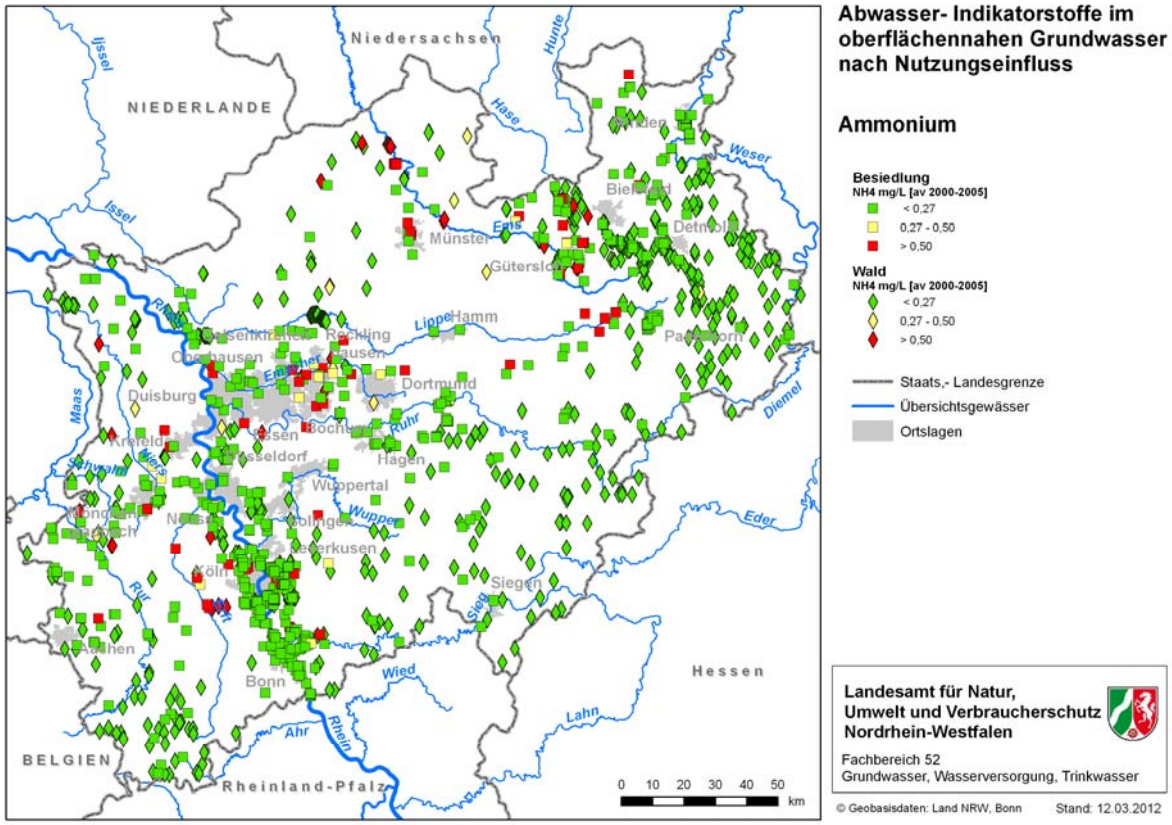


Abb. 12: Landesweite Verteilung der **Ammonium-Konzentrationen** für die Nutzungseinflüsse „Besiedlung“ und „Wald“

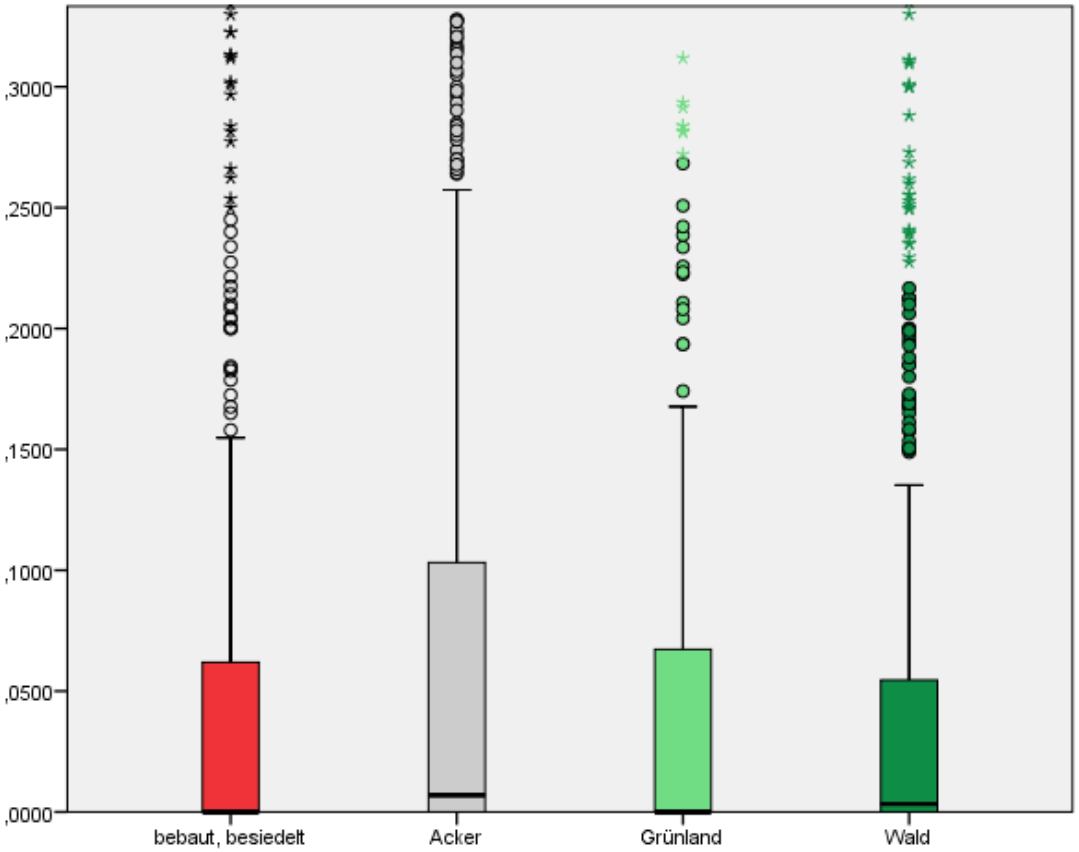


Abb. 13: SPSS-Boxplot-Diagramm: **Ammonium-Konzentrationen** (in mg/L) differenziert nach Nutzung im Einzugsgebiet.

Kalium

Die Grundwassermessstellen mit Nutzungseinfluss Bebauung/Besiedlung im Einzugsgebiet weisen deutlich höhere Kalium-Konzentrationen auf im Vergleich zu allen anderen Nutzungen (Abb. 14 und 15). Die niedrigsten Kalium-Konzentrationen finden sich erwartungsgemäß bei den Wald-Messstellen. Messstellen im Einfluss landwirtschaftlicher Nutzungen erhalten zusätzliche K-Einträge durch Wirtschafts- und Mineralstoffdünger. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind signifikant (Oneway-ANOVA, Signifikanz 0,000); die Signifikanz der Mehrfachvergleiche (Scheffé-Prozedur) für die Gruppen Bebauung/Besiedlung und Wald beträgt ebenfalls 0,000. Kalium erweist sich im Rahmen der Vergleiche zwischen Waldmessstellen und Siedlungsmessstellen für die Fragestellung (neben Bor) somit als (sehr) gut geeigneter Indikatorstoff. Im Unterschied zu Natrium und Chlorid hat Kalium den Vorteil, dass es von Siedlungsgebieten / Verkehrsflächen nicht zusätzlich durch Streusalz eingetragen wird.

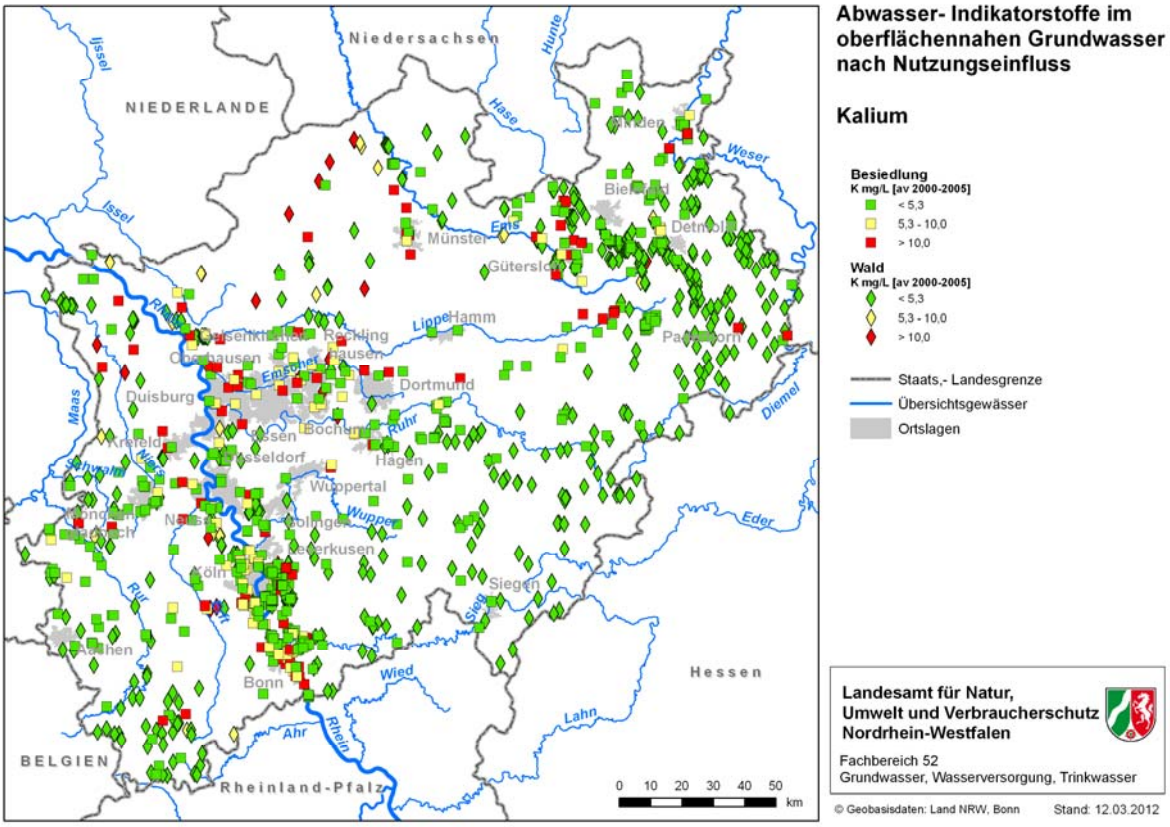


Abb. 14: Landesweite Verteilung der **Kalium-Konzentrationen** für die Nutzungseinflüsse „Besiedlung“ und „Wald“

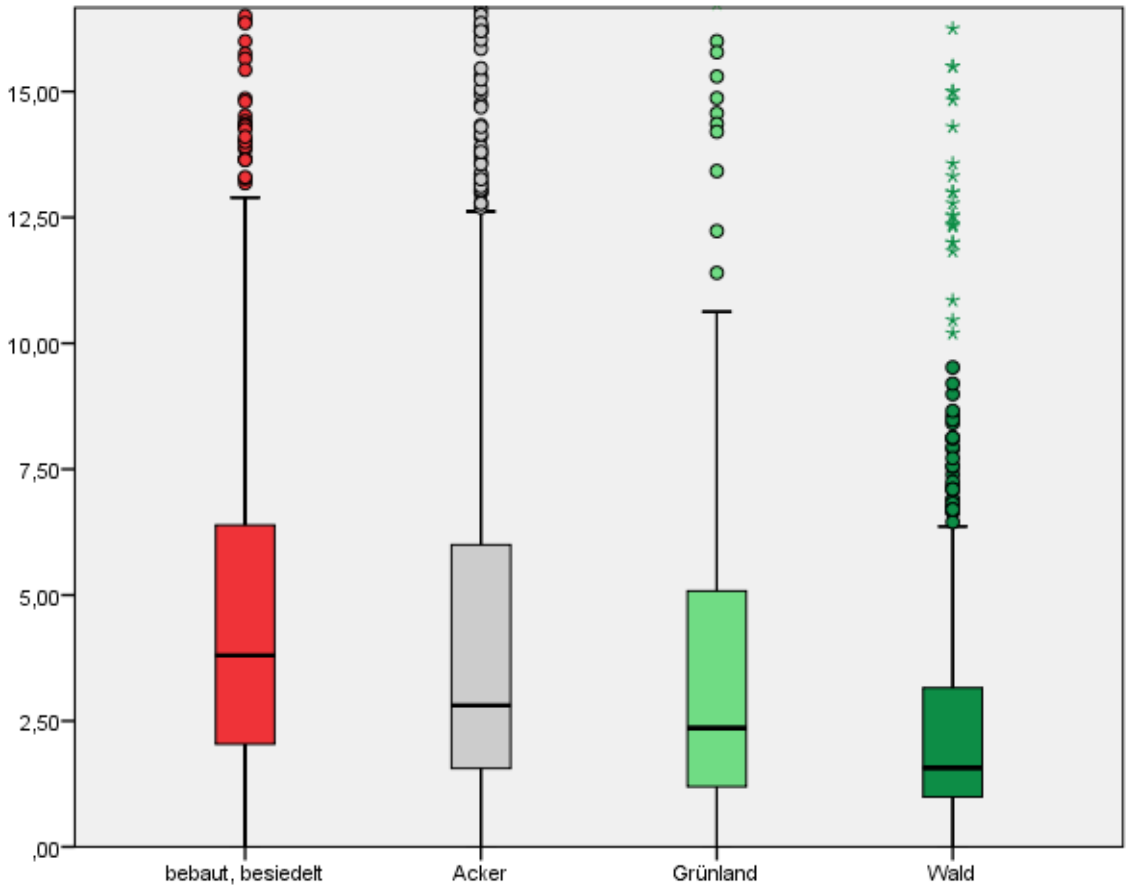


Abb. 15: SPSS-Boxplot-Diagramm: **Kalium-Konzentrationen** (in mg/L) differenziert nach Nutzung im Einzugsgebiet.

Natrium

Die Grundwassermessstellen mit Nutzungseinfluss Bebauung/Besiedlung im Einzugsgebiet weisen deutlich höhere Natrium-Konzentrationen auf im Vergleich zu allen anderen Nutzungen. Die niedrigsten Natrium-Konzentrationen finden sich erwartungsgemäß bei den Wald-Messstellen. Messstellen im Einfluss landwirtschaftlicher Nutzungen erhalten zusätzliche Na-Einträge durch Wirtschafts- und Mineralstoffdünger. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind signifikant (Oneway-ANOVA, Signifikanz 0,000); die Signifikanz der Mehrfachvergleiche (Scheffé-Prozedur) für die Gruppen Bebauung/Besiedlung und Wald beträgt ebenfalls 0,000. Aufgrund der zusätzlichen Einträge von Na durch Streusalz sind erhöhte Na-Konzentrationen an siedlungsbeeinflussten Grundwassermessstellen nur im Zusammenhang mit anderen abwassertypischen Parametern als Indikator für Abwasserexfiltrationen verwendbar.

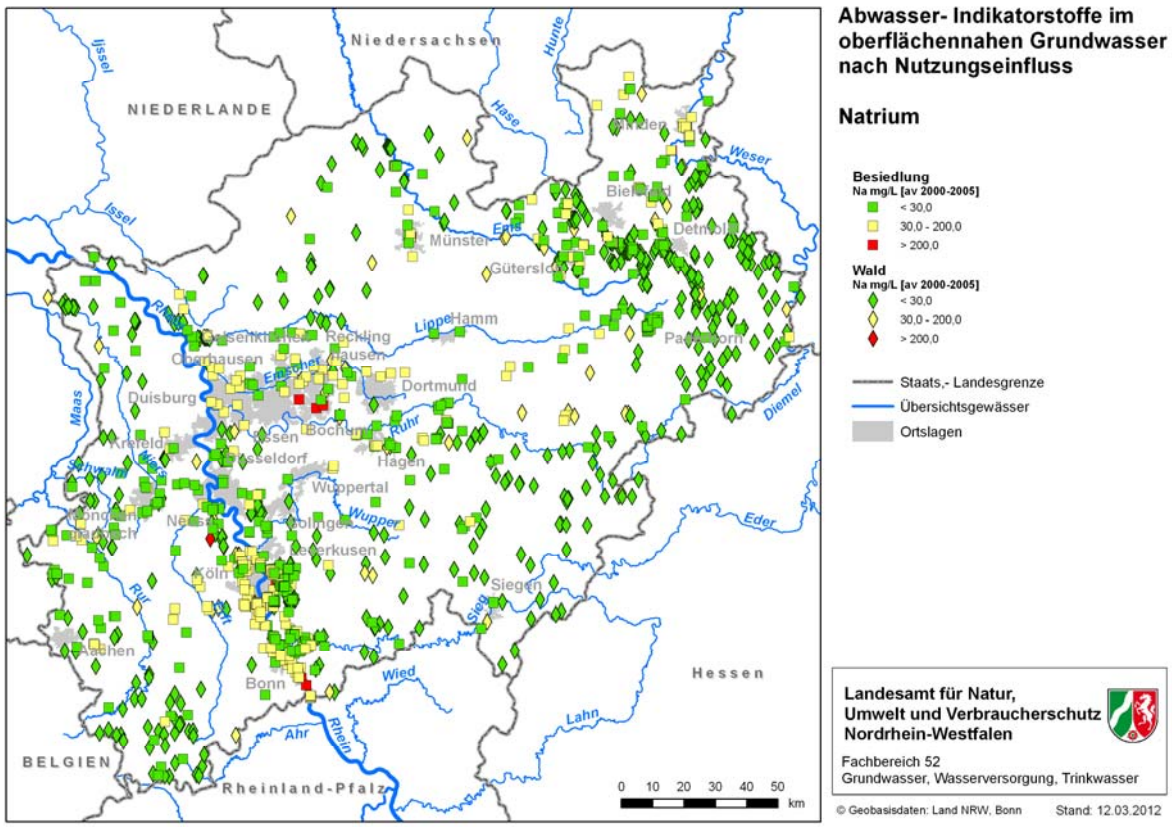


Abb. 16: Landesweite Verteilung der **Natrium-Konzentrationen** für die Nutzungseinflüsse „Besiedlung“ und „Wald“

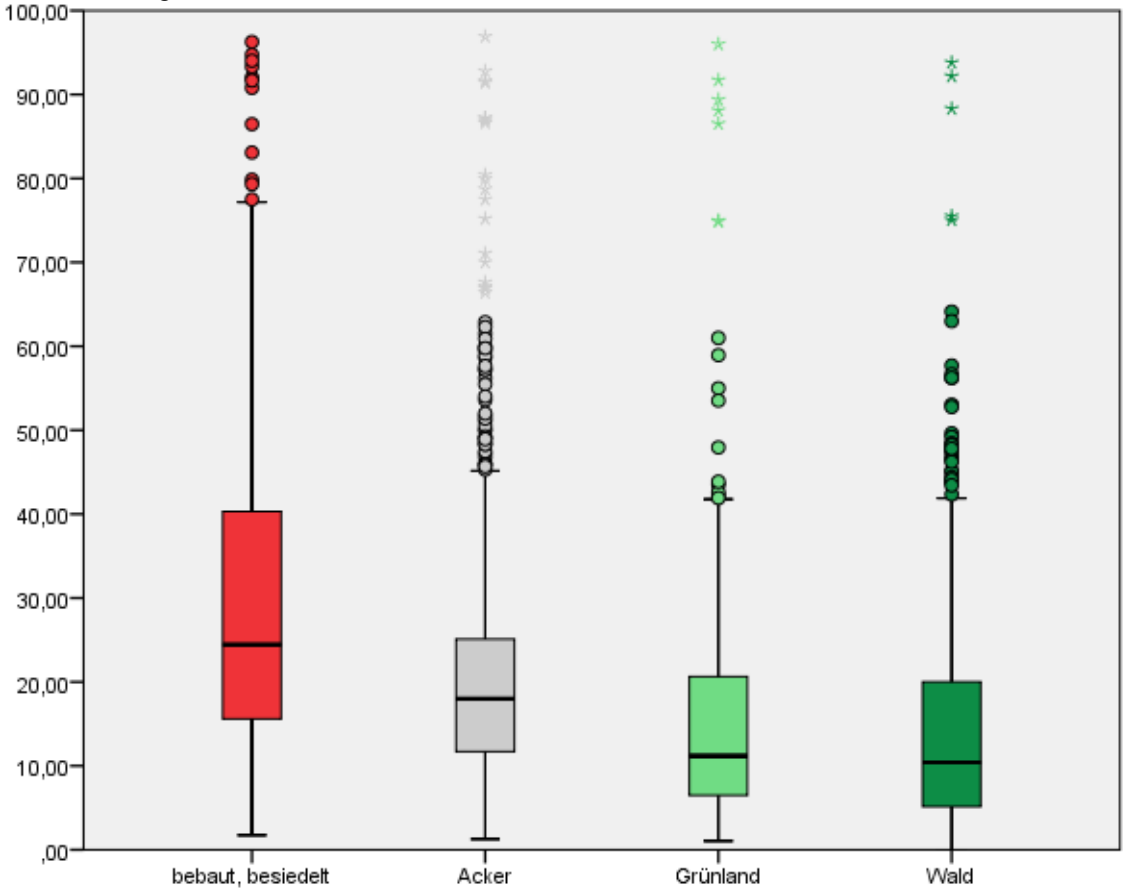


Abb. 17: SPSS-Boxplot-Diagramm: **Natrium-Konzentrationen** (in mg/L) differenziert nach Nutzung im Einzugsgebiet

Chlorid

Die Grundwassermessstellen mit Nutzungseinfluss Bebauung/Besiedlung im Einzugsgebiet weisen deutlich höhere Chlorid-Konzentrationen auf im Vergleich zu allen anderen Nutzungen (Abb. 18 und 19). Die niedrigsten Chlorid-Konzentrationen finden sich erwartungsgemäß bei den Wald-Messstellen. Messstellen im Einfluss landwirtschaftlicher Nutzungen erhalten zusätzliche Cl-Einträge durch Wirtschafts- und Mineralstoffdünger. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind signifikant (Oneway-ANOVA, Signifikanz 0,000); die Signifikanz der Mehrfachvergleiche (Scheffé-Prozedur) für die Gruppen Bebauung/Besiedlung und Wald beträgt ebenfalls 0,000. Aufgrund der zusätzlichen Einträge von Chlorid durch Streusalz sind erhöhte Chlorid-Konzentrationen – ebenso wie beim Natrium - an siedlungsbeeinflussten Grundwassermessstellen nur im Zusammenhang mit anderen abwassertypischen Parametern als Indikator für Abwasserexfiltrationen geeignet.

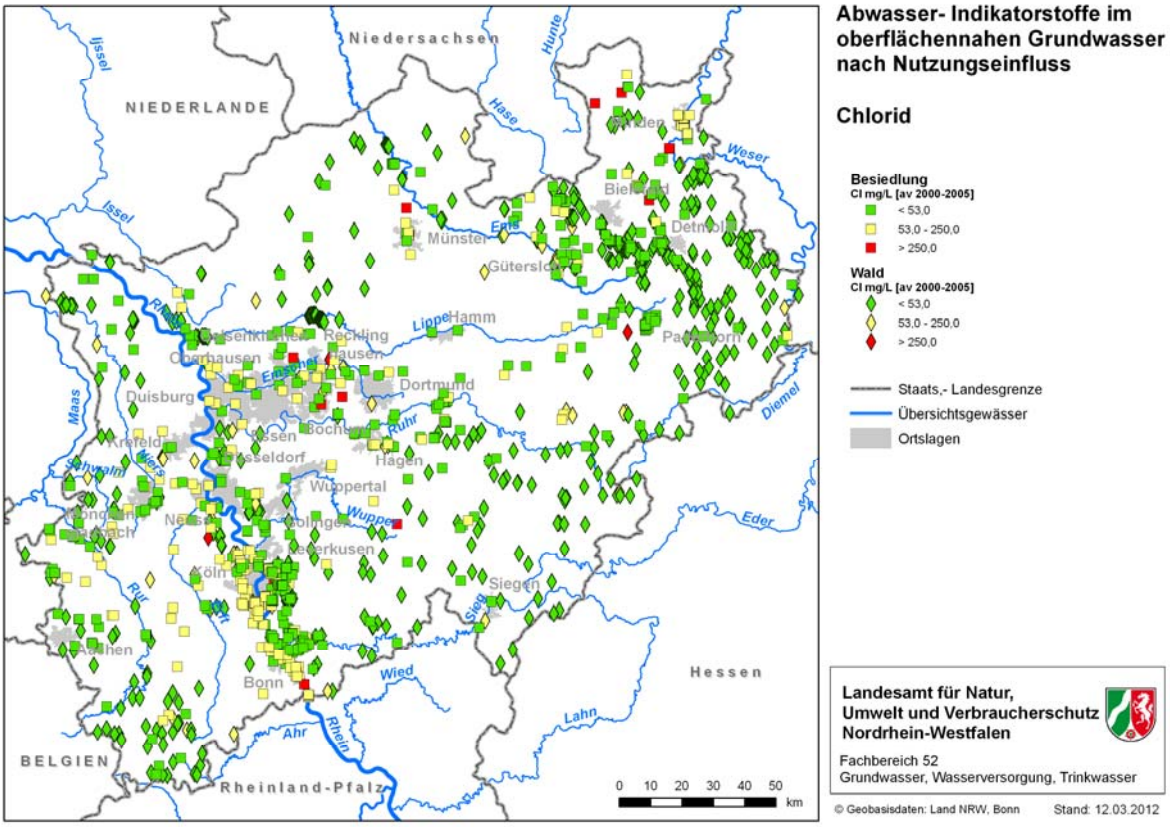


Abb. 18: Landesweite Verteilung der **Chlorid-Konzentrationen** für die Nutzungseinflüsse „Besiedlung“ und „Wald“

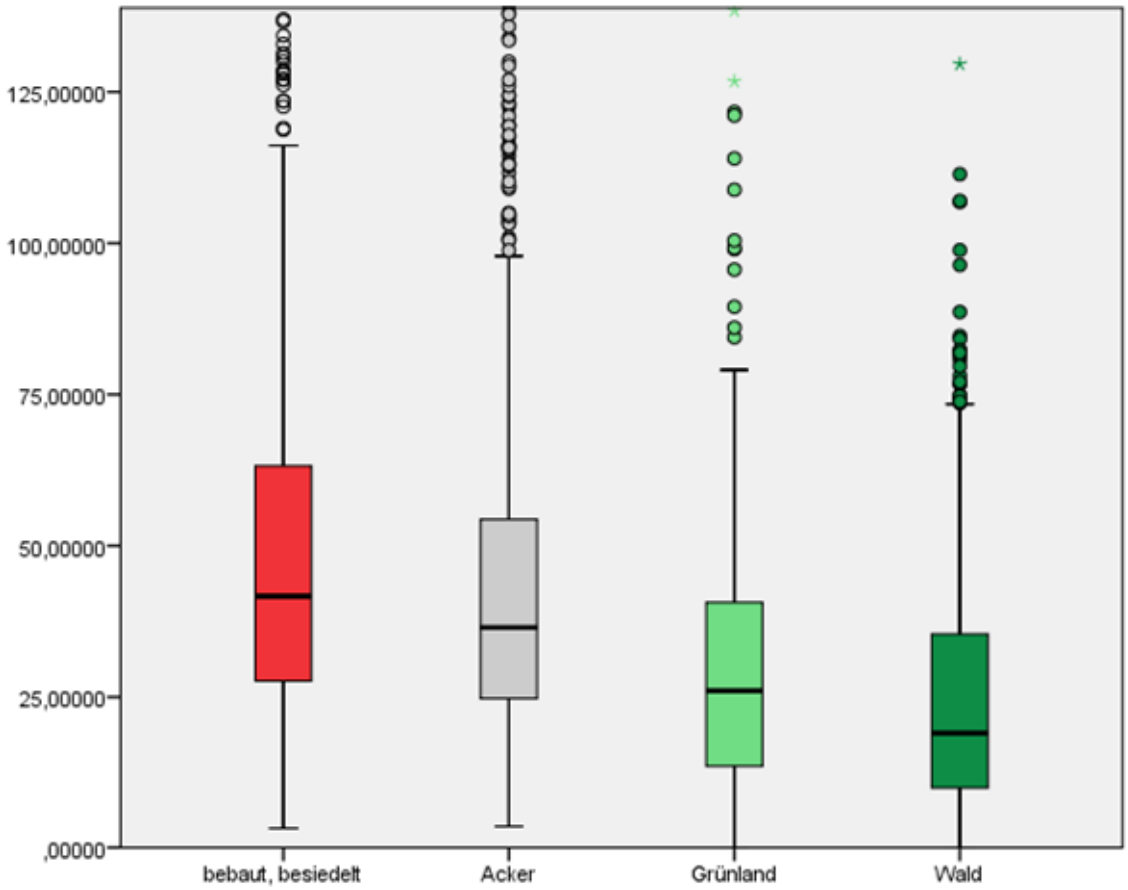


Abb. 19: SPSS-Boxplot-Diagramm: **Chlorid-Konzentrationen** (in mg/L) differenziert nach Nutzung im Einzugsgebiet

Für alle ausgewerteten anorganischen Parameter sind deutlich höhere, bis auf Ammonium auch signifikant höhere Konzentrationen bei siedlungsbeeinflussten Grundwasser-Messstellen im Vergleich zu den (als „unbeeinflusst“ angenommenen) „Waldmessstellen“ feststellbar. Die Konzentrationen in siedlungsbeeinflussten Grundwässern liegen deutlich über den Hintergrundwerten. Überschreitungen von Geringfügigkeitsschwellen- (GFS-Werten) oder Trinkwassergrenzwerten sind bis auf sehr seltene Einzelfälle bei den Messstellen im Siedlungseinfluss nicht feststellbar. Dies entspricht insofern den Erwartungen, als die Konzentrationen im ungeklärten Abwasser für diese Stoffe –- mit Ausnahme des Ammoniums – gemäß Tabelle 2 i.d.R. unter diesen Schwellenwerten liegen. Somit erweisen sich die Stoffe als geeignete Grundwasserindikatoren für Siedlungseinflüsse. Es sind deutliche abwassertypische Einflüsse auf den Grundwasserchemismus in Siedlungsgebieten festzustellen.

Komplexbildner

Als mögliche Indikatoren für abwasserbürtige Xenobiotika wurden vorhandene Analysenergebnisse zu Komplexbildnern (EDTA, DTPA, NTA) ausgewertet. Räumlich sind die Untersuchungen auf EDTA in Ostwestfalen konzentriert, es kommen Konzentrationen bis über 1 µg/L vor (s. Abb. 20). Zu DTPA lagen keine Positivbefunde vor. Für den leichter biologisch abbaubaren Komplexbildner NTA liegen die Befunde durchschnittlich eine Zehnerpotenz unter den Werten, die für EDTA gefunden wurden. Bei beiden Stoffen liegen die Mittelwerte der siedlungsbeeinflussten Messstellen deutlich über den Mittelwerten bei den Wald-Messstellen (Abb. 21), jedoch in vergleichbarer Höhe wie bei den Acker-beeinflussten Messstellen (EDTA: Wald: 0,356, Siedlung: 0,60, Acker: 0,72 µg/L) (NTA: Wald: 0,012, Siedlung: 0,067, Acker: 0,067 µg/L). Aufgrund der hohen Streuung und der im Vergleich zu den anorganischen Parametern deutlich geringeren Stichprobenumfänge sind die Unterschiede zwischen den Gruppen jedoch nicht signifikant (Oneway-ANOVA). Da Komplexbildner als Zusatzstoffe zur Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit auch Mineralstoffdüngern zugesetzt werden, sind die Befunde in landwirtschaftlich beeinflussten Flächen (Ackerland) ggf. dadurch erklärbar.

Weiterhin können die Stoffe aufgrund ihres sehr breiten Anwendungsspektrums aus diversen industriellen und gewerblichen Punktquellen in das Grundwasser gelangen. Einträge liegen nachweislich auch in Oberflächenwasser-beeinflussten Grundwässern vor (Uferfiltrate, künstlich angereichertes Grundwasser). Zur Eignung als Indikatoren für Siedlungsabwassereinträge im Grundwasser lassen sich aus den vorliegenden Daten (noch) keine Schlussfolgerungen ziehen.

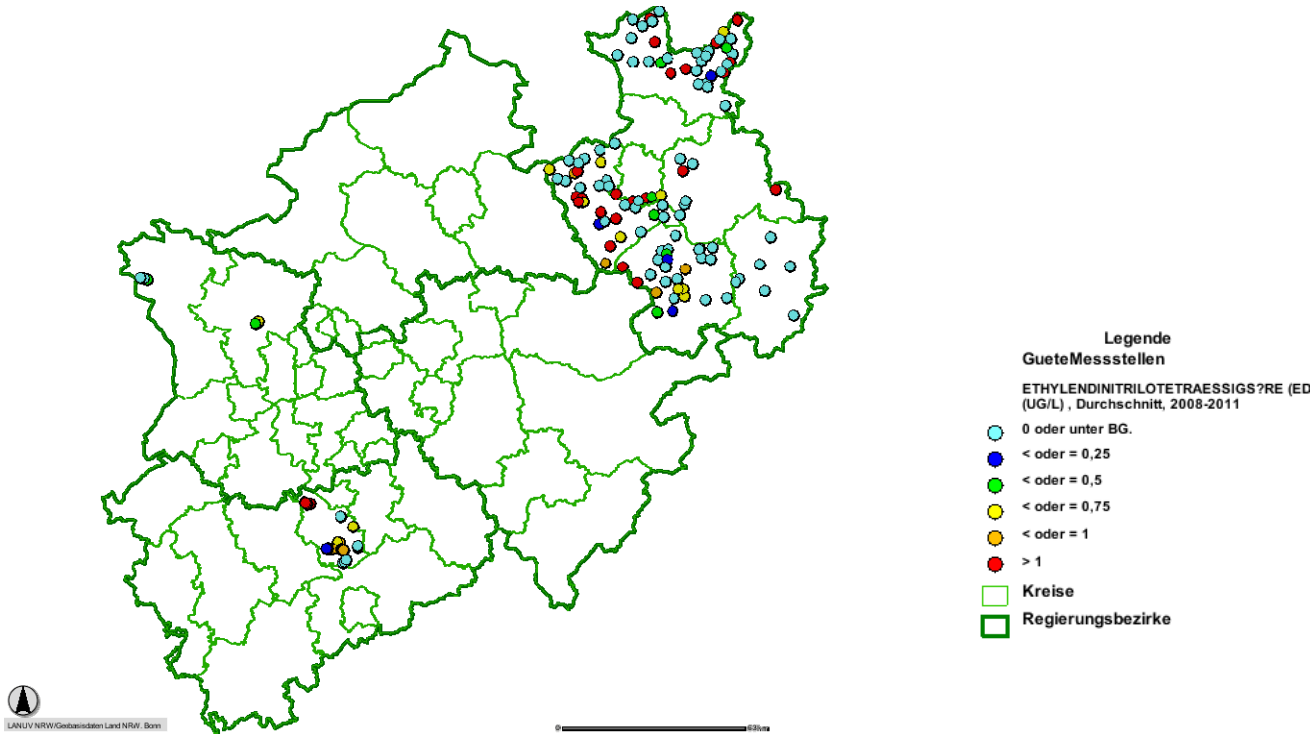


Abb. 20: Landesweite Verteilung der Grundwassermessstellen mit Analysenergebnissen zu **EDTA**

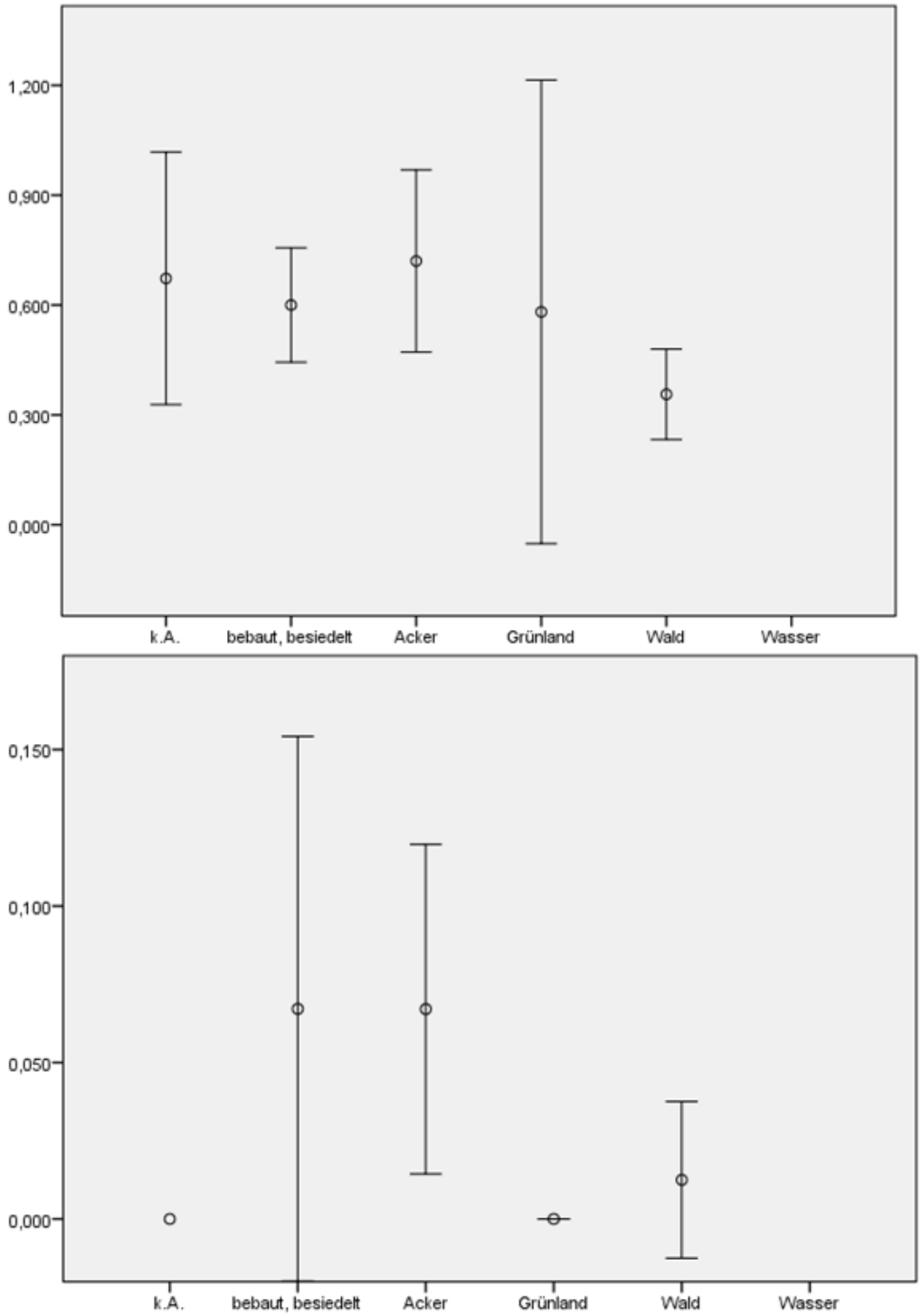


Abb. 21: Konzentrationen (Mittelwerte und Konfidenzintervall in µg/L) von **EDTA** (oben) und **NTA** (unten) differenziert nach Landnutzung im Einzugsgebiet

Mikrobiologische Parameter

Die räumliche Verteilung sowie die Befundspannen von E.coli und Coliformen Keimen sind in Abbildung 22 dargestellt. Die Proben mit positiven Befunden (Maximalwerte) sind deutlich geringer als die Proben ohne Befund.

Bei den mikrobiologischen Parametern und mikrobiologischen Indikatorparametern der Trinkwasserverordnung (E. coli, Coliforme Keime, Koloniezahl bei 20 Grad, Koloniezahl bei

37 Grad) zeigen die siedlungsbeeinflussten Messstellen im Vergleich zu den Messstellen mit den übrigen Hauptnutzungseinflüssen (Acker, Grünland, Wald) kaum bzw. nur geringe Befunde und infolgedessen niedrigere Gruppenmittelwerte und eine geringere Streuung (Abb. 23).

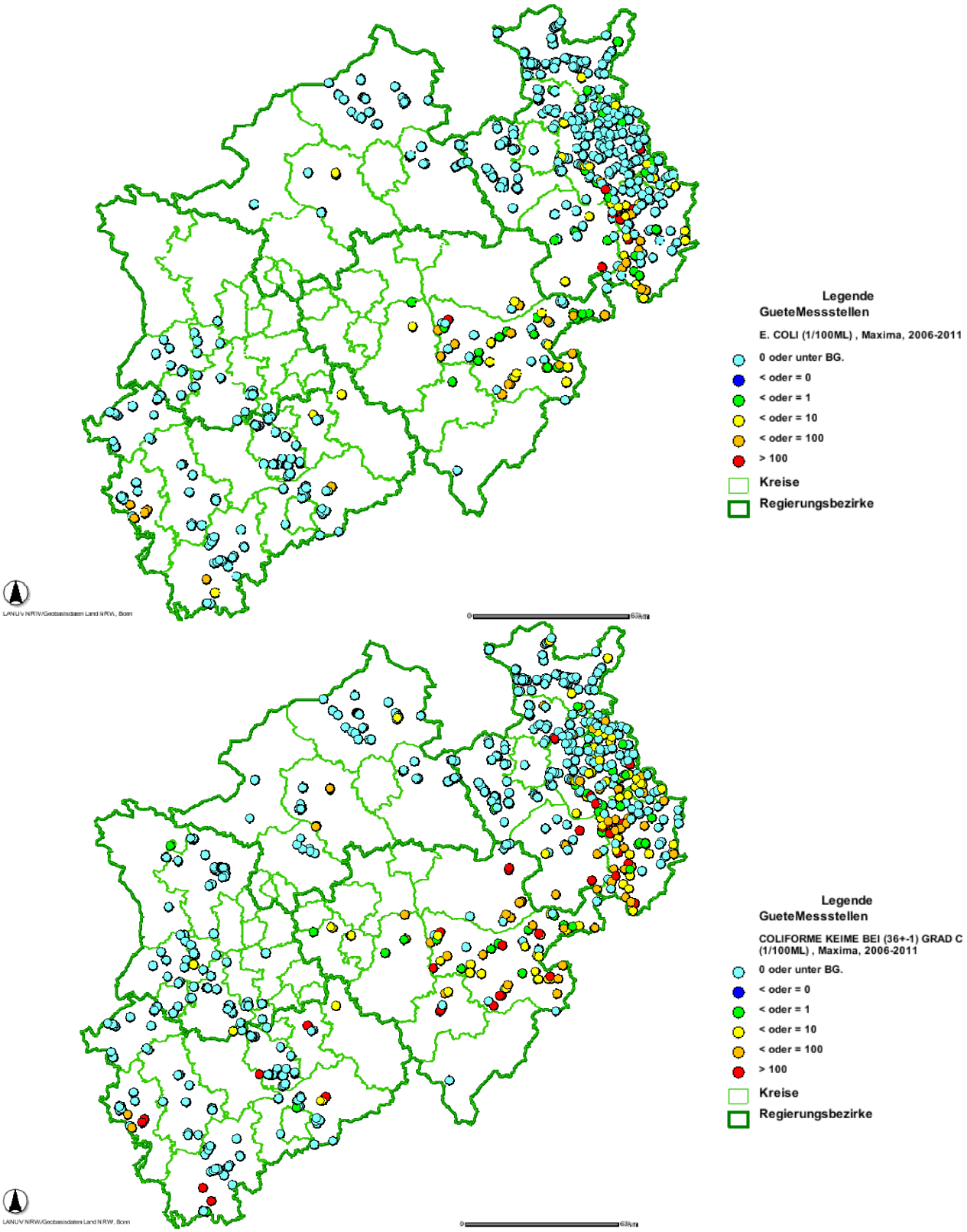


Abb. 22: Landesweite Verteilung der Grundwassermessstellen mit Analysenergebnissen zu **E. Coli** (oben) und **Coliformen Keimen** (unten)

Die höchsten Werte für die ubiquitär in der Umwelt verbreiteten Coliformen Keime, ebenso wie für die Koloniezahlen (nicht dargestellt), sind bei den grünlandbeeinflussten Messstellen zu finden.

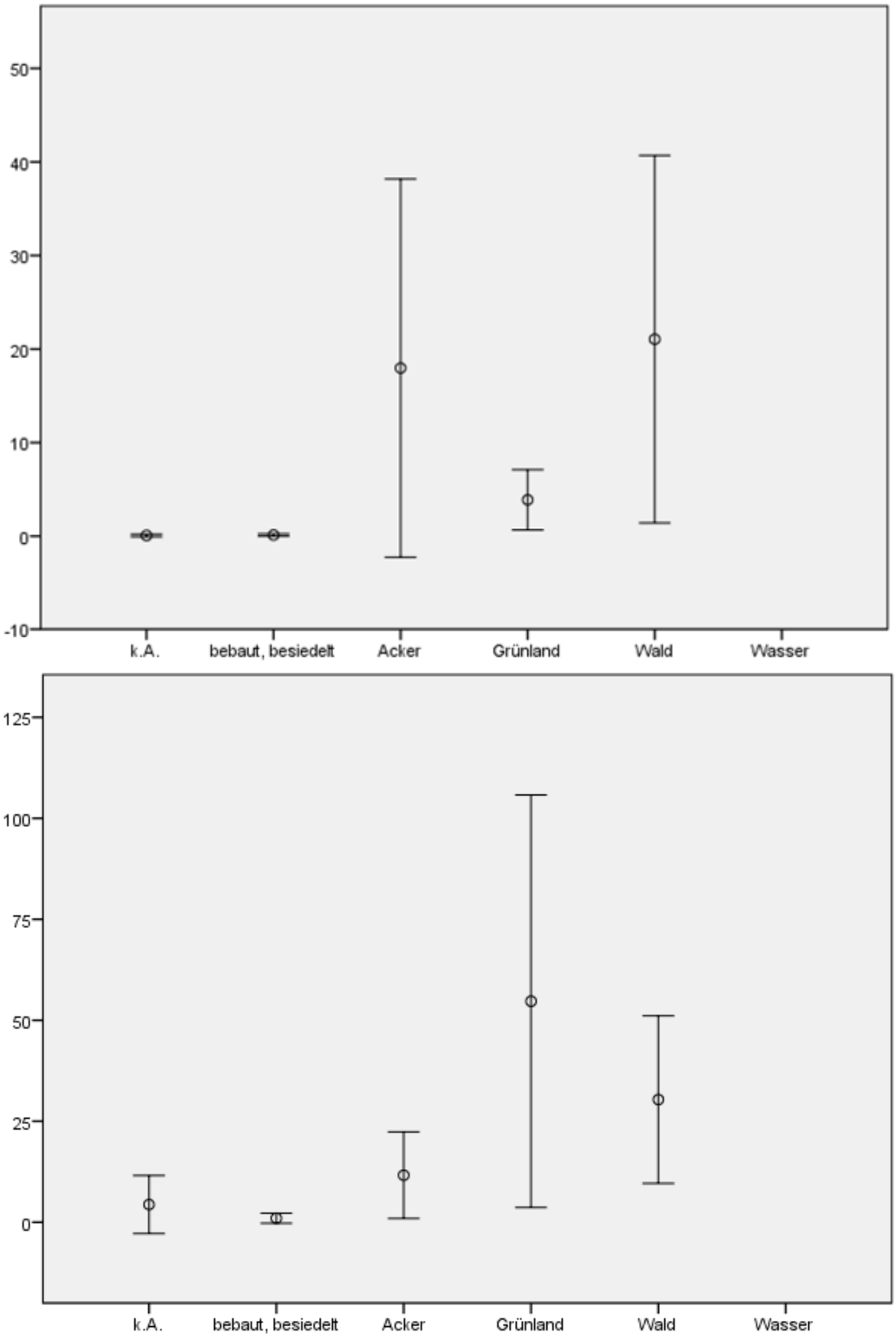


Abb. 23: Bakteriologische Befunde (Maximalwerte und Konfidenzintervall, Anzahl/100 mL) von **E. coli** (oben) und **Coliformen Keimen** (unten) differenziert nach Landnutzung im Einzugsgebiet

Für den Fäkalindikator E. Coli liegen die Befunde bei dem hier untersuchten Datenkollektiv in der Abfolge: Siedlung << Grünland << Acker ≤ Wald, was im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Autoren nicht unbedingt charakteristisch sein muss. Übereinstimmend konnte allerdings von Kistemann et al. (2009) und MUNLV (2009) für Fließgewässer festgestellt werden, dass die mikrobielle Gewässerbelastung (u.a. Coliforme, E. coli) zu einem hohen Anteil über diffuse Eintragsquellen im Einzugsgebiet aus den verschiedenen Landnutzungen (Acker > Grünland und Wald) bestimmt wird.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen (Siedlung, Grünland, Acker, Wald) sind bei den landesweit ausgewerteten Grundwassermessstellen lediglich für die Koloniezahlen (hier nicht dargestellt) und Gesamtcoliformen (Besiedlung < Grünland) schwach signifikant (One-way-ANOVA, $p<0,05$; post-hoc-Mehrfachvergleiche Scheffé-Prozeduren). Bei E.coli sind die Unterschiede nicht signifikant (Abb. 23).

Hinweise auf Abwasserexfiltrationen in Siedlungsgebieten lassen sich folglich anhand dieser Datenauswertungen nicht aufzeigen. Vielmehr ist festzustellen, dass die untersuchten, in der Umwelt ubiquitär vorhandenen Mikroorganismen (Koloniezahlen, Coliforme) und Fäkalkeime E.coli im Offenland (Coliforme und E. coli: auch im Wald) höhere bzw. häufigere Befunde im Grundwasser zeigen als unter versiegelten Flächen.

Diesen Ergebnissen zufolge sind Einträge aus Abwasserexfiltrationen in das Grundwasser gegenüber den Einträgen aus natürlichen Böden geringer und möglich ist auch, dass die spezifischen Bedingungen in urbanen Grundwasserleitern (erhöhte Temperaturen, Salzkonzentrationen etc.) die Überlebensfähigkeit dieser Spezies herabsetzen. Außerdem sind negative Interaktionen mit den Abwasserinhaltsstoffen möglich (z.B. können Keime durch Wasch- und Desinfektionsmittel abgetötet bzw. durch erhöhte pH-Werte und erhöhte Temperaturen in ihrer Überlebensfähigkeit gemindert werden).

Da Coliforme Keime und E. coli während der Bodenpassage sowie im Grundwasser nur begrenzt überlebensfähig sind und daher weder eine „Anreicherung“ im Grundwasserleiter noch eine Ausbreitung über längere Fließstrecken zu erwarten ist, wurde zusätzlich geprüft, ob sich die unmittelbar am Ort der Messstelle vorherrschende Nutzung („Punkt-Nutzung“) ggf. deutlicher bemerkbar macht als die im Einzugsgebiet der Messstelle vorherrschende Nutzung (Abb. 24).

Diese Auswertungen lassen jedoch ebenfalls noch keine klaren Schlussfolgerungen zu.

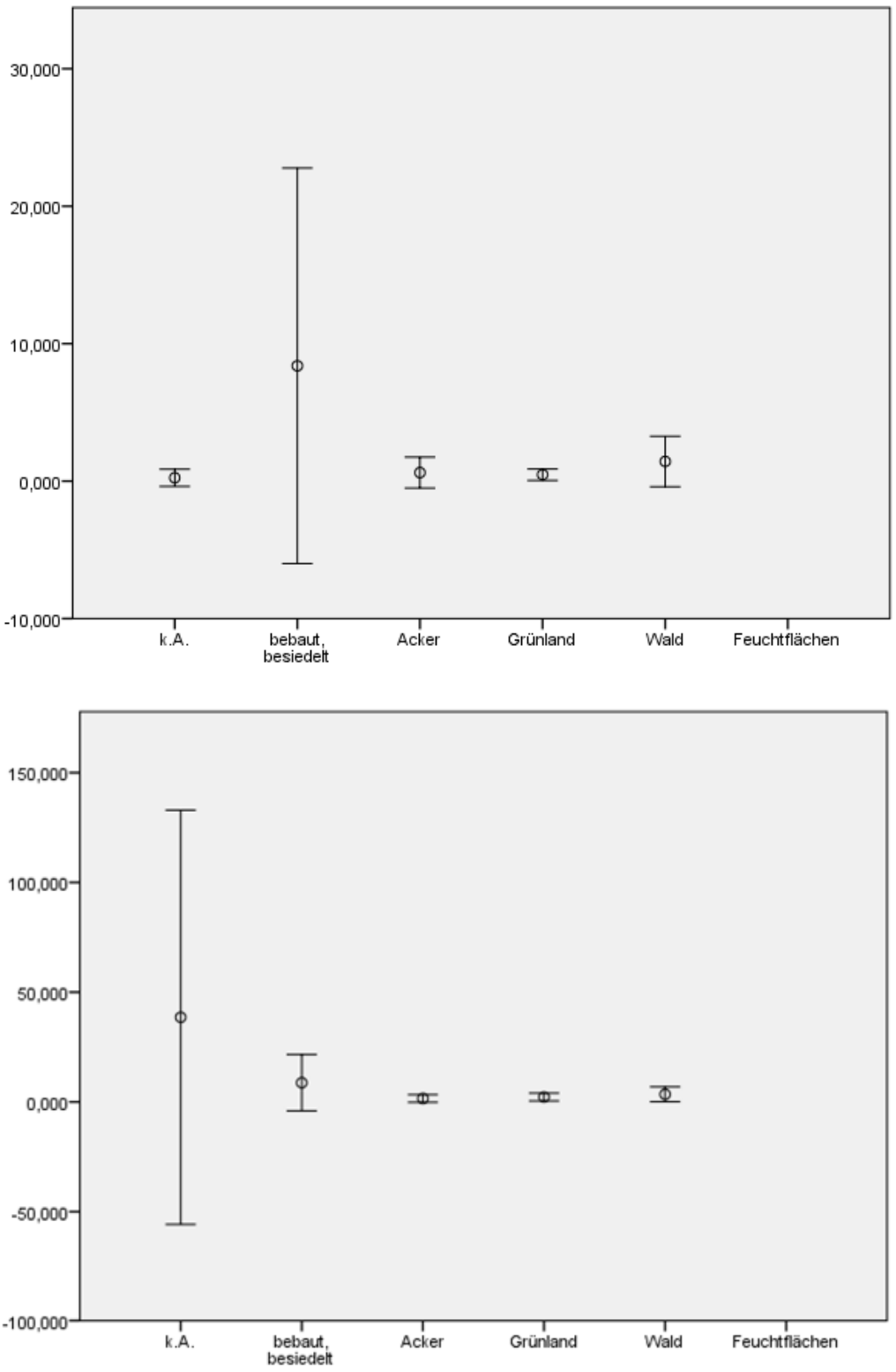


Abb. 24: Bakteriologische Befunde (Maximalwerte und Konfidenzintervall, Anzahl/100 mL) von **E. coli** (oben) und **Coliformen Keimen** (unten) gruppiert nach Landnutzung unmittelbar am Ort der Messstelle

3.2.4 Relevanz weiterer Einflussfaktoren

Verfilterungstiefe

Unter der Annahme, dass Abwasserexfiltrationen möglicherweise verstärkt oder „nur“ im oberen Bereich eines Grundwasserleiters nachweisbar sein könnten, wurden für diverse Indikatorparameter differenzierte Auswertungen nach Filterlage der Grundwasser-Messstellen („Probenahmetiefe“) im Grundwasserleiter durchgeführt. Im Einzelfall hängt die Tiefenverteilung eines Befundes von der räumlichen Beziehung zwischen Filterlage, Grundwasserströmung und Emissionsquelle ab (vgl. Abb. 8). Im Gesamtdatenkollektiv kann eine eventuelle Häufung erhöhter Befunde im oberen Bereich des Grundwasserleiters statistisch geprüft und ggf. als Hinweis auf eine räumliche Begrenzung interpretiert werden.

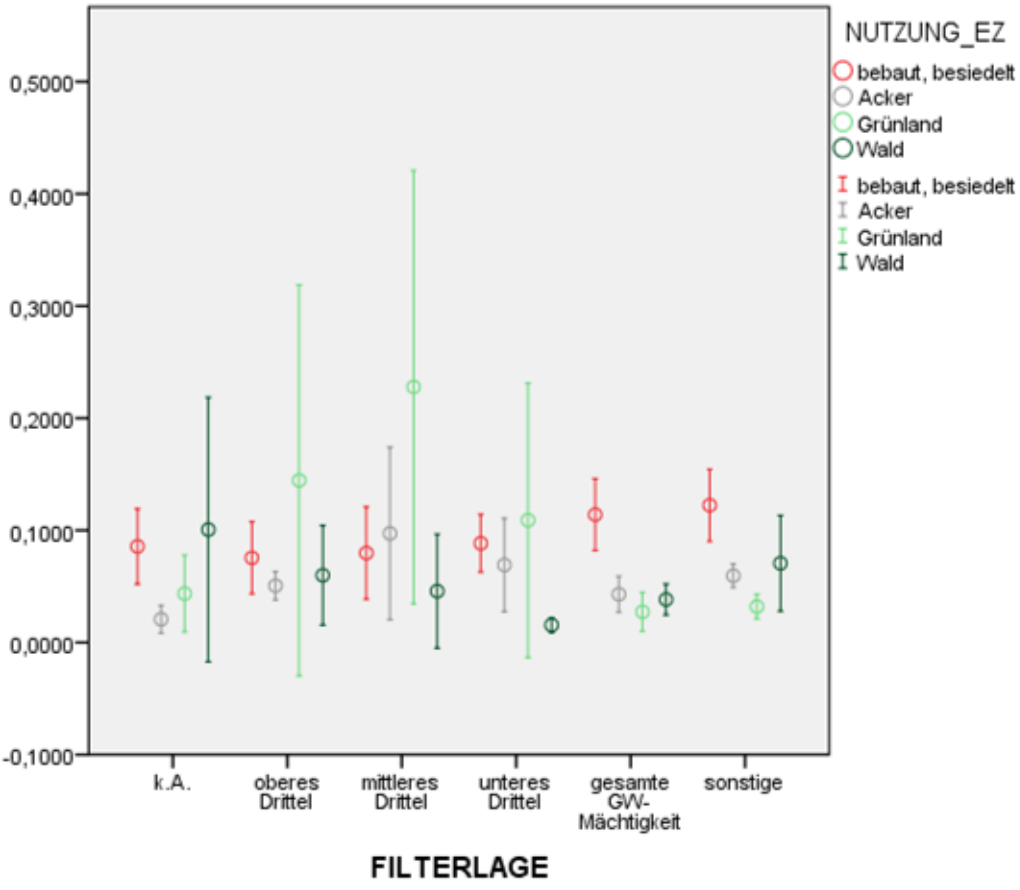


Abb. 25: Zusammenhang zwischen **Bor-Konzentrationen** (Mittelwerte und Konfidenzintervall in mg/L) und Filterlage der Grundwassermessstelle im Grundwasserleiter (oberes, mittleres, unteres Drittel; gesamte GW-Mächtigkeit) differenziert nach Landnutzung im Einzugsgebiet

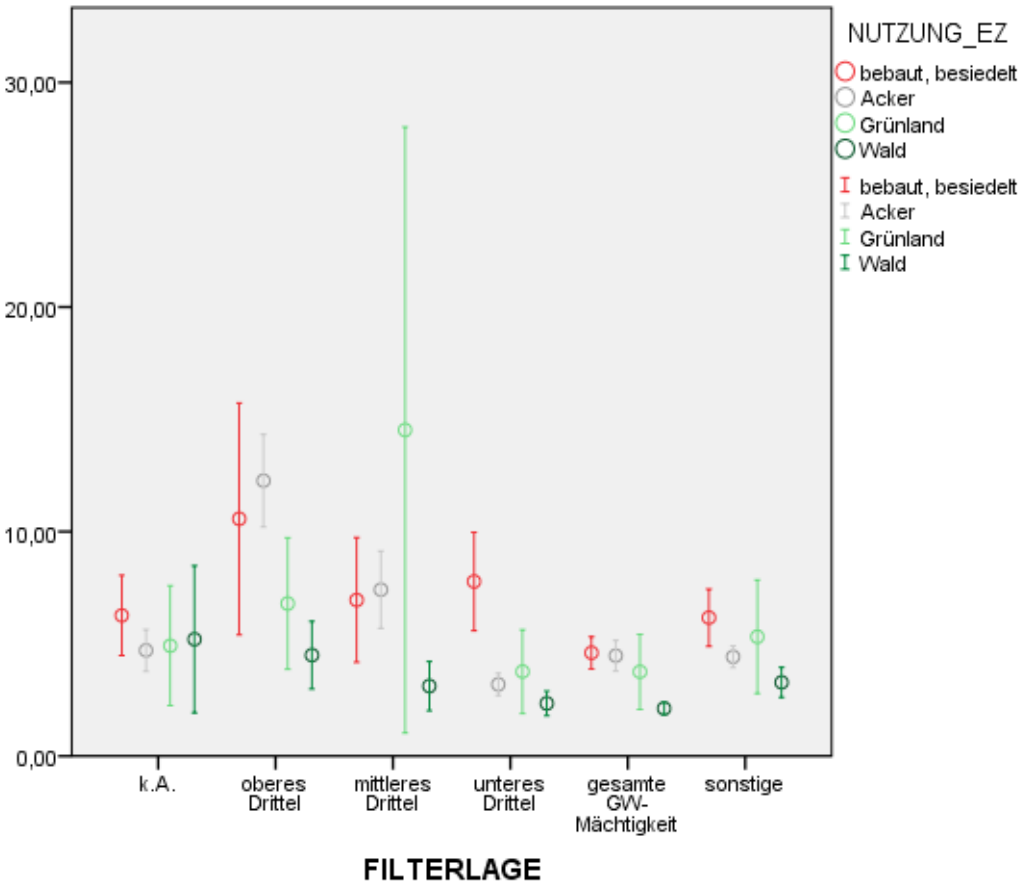


Abb. 26: Zusammenhang zwischen **Kalium-Konzentrationen** (Mittelwerte und Konfidenzintervall in mg/L) und Filterlage der Grundwassermessstelle im Grundwasserleiter (oberes, mittleres, unteres Drittel; gesamte GW-Mächtigkeit) differenziert nach Landnutzung im Einzugsgebiet.

Die Unterschiede hinsichtlich der anorganischen Parameter zwischen Siedlungs- und Waldbeeinflussten Messstellen sind im gesamten Grundwasserleiter festzustellen. Sie beschränken sich keineswegs nur auf das obere oder mittlere Drittel des Grundwasserleiters (Abb. 25 und 26).

Diese Beobachtung lässt sich dadurch erklären, dass die Salze im Grundwasser nicht abgebaut werden. Sie können sich daher aufgrund ihrer Löslichkeit im gesamten Grundwasserleiter anreichern. Gerade im Bereich von Absenkungstrichtern bei Roh- und Brauchwasserentnahmen können Verunreinigungen im urbanen Grundwasser bis in große Tiefen gelangen (Beier, 2008).

Grundwasserflurabstand

Grundsätzlich kann angenommen werden, dass sich eventuelle Abwasserexfiltrationen besonders bei niedrigen Grundwasserflurabständen im Grundwasser bemerkbar machen. Die obigen, nicht nach Grundwasserflurabständen differenzierten Auswertungen zeigen jedoch, dass zur Feststellung von Siedlungseinflüssen im Grundwasser diesbezüglich keine Einschränkung getroffen werden muss. Die höchsten Kalium-Konzentrationen finden sich unter Siedlungseinfluss erwartungsgemäß bei niedrigen Grundwasserflurabständen (0,8 bis 8,0 m). Dies gilt in analoger Weise jedoch auch für Messstellen unter Einfluss von Grünland- oder

Ackernutzung. Im Vergleich zu Waldmessstellen erhöhte Werte sind auch bei hohen Grundwasserflurabständen (10-20 m) noch deutlich[6], und selbst bei sehr großen Flurabständen (>10 m) noch vereinzelt feststellbar (Abb. 27).

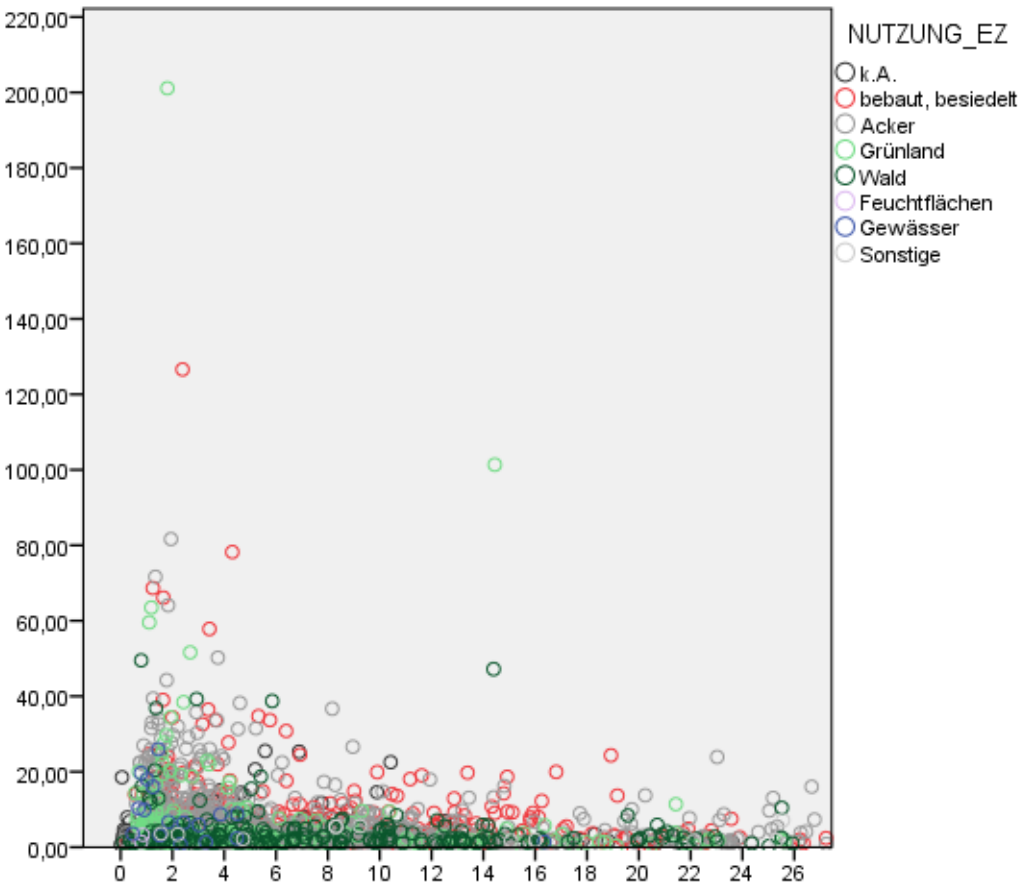


Abb. 27: Vergleich der **Kalium-Konzentrationen** (Ordinate, Medianwerte in mg/L) von Grundwassermessstellen der verschiedenen Nutzungseinflüsse in Abhängigkeit der mittleren Grundwasserflurabstände (Abszisse; m)

Mächtigkeit des Grundwasserleiters

Unter der Annahme, dass abgesehen von der Filterlage der Grundwassermessstelle evtl. die Mächtigkeit des Grundwasserleiters für die Befundlage bei mikrobiologischen oder anthropogen eingetragenen, biologisch abbaubaren Parametern relevant sein könnte, wurden mögliche Zusammenhänge für die untersuchten, nicht geogen vorhandenen Indikatorparameter zur Grundwassermächtigkeit (Mächtigkeit in m) geprüft. Es konnten jedoch keine plausiblen Zusammenhänge festgestellt werden, die Anlass für die Annahme geben würden, dass bestimmte Nutzungseinflüsse nur oder verstärkt in gering mächtigen Grundwasserleitern nachzuweisen sind.

[6] deutlich hinsichtlich Höhe und Häufigkeit der Werte > Referenzwert 5,3 mg/L, s. Tab.1.

Siedlungseinflüsse in Rohwasserbrunnen

Anhand des Indikatorstoffes Bor kann gezeigt werden, dass mutmaßlich abwasserbürtige Beeinflussungen der Grundwasserqualität auch in Rohwasserbrunnen der öffentlichen Wasserversorgung in vergleichbarer Weise wie bei „normalen“ Grundwassermessstellen feststellbar sein können.

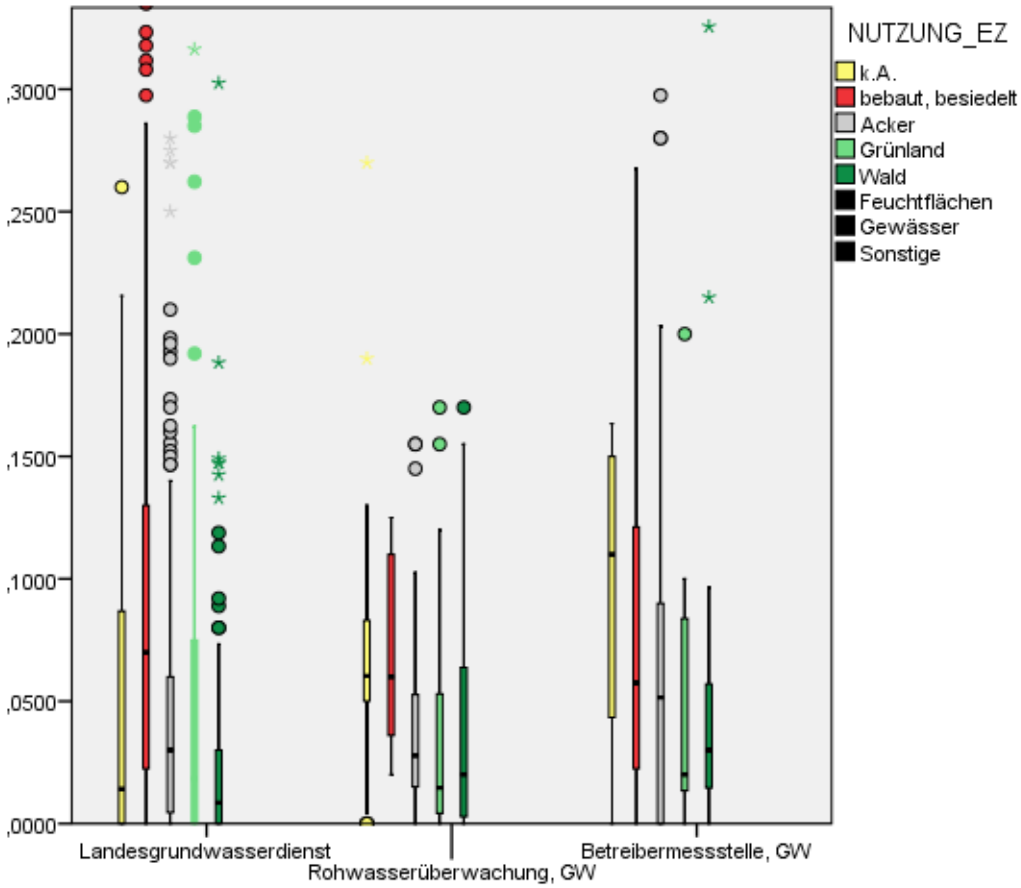


Abb. 28: **Bor-Konzentrationen** in Grund- und Rohwasser von Messstellen verschiedener Messprogramme differenziert nach vorherrschender Landnutzung im Einzugsgebiet.

Die Bor-Konzentrationen in siedlungsbeeinflussten Rohwasserbrunnen sind, ebenso wie bei den Grundwassermessstellen (Landesgrundwassermessdienst, Betreibermessstellen), signifikant höher als unter Acker-, Grünland- oder Waldnutzung (Abb. 28).

Auch bei den anderen hier untersuchten anorganischen Indikatorstoffen sind hinsichtlich der Landnutzungseinflüsse vergleichbare Resultate bei den Rohwasser- und Grundwassermessstellen feststellbar. Das bedeutet, dass die dargestellten Einflüsse bei vorherrschender Bebauung / Besiedlung im Einzugsgebiet grundsätzlich auch die Rohwassergewinnung betreffen.

3.2.5 Regionalisierte Betrachtungen (Beispielhafte Kartenausschnitte)

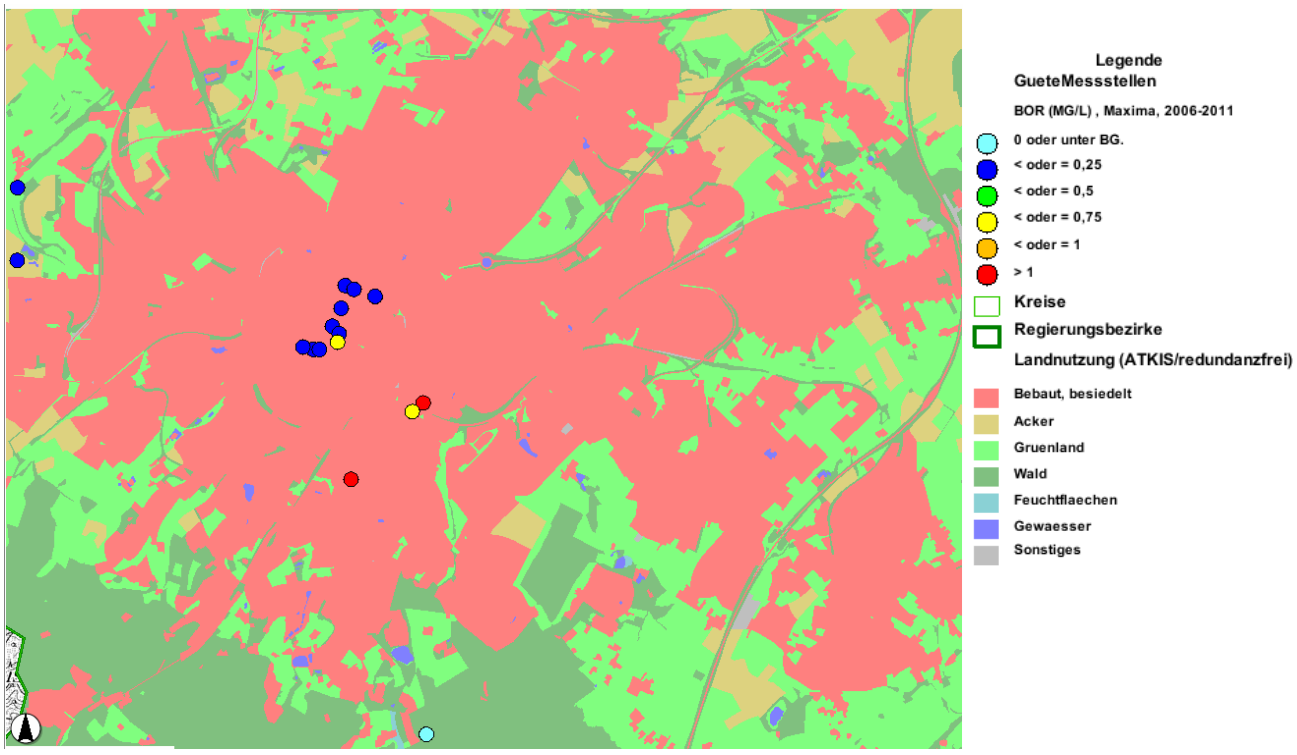
Die Grundwassermessstellen der nordrhein-westfälischen Landesgrundwasserdatenbank HYGRIS-C sind repräsentativ auf alle 275 Grundwasserkörper Nordrhein-Westfalens verteilt und lassen sich nach Landnutzungseinflüssen im Einzugsgebiet (Hauptnutzungen: Bebauung/Besiedlung, Acker, Grünland, Wald) auf die qualitative Grundwasserbeschaffenheit statistisch auswerten. Einzelfallbezogene Aussagen zu lokalen Punktquellen lassen sich aus diesem Messnetz nicht oder nur eingeschränkt ableiten. Vielmehr werden landnutzungstypische Punktquellen summarisch als „diffuse“ Einträge identifiziert.

Eine Einzelfall-bezogene Kausalität für die Fragestellung „Kanalleckagen“ ist mit diesem Messnetz nicht darstellbar. Hierfür sind stadtbezogene Messnetze mit einer – im Idealfall – reihenförmigen Anordnung der Messstellen im Anstrom, im Stadtgebiet (für verschiedene Stadteile / Straßenzüge) und im Abstrom der Stadt erforderlich, die hier nicht vorliegen.

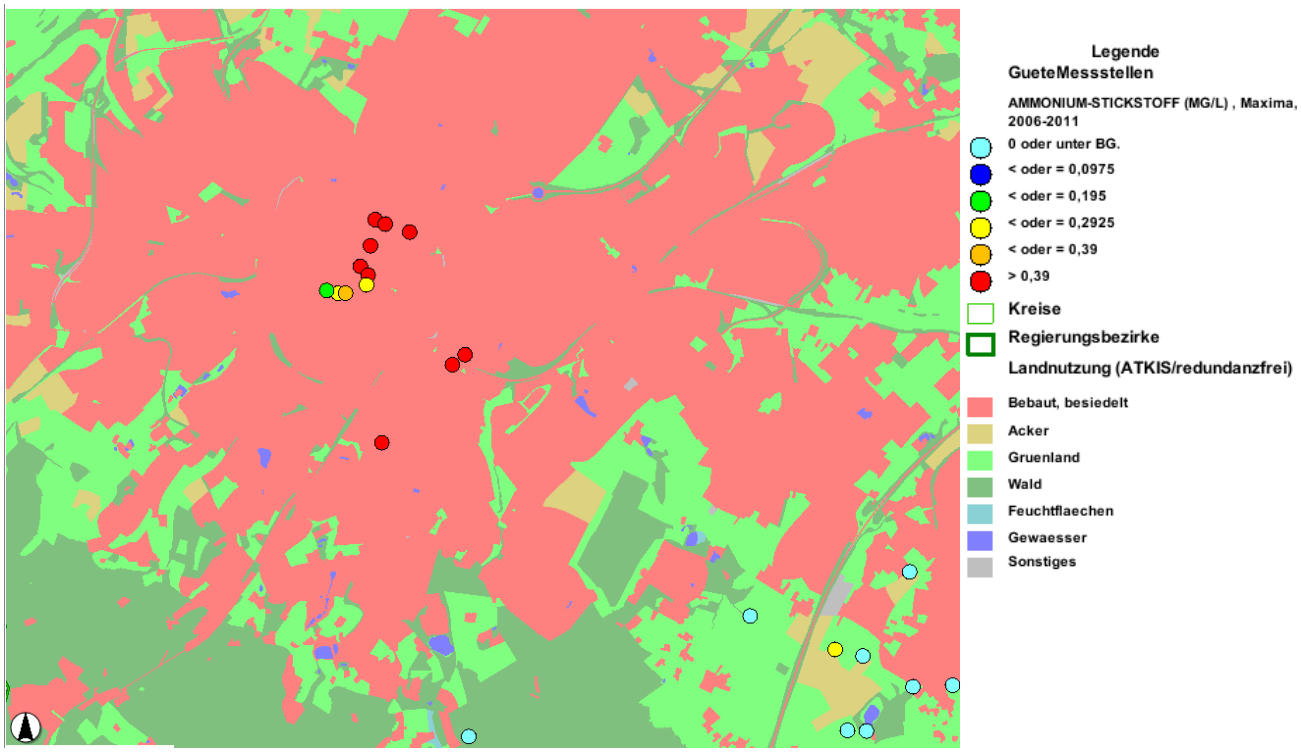
Vor diesem Hintergrund sind somit auch die dargestellten Kartenausschnitte (Zeitraum 2006-2011) für die drei exemplarisch ausgewählten Städte zu sehen (Abb. 29 bis 31): Sie dienen lediglich zur Veranschaulichung der landesweit allgemein statistisch festgestellten Effekte und sollen nicht zu einer fokussierten Betrachtung der Kanalnetze in den ausgewählten Städte-Beispielen führen. Da es sich z.T. um kommunale Messstellen handelt, sind die Ortsbezeichnungen nicht angegeben.

Stadtgebiet A und Umgebung

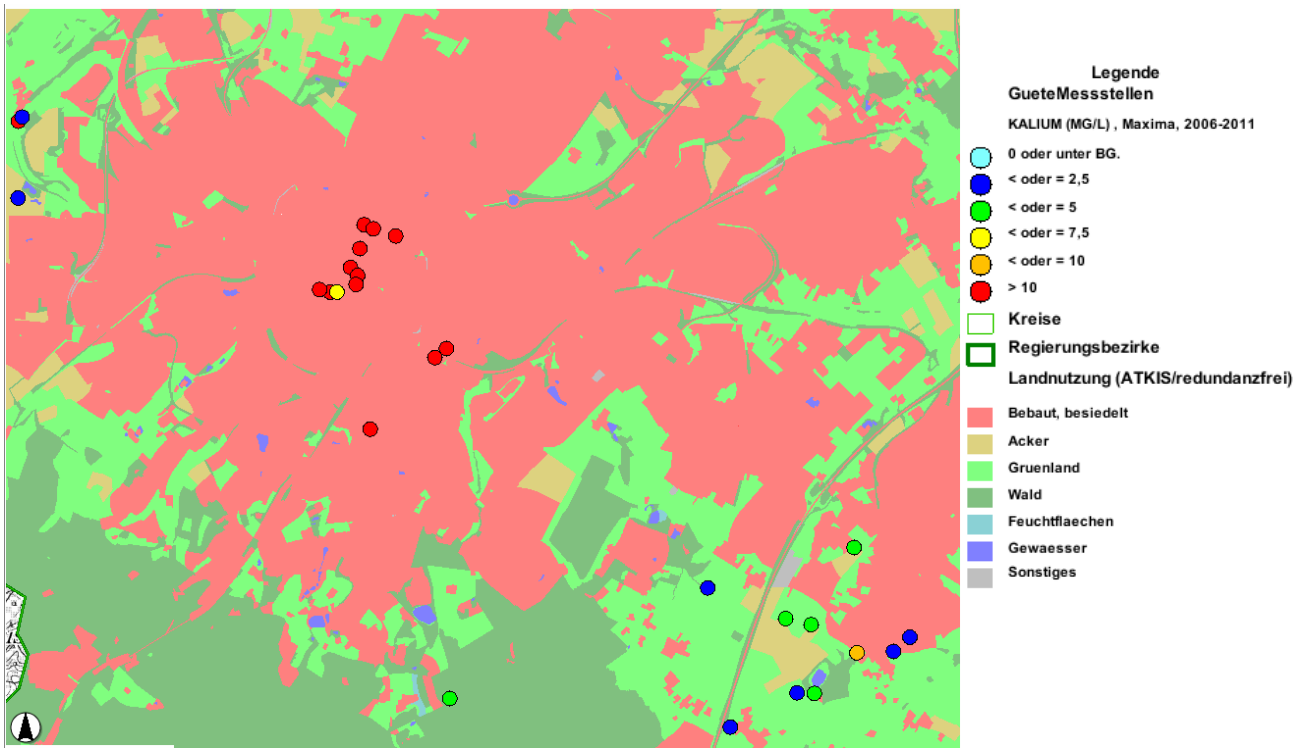
a) Bor



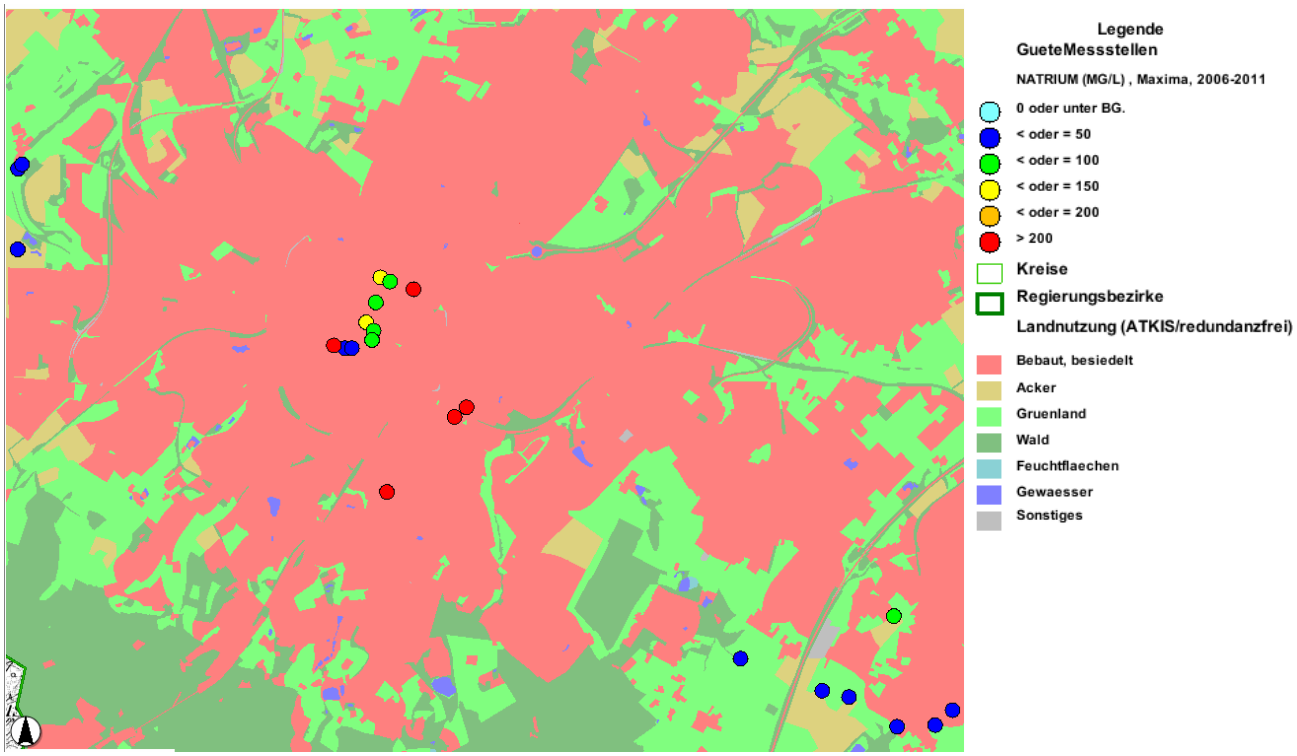
b) Ammonium-Stickstoff



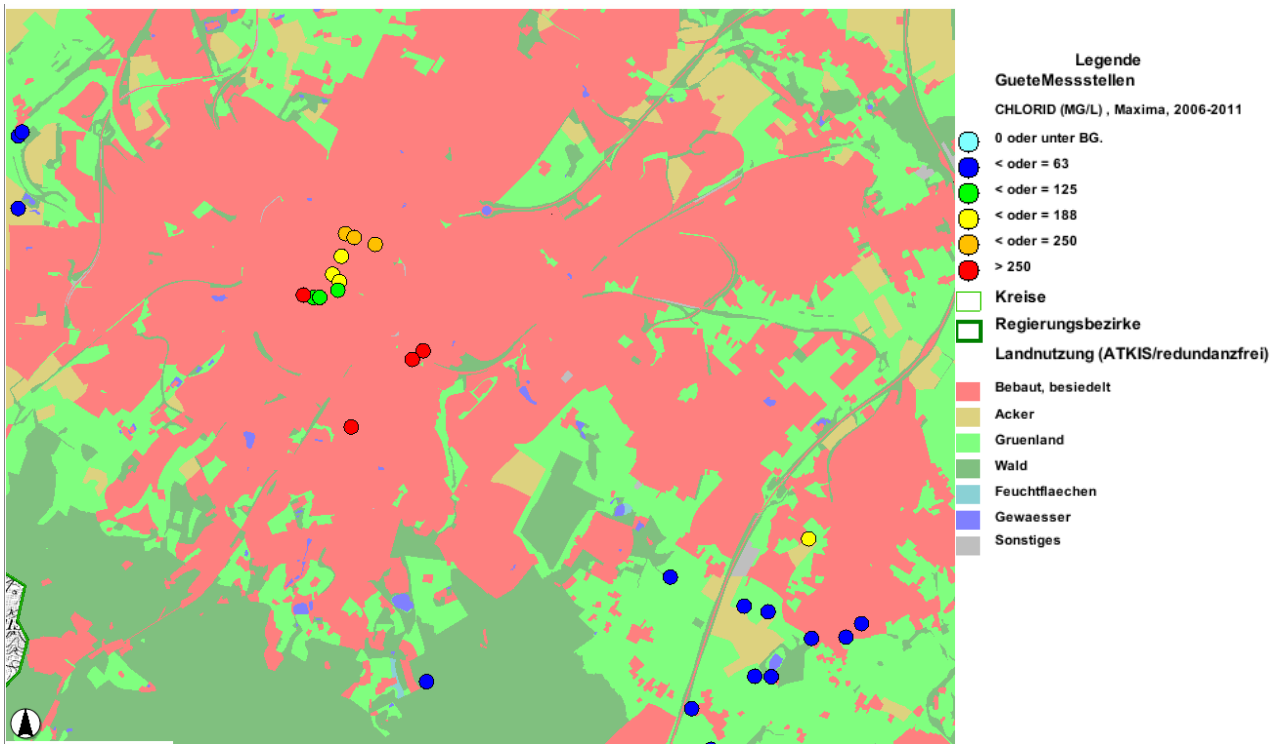
c) Kalium



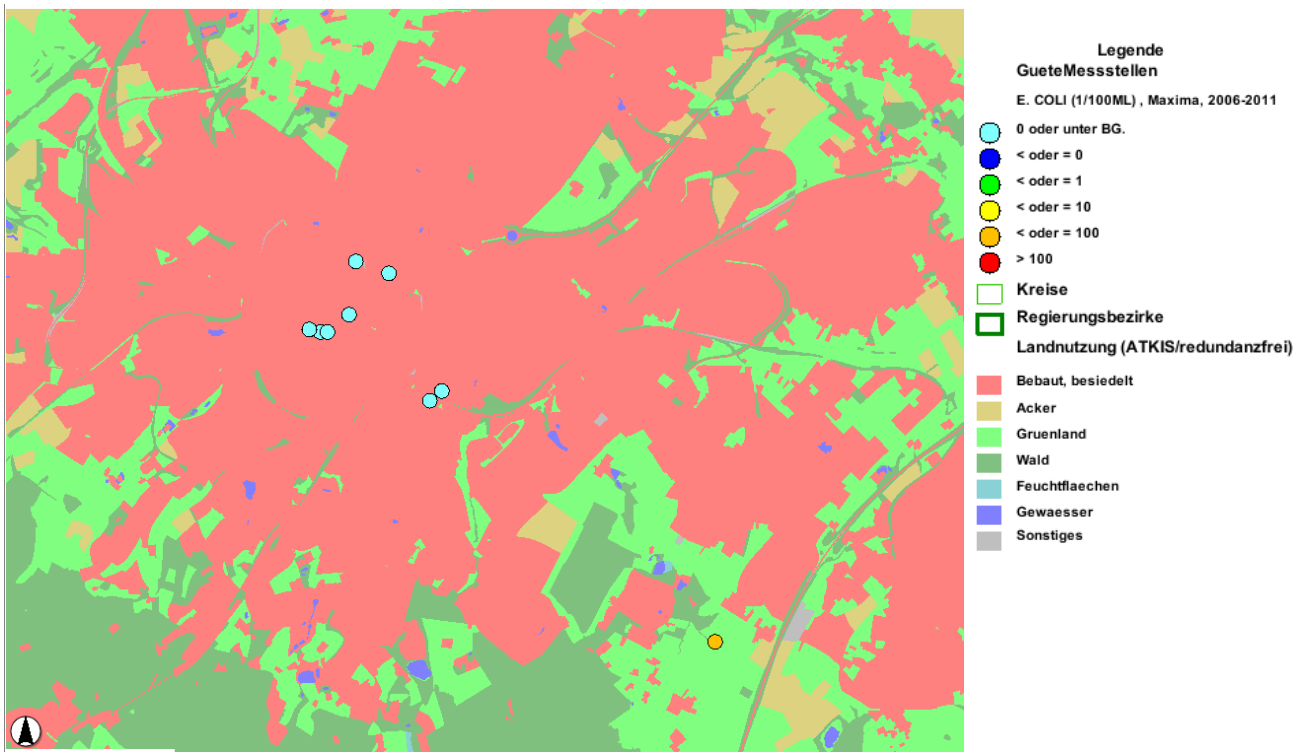
d) Natrium



e) Chlorid



f) E. coli



g) Coliforme Keime

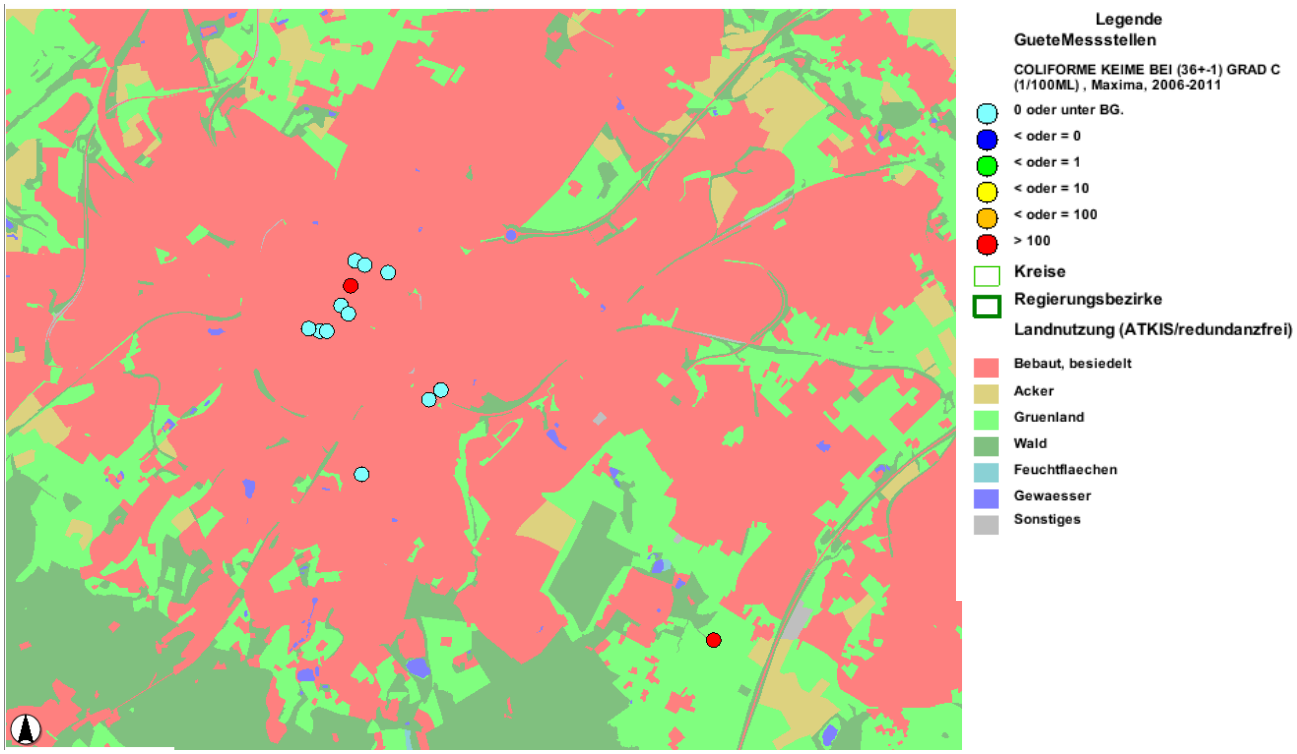
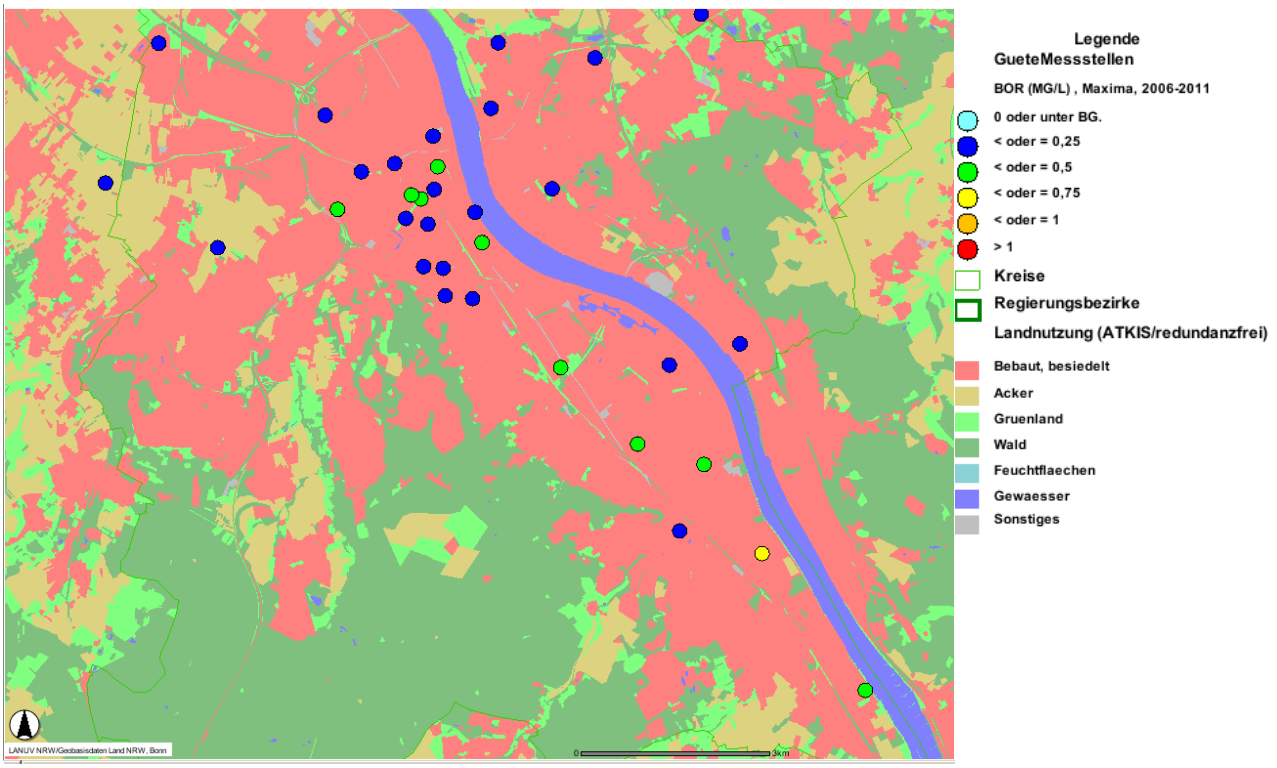


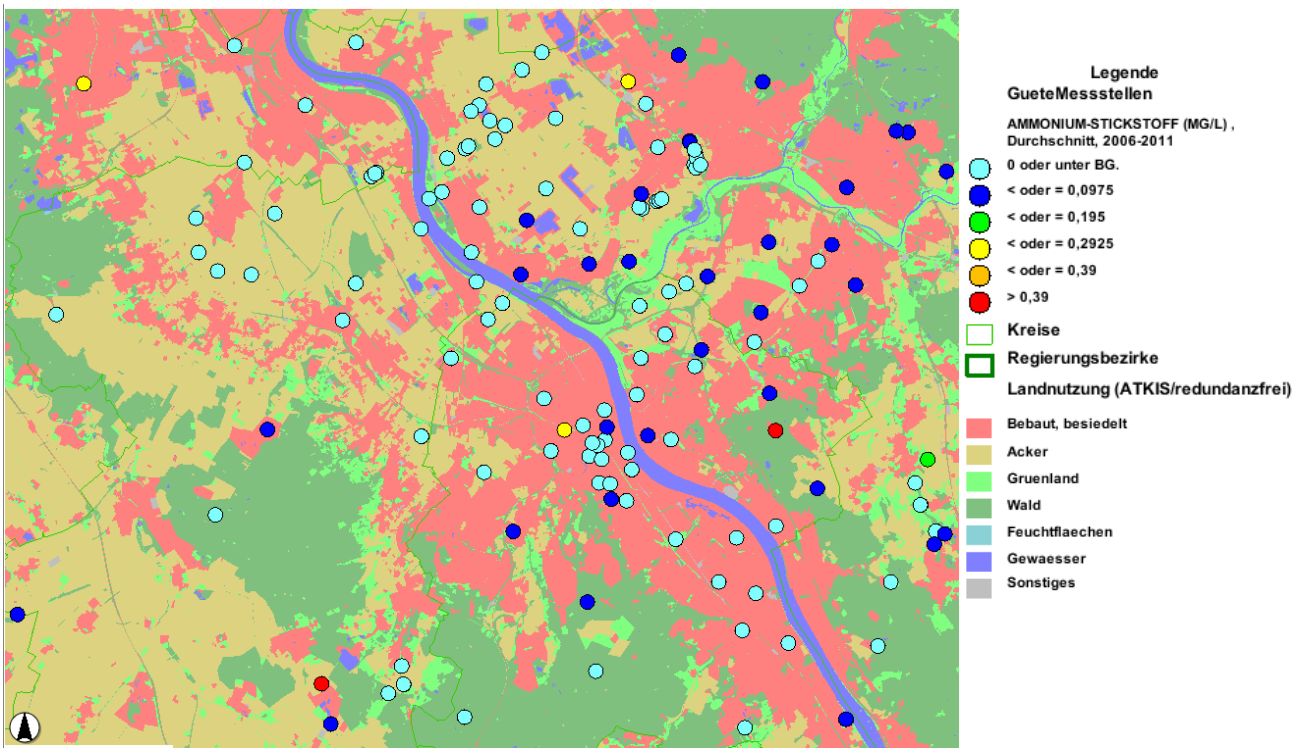
Abb. 29 a) - g): Maximalkonzentrationen anorganisch-chemischer Indikatorstoffe sowie bakteriologischer Parameter im Grundwasser der Stadt A und Umgebung

Stadtgebiet B und Umgebung

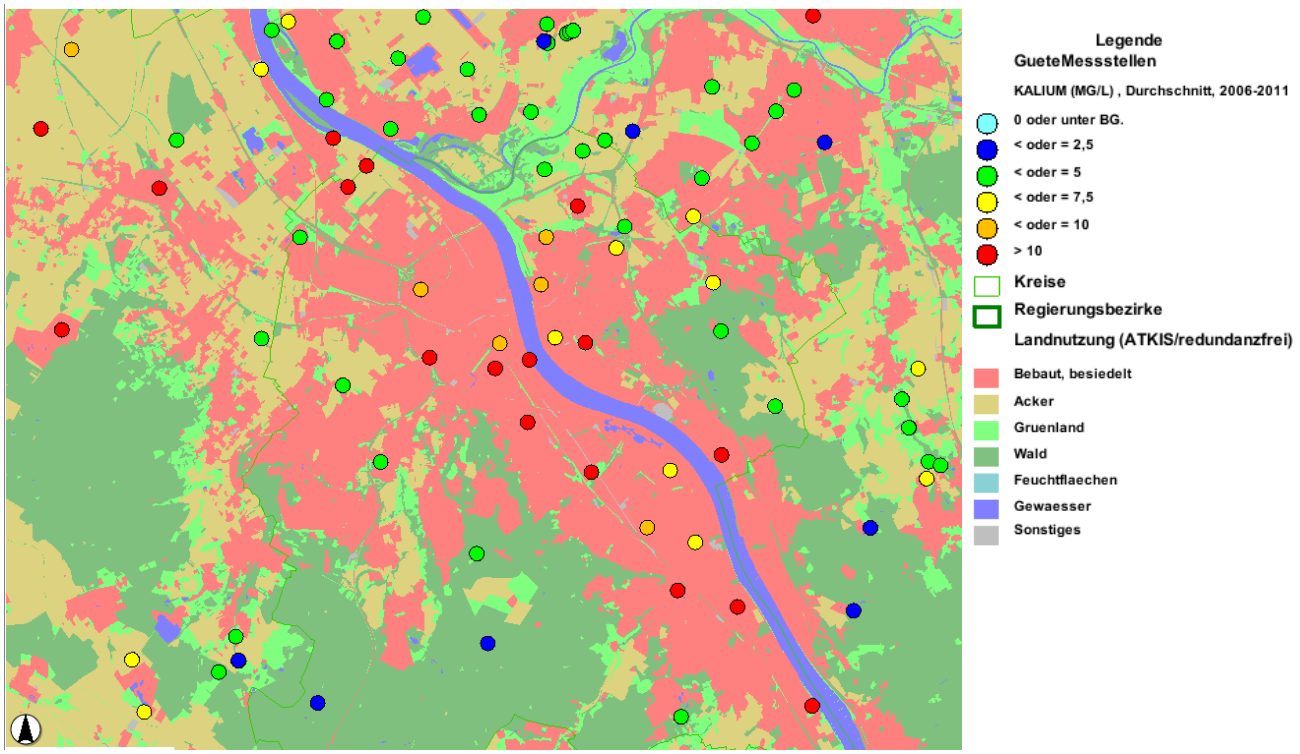
a) Bor (Maximalwerte)



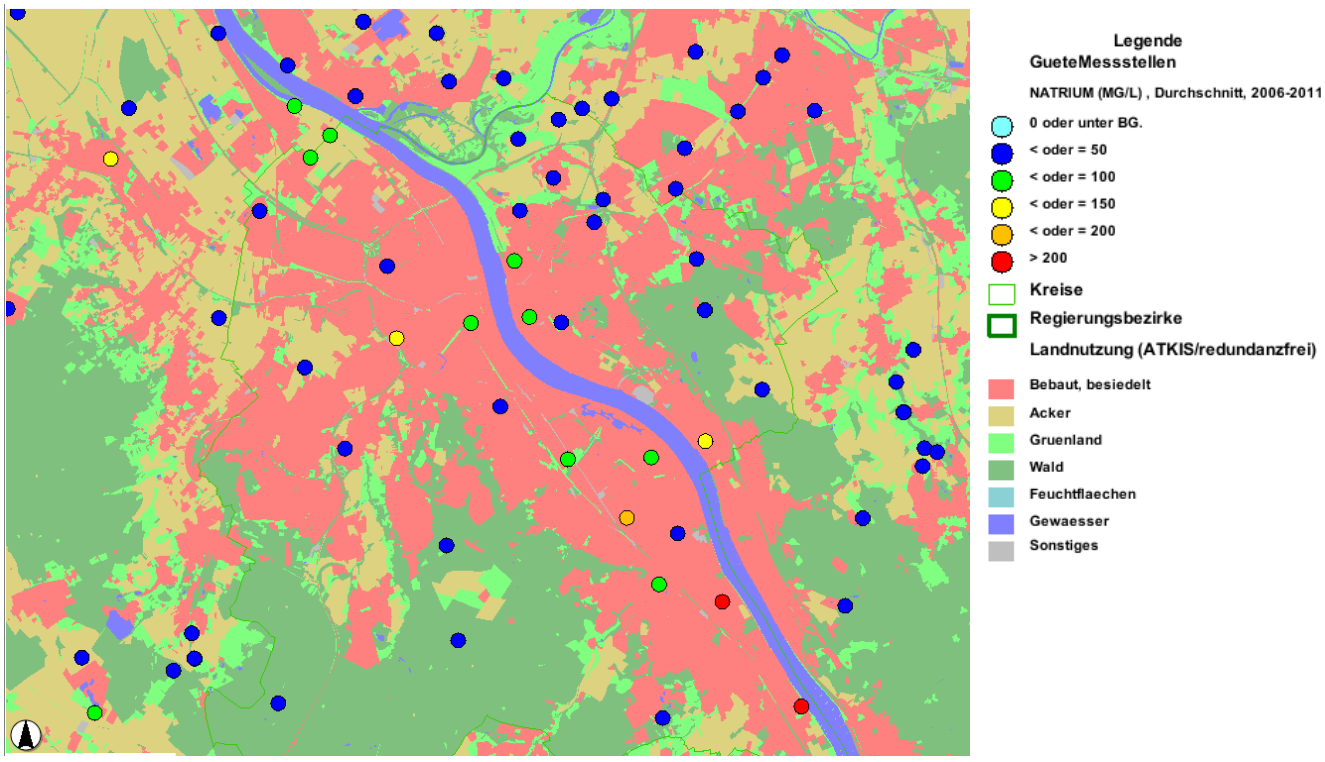
b) Ammonium-Stickstoff (Mittelwerte)



c) Kalium (Mittelwerte)



d) Natrium (Mittelwerte)



e) Chlorid (Mittelwerte)

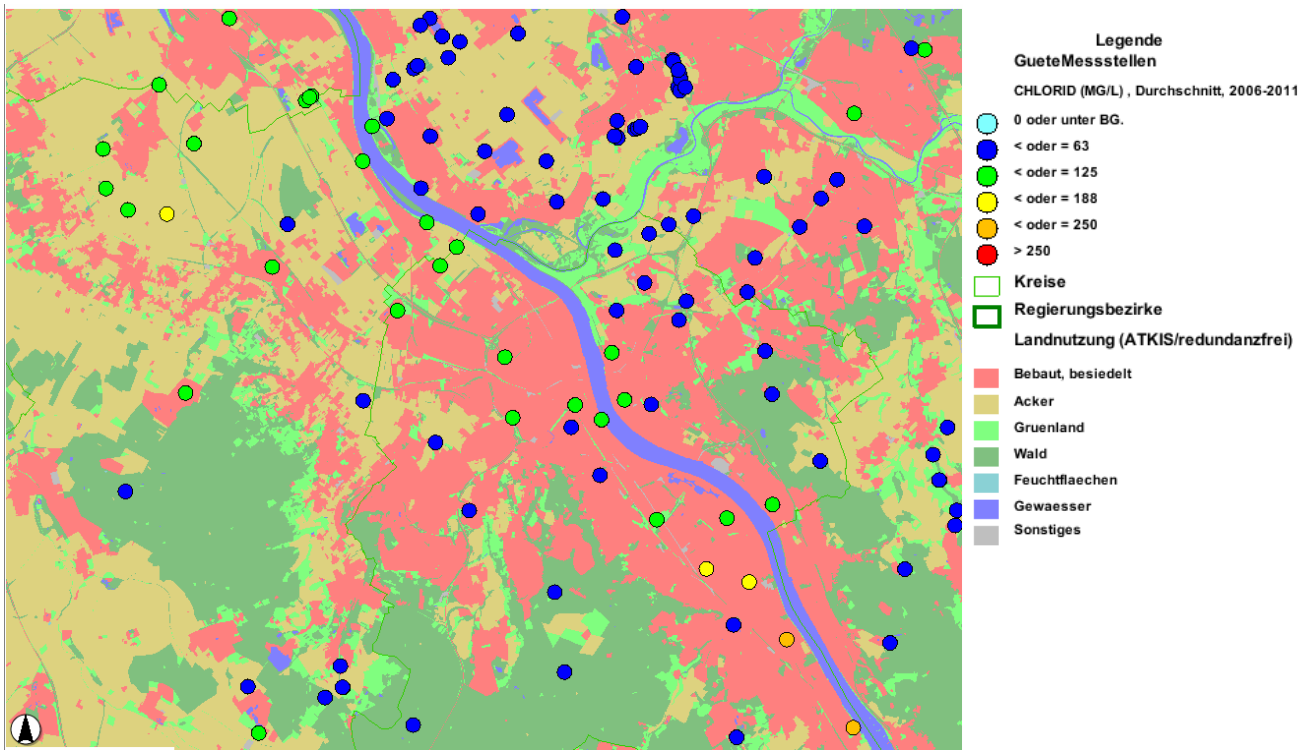
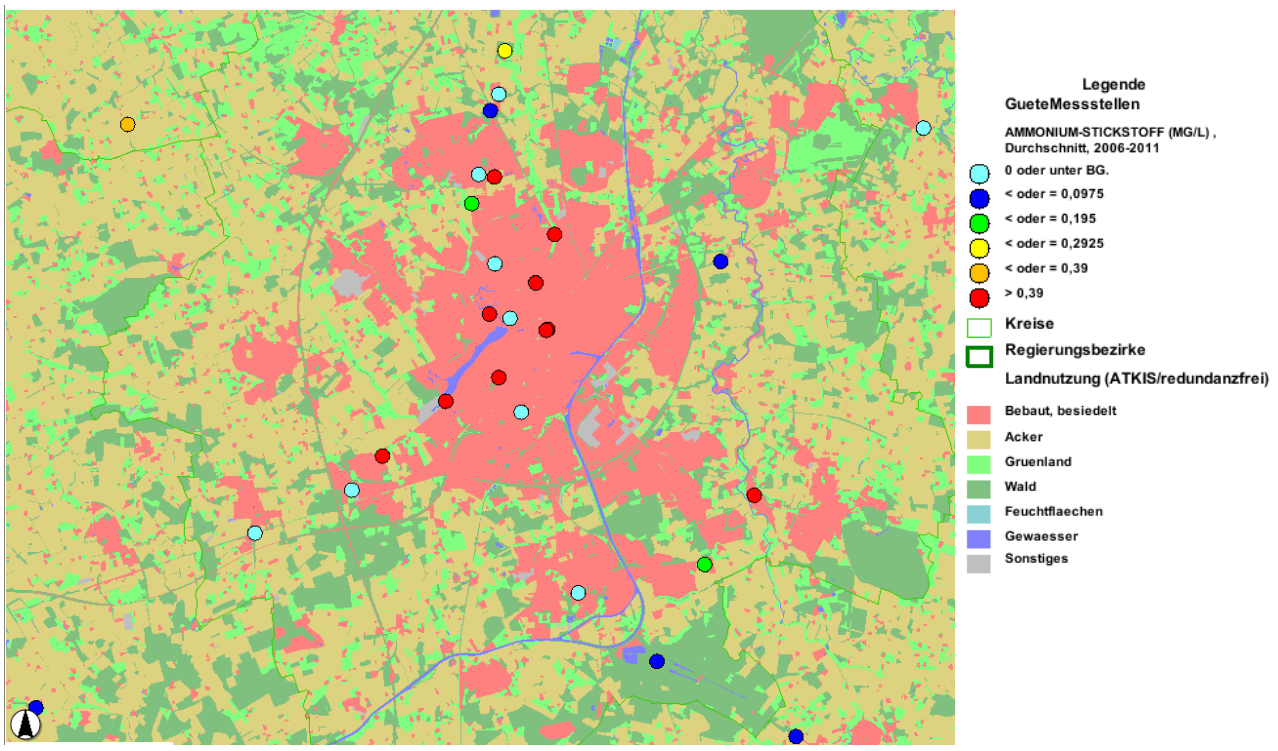


Abb. 30 a) - e): Maximale und mittlere Konzentrationen anorganisch-chemischer Indikatorstoffe im Grundwasser der Stadt B und Umgebung

Stadtgebiet C und Umgebung

a) Ammonium-Stickstoff



b) Kalium

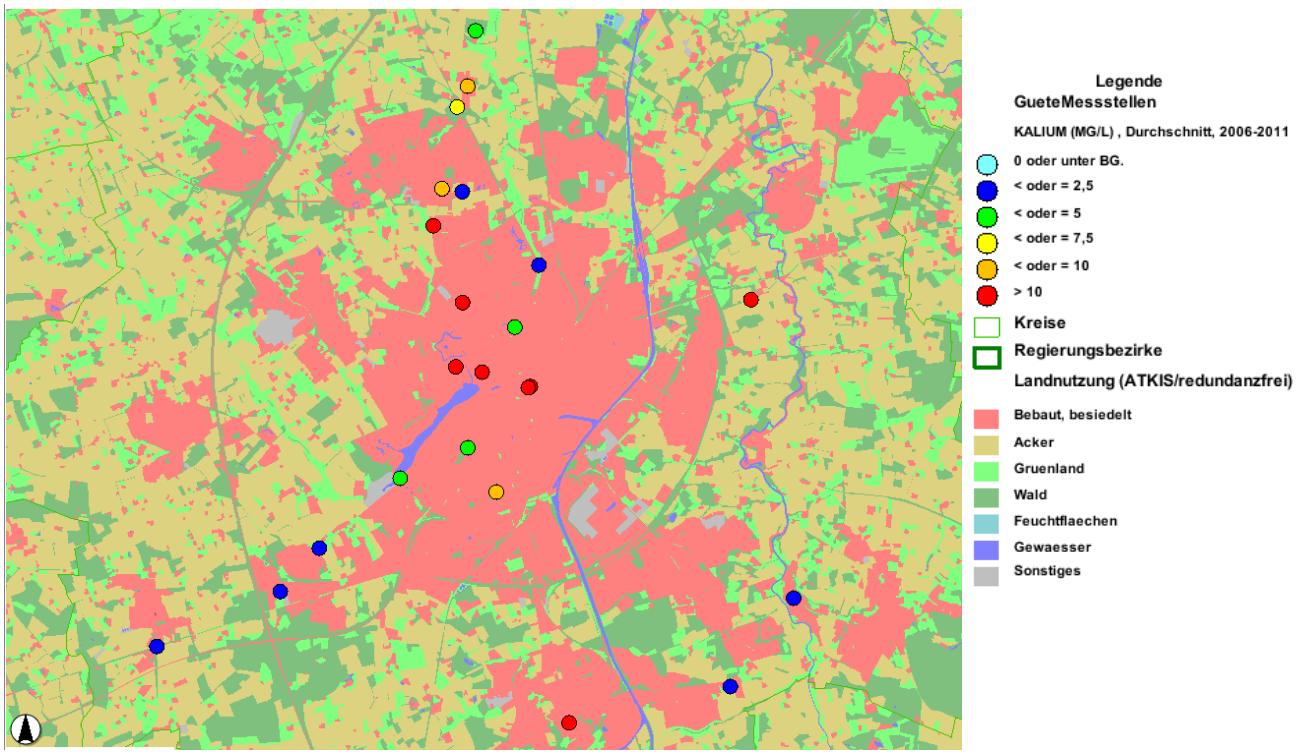


Abb. 31 a), b): Mittlere Konzentrationen von Ammonium-Stickstoff und Kalium im Grundwasser der Stadt C und Umgebung

Im Ergebnis ist festzustellen, dass bei den exemplarisch gezeigten Städten in verschiedenen Landesteilen Nordrhein-Westfalens, zu denen Messwerte zur Grundwasserbeschaffenheit an mehreren Messstellen innerhalb und außerhalb der Stadt vorliegen, die vorgenannten und in der Literatur beschriebenen Beeinflussungen hinsichtlich abwassertypischer Indikatorstoffe im Grundwasser deutlich erkennbar sind.

4. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Grundwassermessstellen der nordrhein-westfälischen Landesgrundwasserdatenbank HYGRIS-C sind repräsentativ auf alle 275 Grundwasserkörper Nordrhein-Westfalens verteilt und lassen sich nach Landnutzungseinflüssen im Einzugsgebiet (Hauptnutzungen: Bebauung/Besiedlung, Acker, Grünland, Wald) auf die qualitative Grundwasserbeschaffenheit statistisch auswerten. Für das erste Grundwasserstockwerk steht für die ausgewerteten Betrachtungszeiträume (2000-2005 bzw. 2006-2011) ein Messstellenkollektiv von mehr als 3.600 Messstellen mit Messdaten zur chemischen Grundwasserbeschaffenheit zur Verfügung (Tabellen 3+4).

Die Auswertung der Analysenergebnisse der landesweiten Grundwassermessstellen in Nordrhein-Westfalen in Hinblick auf abwasserrelevante Parameter an Messstellen im Einfluss von Siedlungsgebieten zeigt im Vergleich zu den als „unbeeinflusst“ angenommenen Messstellen (mit Nutzungseinfluss Wald) deutliche, statistisch signifikante Hinweise auf abwassertypische Grundwasserkontaminationen. Dies kann anhand der landesweit ausgewerteten Messdaten zu den anorganischen Indikatorstoffen Bor, Kalium, Natrium und Chlorid sowie mit Einschränkung auch für Ammonium sehr deutlich aufgezeigt werden. Die Typisierung der Beschaffenheitsmerkmale abwasserbeeinflusster Grundwässer wurde den Literaturauswertungen entnommen. Anhand der NRW-Daten kann außerdem gezeigt werden, dass diese Auffälligkeiten grundsätzlich auch bei hohen Grundwasserflurabständen und über die gesamte Grundwassermächtigkeit im ersten Grundwasserstockwerk anzutreffen sind. Kausalzusammenhänge zwischen den Beschaffenheitsmerkmalen der siedlungsbeeinflussten Messstellen zu Abwasserexfiltrationen aus undichten Kanälen können auf Basis der in HYGRIS-C vorliegenden landesweiten Grundwasserdaten jedoch aus Gründen der pro Stadt vorliegenden, innerstädtischen Messstellendichte und –verteilung nicht untersucht werden. Diesbezüglich wird auf die Literaturauswertung verwiesen.

Eingehend untersucht und in der Literaturauswertung dargestellt sind die Effekte der Exfiltration aus Abwasserkanälen auf das Grundwasser in den Städten Rastatt, Karlsruhe, Linz (Oberösterreich), Leipzig, Halle und Darmstadt (vgl. Kap. 2; Anhang 2). Grundsätzlich konnte für alle genannten Städte ein deutlicher abwasserbürtiger Einfluss auf die Grundwasserqualität festgestellt werden. Dies ist in den untersuchten Städten / Stadtgebieten anhand der anorganischen Indikatorstoffe (z.B. Ammonium, Bor, Natrium, Kalium, Chlorid) festzustellen. Die Konzentrationen im Grundwasser zeigen entlang der Messstreifen auf dem Fließweg unter der Stadt sowohl stetige Anstiege als auch punktuelle Sprünge. Entsprechende Beob achtungen konnten bei allen untersuchten Städten gemacht werden. Daneben wurden auch anthropogene Spurenstoffe aus der Gruppe der Humanarzneistoffe (z.B. Carbamazepin, Clofibrinsäure, Metoprolol, Solatol), Röntgenkontrastmittel (z.B. Amidotrizoesäure), Rückstände aus Körperpflegeprodukten (synthetische Moschusverbindungen Tonalid, Galaxolid), weit verbreitete Industriestoffe mit endokriner Wirkung (Bisphenol A, Nonylphenol), Kom-

plexbildner (EDTA, NTA) oder auch natürliche anthropogen eingetragene Stoffe Koffein, D-Limonen (Zitrus-Duftstoff) festgestellt.

Daten zu Fäkalkeimen wie z.B. E.coli, Fäkalstreptokokken, Enterokokken wurden nur von wenigen Autoren erhoben bzw. ausgewertet. Oft liegen keine bakteriologischen Daten oder nur Daten zu unspezifischen, ubiquitär verbreiteten Umwelt-Coliformen, Koloniezahlen etc. vor. Bei den NRW-Messstellen zeigen Koloniezahlen, Coliforme Keime und E. Coli bei den siedlungsbeeinflussten Messstellen (d.h. Messstellen mit überwiegend versiegelten Gebieten im Einzugsgebiet) sogar statistisch niedrigere Befunde als unter Landnutzungseinflüssen (Acker, Grünland, Wald) im Einzugsgebiet. Hinweise auf punktuelle Einträge in Siedlungsgebieten (Coliforme und E. coli) waren aber feststellbar. Zu synthetischen Abwasserinhaltsstoffen (Xenobiotika, z.B. Humanarzneistoffen) in urbanen Grundwasserleitern liegen für NRW keine repräsentativen Analysendaten vor.

Anhand der landesweit vorliegenden Grundwasserdaten für siedlungsbeeinflusste und nicht siedlungsbeeinflusste Messstellen in NRW zu den anorganischen Indikatorstoffen konnte noch weiteren Fragen nachgegangen werden, die zur Feststellung und Beurteilung potenzieller Grundwasserkontaminationen aus Kanalleckagen von Belang sein können. Es wurde geprüft, ob erhöhte Konzentrationen von Abwasser-Indikatorstoffen auf Gebiete mit ungünstigen hydrogeologischen Bedingungen, z.B. auf Gebiete mit geringen Flurabständen, flachen Grundwasserleitern oder in mächtiger ausgebildeten Grundwasserleitern nur auf das obere / mittlere Drittel beschränkt sind:

- Grundwassermächtigkeit, Verfilterungstiefe: Die Siedlungseinflüsse lassen sich hinsichtlich der anorganischen Indikatorstoffe im gesamten Grundwasserleiter und unabhängig von der Grundwassermächtigkeit feststellen. Eine Beschränkung der Effekte auf das obere oder mittlere Drittel oder auf Grundwasserleiter mit geringer Mächtigkeit ist nicht erkennbar. Bei den beiden dargestellten Abwasser-Indikatorstoffen Bor und Kalium sind die Unterschiede zwischen siedlungsbeeinflussten und nicht siedlungsbeeinflussten Messstellen sogar im unteren Drittel sowie bei Messstellen, die über die gesamte Grundwassermächtigkeit verfiltert sind, noch deutlicher als bei den im oberen Drittel verfilterten Messstellen (höhere Streuung). Abwassertypische Kontaminationen können die Beschaffenheit des Grundwasserleiters somit in der gesamten Tiefe beeinflussen.
- Grundwasserflurabstände: Die höchsten Befunde (Beispiel Bor) finden sich erwartungsgemäß bei geringen Grundwasserflurabständen zwischen 0,8 und 2,0 m; die größten Unterschiede zwischen siedlungsbeeinflussten und „unbeeinflussten“ (Wald-) Messstellen finden sich tendenziell bei Flurabständen zwischen 0,8 und 8 m, doch auch bei großen GW-Flurabständen zwischen 8 und 20 m und darüber sind die Unterschiede noch (sehr) deutlich erkennbar. Der Einfluss des Grundwasserflurabstandes ist jedoch parameterspezifisch unterschiedlich. Diverse Abwasserkontaminationen können während einer vergleichbar langen Passage durch die ungesättigte Bodenzone an Bodenpartikel adsorbiert und mikrobiologisch abgebaut werden. Wie am Beispiel Bor für einen Vertreter für nicht abbaubare wasserlösliche Stoffe gezeigt,

können abwassertypische Kontaminationen selbst bei großen Grundwasserflurabständen den Grundwasserleiter erreichen und zu signifikant feststellbaren Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit beitragen.

- Räumliche Ausdehnung: Die statistisch festgestellten Unterschiede der Grundwasserbeschaffenheit hinsichtlich abwassertypischer Indikatorparameter bei siedlungsbeeinflussten Messstellen im Vergleich zu nicht siedlungsbeeinflussten Messstellen beziehen sich auf den Landnutzungseinfluss im Einzugsgebiet der Messstellen; zumindest bei den anorganischen chemischen Parametern sind sie nicht an punktuelle Landnutzungseinflüsse unmittelbar am Ort der Messstelle gebunden. Dies spricht dafür, dass sich diffuse Abwasserinfiltrationen in urbanen Grundwasserleitern anreichern und den Grundwasserchemismus mehr als nur punktuell beeinflussen können.
- Rohwasserentnahmebrunnen: Die signifikant erhöhten Konzentrationen abwassertypischer Indikatorstoffe im Grundwasser bei siedlungsbeeinflussten Messstellen im Vergleich zu „unbeeinflussten“ (Wald-)Messstellen lassen sich auch bei Rohwasserbrunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung feststellen. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass Grundwasserentnahmen aus urbanen Grundwasserleitern (v.a. Brauchwasserentnahmen mit größeren Absenkungstrichtern) mit dazu beitragen, dass abwasserbürtige Stoffe, wie oben beschrieben, in große Tiefen des Grundwassers gelangen können.

  Die festgestellten Konzentrationen der hier untersuchten Indikatorstoffe liegen jedoch deutlich unter den Trinkwassergrenz- oder Vorsorgewerten. So sind beispielsweise die festgestellten Bor-Konzentrationen für die Trinkwassergewinnung unbedenklich (Grenzwert der TrinkwV 1,0 mg/L). Der Geringfügigkeitsschwellenwert (LAWA, 2004) für Bor in Höhe von 0,74 mg/L wird ebenfalls im abwasserbeeinflussten Grundwasserleiter erwartungsgemäß (aufgrund der Abwasserkonzentrationen, s. Tab. 2) nur selten erreicht bzw. überschritten. Phytotoxische Wirkungen aufgrund des Bors (Wirkschwelle bei ca. 1 mg/L) bei Verwendung urbanen Grundwassers zur Gartenbewässerung sind ebenfalls unwahrscheinlich.

Wie in der Literaturauswertung (Kap. 2; Anhang 2) dargestellt, können sich die abwasserbürtigen Belastungen des Grundwassers innerhalb von Stadtgebieten nachteilig auf Grundwassernutzungen (Bewässerung, Brauchwasser-, Trinkwassergewinnung) auswirken. Durch Keimbelastungen, erhöhte Salzkonzentrationen, Nährstoff- und chemische Einträge können Privatbrunnen, Grundwasserentnahmen in Stadtgebieten sowie Wasserwerke und Not-Versorgungsanlagen betroffen sein, die im städtischen oder stadtnahen Bereich angesiedelt sind.

Auch die von anderen Autoren festgestellten Befunde von anthropogenen Fremdstoffen (Xenobiotika) in städtischen Grundwässern, für die es in der Regel keine Trinkwassergrenzwerte gibt, werden seitens der Autoren vor diesem Hintergrund bewertet. Beispielsweise wurden in Österreich die Ergebnisse zu den in abwasserbeeinflussten GW-Messstellen ermittelten Carbamazepin-Befunde vor diesem Hintergrund diskutiert (Umweltbundesamt Wien, Schramm et al. 2006). Schramm et al. (2006) gehen davon aus, dass bei Auftreten des An-

tiepileptikums Carbamazepin (oder von Koffein) im Grundwasser gleichzeitig noch mit weiteren abwasserbürtigen Arzneistoffen, Chemikalien oder Mikroorganismen zu rechnen ist, für die ggf. keine Parameterwerte festgesetzt sind oder die bisher gar nicht untersucht wurden und die (ggf. auch durch additive Wirkungen) die Rohwasser- bzw. Trinkwasserqualität ebenfalls beeinträchtigen können. Die im Grundwasser festgestellten Einzelstoff-Konzentrationen der untersuchten Xenobiotika liegen an den abwasserbeeinflussten Messstellen jedoch meist unterhalb des allgemeinen Vorsorgewertes von 0,1 µg/L, nur in Einzelfällen auch (deutlich) darüber.

Zur Feststellung erster Hinweise auf mögliche abwasserbürtige Kontaminationen des Grundwassers sind die konventionell untersuchten anorganischen Parameter (u.a. Bor, Kalium, Natrium, Chlorid, Ammonium) grundsätzlich gut geeignet. Die allgemeinen chemisch-physikalischen Grundwasserparameter sind dabei zur Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit gesamtheitlich zu bewerten. So lassen sich dem Abwassereinfluss typischerweise erhöhte Werte für Wassertemperatur, Phosphat, Bor und Kalium zuordnen, die mit den Indikatoren für reduzierende Grundwasserbedingungen (Mangan und Nitrit) verknüpft sind; Nitrat tritt bei Abwassereinfluss separat davon bei oxidierten Bedingungen auf (Beier 2008). Bei den geogen vorhandenen Stoffen müssen generell die regionalen Hintergrundkonzentrationen im Grundwasser einerseits und der Konzentrationsbereich im Abwasserkanal andererseits (Anhaltspunkte s. Tab. 1+2) berücksichtigt und zur Plausibilitätskontrolle zueinander in Relation gesetzt werden.

Ergänzend kann es für abwasserspezifische Untersuchungsprogramme auf kommunaler Ebene oder für Pilotprogramme sinnvoll sein, grundwasserfremde Stoffe (Xenobiotika), die im Abwasser verbreitet vorkommen, hinzuzuziehen. Als geeignet erweist sich diversen Untersuchungen anderer Autoren zufolge z.B. das Antiepileptikum Carbamazepin, das in Gewässern und im Grundwasser sehr mobil ist und so gut wie nicht abgebaut wird. Schätzungen zufolge wurde es in Deutschland im Jahr 2001 durchschnittlich von jedem 345-ten Einwohner eingenommen (vgl. Fenz et al. 2005) und ist demnach in kommunalen Abwasserkanälen bislang[7] auch ausreichend häufig anzutreffen.

Aufgrund ihrer Mobilität (Polarität, Wasserlöslichkeit), geringen Abbaubarkeit und weiten Verbreitung sind im entsprechend beeinflussten Grundwasser erwartungsgemäß auch diverse weitere Arzneimittel-Wirkstoffe zu finden, z.B. das weit verbreitete Schmerzmittel Diclofenac oder das Antibiotikum Sulfamethoxazol. Bei allen drei genannten Humanarzneimittelwirkstoffen handelt es sich um Substanzen, deren Konzentrationen in Gewässern und im Grundwasser (vgl. Bergmann et al. 2011) durchaus im ökotoxikologisch relevanten Bereich liegen können[8].

[7] Die Verbräuche von Carbamazepin sind in Deutschland gegenüber 2001 inzwischen (zugunsten anderer Stoffe mit ähnlichem Wirkspektrum) zurückgegangen.

[8] Vgl. die auf Basis ökotoxikologischer Effektkonzentrationen aktuell abgeleiteten UQN-Vorschläge der Expertengruppen WG-E (EU) für Diclofenac: 0,1 µg/L, und des UBA (Dtl.) für: Sulfamethoxazol: 0,15 µg/L, Carbamazepin: 0,5 µg/L.

Eine gute Eignung als Indikatorstoff kann aufgrund der o.g. Eigenschaften auch für die Süßstoffe Acesulfam und Sucralose erwartet werden (vgl. Götz et al. 2010) sowie für die in Geschirrspülmitteln enthaltenen Benzotriazole (Konzentrationen im gereinigten Abwasser im 1- bis 2-stelligen µg/L-Bereich), die zunehmend häufig auch in Gewässern und in oberflächenwasserbeeinflusstem Grundwasser analysiert und festgestellt werden.

Eine ältere Zusammenstellung der zum Nachweis von Abwassereinträgen (im Forschungsbereich) untersuchten Indikatorstoffe findet sich u.a. bei Schirmer et al. 2007. Demnach können bei Bestimmung mit ausreichend niedriger Nachweisgrenze (in der Literatur: 0,2 ng/L) z.B. auch die in Körperpflegemitteln und Haushaltsreinigern enthaltenen moschusähnlichen Duftstoffe Tonalid und Galaxolid als abwassertypische Indikatorstoffe in urbanen Grundwasserleitern nachgewiesen werden. Als praxistauglicher, lokaler Abwasser-Tracer für nichtquantitative Betrachtungen (d.h. *keine* Frachtabschätzungen oder Abschätzungen der Exfiltrationsrate!) kann aus unserer Sicht trotz der mikrobiologischen Abbaubarkeit, aber dank der häufigen Verbreitung und vergleichsweise hohen Konzentrationen im Abwasser, auch Koffein verwendet werden.

Je nach Fallbetrachtung ist zu berücksichtigen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Stoffe im Abwasser an Ort und Stelle tatsächlich zu erwarten sind. Während bei Exfiltrationen aus dem Hauptstrang eines Kanalnetzes mit dem „vollen Spektrum“ der Kommunalabwassertypischen Stoffe zu rechnen ist (z.B. sind hier diverse Humanarzneistoffe incl. Röntgenkontrastmittel und Industriechemikalien generell zu erwarten), ist die Trefferwahrscheinlichkeit für spezifische Stoffe geringer, je kleinräumiger die Betrachtung ist, was insbesondere für Seitenstränge und private Hausanschlüsse zu berücksichtigen ist.

Hier können - als Ergänzung zu anorganischen Stoffen und Nährstoffen – z.B. Koffein, Benzotriazole und Süßstoffe, ggf. auch Fäkalkeime (Enterokokken, E. coli) eine geeignete Wahl sein, wobei für alle diese Parameter in Stadtgebieten auch andere Eintragsquellen (z.B. Komposthaufen) zu berücksichtigen sind.

5. Literaturverzeichnis

Beier M. (2008): Urbane Beeinflussung des Grundwassers: Stoffemissionen und - Immissionen am Beispiel Darmstadts.- Diss. Techn. Univ. Darmstadt, 295 S., 8 Anh.

Bergmann A., Fohrmann R. & Weber F.-A. (2011) Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln.- UBA-Texte 2011,Umweltbundesamt, Berlin. http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4188.pdf

Fenz R., Kroiß H., Blaschke A.P. & Mascher D. G. (2005): Quantifizierung der Exfiltration aus undichten Kanalnetzen durch Analyse der Carbamazepin-Konzentrationen in Abwasser und Grundwasser, Landeshauptstadt Linz Oberösterreich.- Bericht KA Abwasser, Abfall 2005 Nr.4.

Götz C.W., Kase R., Kienle C. & Hollender J. (2010): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser.- GWA 7/2010.
http://www.eawag.ch/forschung/cc/ccdw/kompendium/knowledge/Beurteilungskonzept_MV_Abwasser.pdf

Kistemann T., Christoffels E., Franke C., Rechenburg A, Willkomm M. & Exner M. (2009): Mikrobielle Belastung der Fließgewässer aus diffusen Eintragspfaden am Beispiel der Swist (Swist III).- Abschlussbericht Forschungsprojekt.
http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Kurzbericht_Swist%20III.pdf

Kunkel R., Voigt H.-J., Wendland F. & Hannappel S. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland.- Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Vol. 47, 204 S.

LANUV (2009): Jahresbericht 2008, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, 112 S.
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/jahresberichte/jabe2009/jabe2009_S18_bis_S25.pdf

LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser.- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. http://www.lawa.de

Musolff A., Leschik S., Reinstorf F., Strauch G., Möder M. & Schirmer M. (2007): Xenobiotika im Grundwasser und Oberflächenwasser der Stadt Leipzig.- Fachbeitrag Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie. Grundwasser, Bd. 12, Heft 3

MUNLV (2009): Mikrobielle Fließgewässerbelastungen durch abwassertechnische Anlagen und diffuse Einträge. http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/mikro.pdf ;

Paul M., Wolf L., Fund K., Held I., Winter J., Eiswirth M., Gallert C. & Hötzl H. (2004): Microbiological Condition of Urban Groundwater. Acta Hydrochimica et hydrobiologica No. 4-5 /S. 351-360

Reinstorf F., Strauch G., Schirmer K., Möder M. & Wennrich R. (2006): Untersuchung zur Verbreitung von pharmazeutischen und Körperpflegeprodukten (PPCP) im Grund- und Oberflächenwasser der Städte Halle/Saale und Leipzig.- UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle in der Helmholtz Gesellschaft. Workshop Pharmaka in der aquatischen Umwelt - Ergebnisse aus Forschung und Praxis, Leipzig 07.09.2006.

Schirmer M., Strauch G., Schirmer K. & Reinstorf F. (2007): Urbane Hydrogeologie - Herausforderungen für Forschung und Praxis.- Fachbeitrag Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie 12 (2007):178–188.

Schramm C., Gans O., Uhl M., Grath J., Scharf S., Zieritz I, Kralik M., Scheidleder A. & Humer F. 2006: Carbamazepin und Koffein – Potenzielle Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunales Abwasser? - Umweltbundesamt Wien/Österreich, Report -0061, 37 S.

TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.- BGBL Jg. 2011 T 1, Nr. 61

UBA (2011): Empfehlung des Umweltbundesamts: Maßnahmen zur Minderung des Eintrags von Humanarzneimitteln und ihrer Rückstände in das Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung - Empfehlung des Umweltbundesamtes vom 30.08.2011 nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit.- BGBl 2012 55:143 DOI 10.1007.. online publiziert am 24.11.2011: http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwasserkommission/massnahmeempfehlung_hamr.pdf

Wolf L. (2006): Grundwasserbeeinflussung durch defekte Abwasserkanäle im Gebiet der Stadt Rastatt. Dissertation, Universität Karlsruhe.

ANHANG 1: Kommentierte Literaturliste, Stand 27.03.2012

lfd. Nr.	Autor	Titel	Quelle	Jahr	Art der Studie	Steck-brief
1	An, P.	Chemische und biologische Gefährdung für Boden und Grundwasser durch undichte Abwasserkanäle	Dissertation Universität Karlsruhe, Master Ing. Pinglin An, Karlsruhe	2007	Laborsäulenversuche	x
2	Beier, M.	Urbane Beeinflussung des Grundwassers: Stoffemissionen und - Immissionen am Beispiel Darmstadts	Dissertation Technischen Universität Darmstadt, Dipl. Geol. Meike Beier, 295 S., 8 Anh.; Darmstadt	2008	Ermittlung urbaner Immissionen in das Grundwasser anhand vorhandener Messstellen in Darmstadt	x
3	Eiswirth M., Held I., Hötzl H. & Wolf L.	The impact of leaking sewers on urban groundwater. Grundwasserressourcen im Spannungsfeld zwischen Erschließung und Naturschutz; "Defekte Abwasserkanäle und Grundwasserbeeinträchtigungen"	Kurzfassung der Vorträge und Poster der Fachtagung der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft; Greifswald 9.-11. Mai 2002; Heft 19	2002	Saugkerzenuntersuchungen im Bereich einer Kanalteststrecke	x
4	Fenz R., Kroiß H. Prof.Dr., Blaschke A.P. Dr., Mascher D.G. Dr.	Quantifizierung der Exfiltration aus undichten Kanalnetzen durch Analyse der Carbamazepin-Konzentrationen in Abwasser und Grundwasser, Landeshauptstadt Linz Oberösterreich	Bericht KA Abwasser, Abfall 2005 Nr.4	2005	Grundwasseruntersuchungen auf abwasserbürtige Stoffe im Einflussbereich von Kanälen	x
5	Gallert C., Hua J., Franz M., Fitterer K. & Winter J.	Auswirkungen schadhafter Kanäle auf den Untergrund	Bericht GWF Wasser Abwasser Nr. 14/2001	2001	Zusammenfassung der DFG Forschergruppe Kanalleckagen	x
6	Klinger J.	Beschreibung der Wasser- und Stoffflüsse in einem urbanen Raum unter besonderer Berücksichtigung von Kanal leckagen	Dissertation Technischen Universität Karlsruhe, Dipl. Geol. Jochen Klinger, 206 S., Karlsruhe	2007	Sickerwasseruntersuchungen im Bereich gezielt zerstörter Kanäle	x
7	Musolff A., Leschik S., Reinstorf F., Strauch G., Möde, M., Schirmer M.	Xenobiotika im Grundwasser und Oberflächenwasser der Stadt Leipzig	Grundwasser, Bd. 12, Heft 3	2007	Grundwasserstudie auf abwasserbürtige Xenobiotika	x
8	Rehfeld-Klein M., Asbrand M., Hannappel S.	Hydrochemische Charakterisierung des Grundwassers in Berlin, Studie Kurzfassung	Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung in Berlin		allgemeine Studie über Belastungssitauation des Grundwassers in Berlin	x
9	Reinstorf F., Strauch G., Schirmer K., Möder M., Wennrich R.	Untersuchung zur Verbreitung von pharmazeutischen und Körperpflegeprodukten (PPCP) im Grund- und Oberflächenwasser der Städte Halle/Saale und Leipzig, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle in der Helmholtz Gesellschaft	Workshop Pharmaka in der aquatischen Umwelt - Ergebnisse aus Forschung und Praxis, Leipzig 07.09.2006	2006	s. auch Musolff et al., analoge Ergebnisse für Halle	x
10	Schramm et al.	Carbamazepin und Koffein - Potenzielle Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunales Abwasser?	Umweltbundesamt Report Wien, 2006	2006	Screening von Grundwasser auf Carbamazepin und Koffein zur Überprüfung der Eignung der Stoffe als Indikatoren	x

lfd. Nr.	Autor	Titel	Quelle	Jahr	Art der Studie	Steck-brief
11	Thoma R.	Auswirkungen undichter Grundleitungen mit häuslichem Abwasser auf Boden und Grundwasser	Dissertation Universität Hamburg, Dipl.-Ing. Robert Thoma	2011	In-situ Untersuchung von Exfiltrationsrisiken undichter privater Abwasserleitungen über einen Zeitraum von 3 Jahren	x
12	Trauth R., Xanthopoulos C. Dr., Barufke K.-P.	Änderung der Grundwasserbeschaffenheit auf dem Fließweg unter der Stadt, Pilotprojekt Karlsruhe - Auswertung und Ergebnisse	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe	1999	Grundwasseruntersuchungen in Karlsruhe im Hinblick auf verschiedene Eintragsfaktoren	x
13	Wolf L.	Grundwasserbeeinflussung durch defekte Abwasserkanäle im Gebiet der Stadt Rastatt	Dissertation Universität Karlsruhe, Dipl.-Geol. Leif Wolf, Karlsruhe	2006	speziell angelegte Studie zur Erfassung der Grundwasserbelastung durch undichte Kanäle	x
14	Beier M., Ebhardt G., Schiedek T.	Integrative Quantifizierung und Bilanzierung von Stoffflüssen in urbanem Grundwasser am Beispiel Darmstadts	Grundwasser, Bd. 12, Heft 3	2007	s. Ergebnisse Diss. Beyer	
15	Blaschke A.-P., Technische Universität Wien	Modellierung des Einflusses einer Versickerung von gereinigtem Abwasser auf das Grundwasser	Vortrag Tagung "Numerische GrundWasserModellierung vom 24.-25. Juni 2008 in Graz	2008	Transportmodellierung (Elimationsraten)	
16	BMBF Forschungsprojekt Dresden	Hochwassernachsorge Grundwasser Dresden, von undichten Abwasserkanälen bewirkte Grundwasser-Schäden	BMBF Forschungsprojekt, Forschungszentrum Jülich GmbH, PT Umwelt, Laufzeit 01.10.2002 - 28.02.2004	2005	Modellierung der Exfiltration	
17	Bütow E., Krafft H., Rüger M., Lüdecke J.	Gefährdungspotenzial von undichten Kanälen bei industriellen und gewerblichen Grundstücksentwässerungsleitungen und die Ableitung von Empfehlungen zur Revitalisierung defekter Entwässerungsleitungen	UBA Forschungsbericht, Texte 64/2001	2001	Abschätzung Schadstoffeinträge in Boden und Grundwasser, Beschreibung von Fallbeispielen	
18	Deutscher Bundestag	Antwort der Bundesregierung auf Große Anfrage der SPD: Gefährdung von Grundwasser und Oberflächengewässern durch undichte Abwasserkanäle und -leitungen; Drucksache 11/7874	Bundestag	1990	Antwort der Bundesregierung DS 11/7874	
19	DFG Verbundprojekt Uni Karlsruhe	Forschergruppe "Kanalleckagen"; Gefährdungspotenzial von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser, Berichte zu den Teilprojekten TP1-TP5	Arbeitsberichte Uni Karlsruhe; Laufzeit von 01/2000 bis 12/2002, Zwischenbericht der Teilprojekte	2002	DFG Forschungsvorhaben, Ziele u.a. Quantifizierung von Exfiltrationsraten in Abhängigkeit vom Schadensbild der Leckage sowie des Untergrundes, sowie Einfluss auf die großräumliche Wasserqualität des Grundwasserleiters	
20	Paul M., Wolf L., Fund K., Held I., Winter J., Eiswirth M., Gallert C. & Hötzl H.	Microbiological Condition of Urban Groundwater	Acta Hydrochimica et hydrobiologica No. 4-5 /S. 351-360), November 2004	2004	Ausgewählte Grundwassermessstellen für die mikrobiologische Untersuchung in Rastatt	
21	DFG Verbundprojekt Uni Karlsruhe, Forschergr. Kanalleckagen	DWA Tagungsband "Undichte Kanäle? (k)ein Risiko?	Berichte und Vorträge der DFG-Forschergruppe "Kanalleckagen"	2006	Untersuchungen hydraulisch, physikalisch, chemisch und biologisch zur Exfiltration von Abwasser, Modelluntersuchungen im Labor sowohl In-situ	

lfd. Nr.	Autor	Titel	Quelle	Jahr	Art der Studie	Steck-brief
22	DFG Verbund-projekt Uni Karls-ruhe, Hahn H.H. & Fuchs S.	Erfassung der dynami-schen Prozesse (che-misch-physikalische und biologische) des Wasser- und Stofftransports im Umfeld von Kanalleckа-gen	Abschlussbericht der DFG-Forschergruppe "Kanalleckagen" zum Teilprojekt TP1 (IWG)	2005	DFG Forschungsvorha-ben, Ziele u.a. Quantifizie-rung von Exfiltrationsraten in Abhängigkeit vom Schadensbild der Leckage sowie des Untergrundes, sowie Einfluss auf die großräumliche Wasser-qualität des Grundwasser-leiters	
23	Dohmann M., Decker J., Men-zenbach B.	Untersuchungen zur quantitativen und qualita-tiven Belastung von Bo-den, Grund- und Oberflä-chenwasser durch undich-te Kanäle	Dohmann, M.: Was-sergefährdung durch undichte Kanäle - Erfassung und Bewertung.- Sprin-ger-Verlag, Berlin-Heidelberg	1999	Exfiltrationsuntersuchun-gen, keine speziellen stofflichen Untersuchun-gen	
24	Dornbusch J. Prof. Dipl.-Ing., RWTH Aachen	Pilotprojekt "Dichtheits-prüfung und Sanierung von Grundstücksentwäs-serungsleitungen auf Chemischreinigungs-grundstücken", Lehrstuhl und Institut für Bauma-schinen und Baubetrieb der RWTH Aachen	Abschlussbericht zum Forschungs-vorhaben, 1. Teil, Aachen	2001	Studienschwerpunkt liegt auf der Untersuchung von Abwasserleitungen bei Chemischreinigungen. Anlass ist Vermutung, dass CKW-Verunreinigungen von Boden und Grundwasser ebenfalls über undichte Entwässerungsleitungen erfolgen	
25	Franz T., Rutsch M., Krebs P. et al.	Untersuchung und Bewer-tung von In- und Exfiltrati-on undichter Abwasser-kanäle, EU-Forschungsprojekt APUSS	KA – Abwasser, Abfall 2007 (54) Nr. 4	2007	Modelle und Werkzeuge zur Infiltrations- und Exfil trationsmessung, wirt-schaftliche und betriebli-che Aspekte	
26	Hagendorf U. Dr., Umweltbundes-amt Langen	Hygienische Aspekte bei der Abwasserversicke-rung aus Kanalleckagen	Vortrag iba/dfg Seminar 2003	2003	Eluatuntersuchungsergeb-nisse von Böden unterhalb undichter Kanäle	
27	Hagendorf U. Dr., Umweltbundes-amt Langen	Gefährdungspotenzial undichter Abwasserkanäle - Risiko für Boden und Grundwasser?	Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Ver-bundprojekte, 1996	1996	Eluatuntersuchungsergeb-nisse von Böden unterhalb undichter Kanäle	
28	Hagendorf U. Dr., Umweltbundes-amt Langen	Forschungsergebnisse zur Bewertung der Dicht-heit von Kanälen	Bericht Abwasser-technik, Heft 6/1996	1996	Eluatuntersuchungsergeb-nisse von Böden unterhalb undichter Kanäle	
29	Hua J., An P., Fund K., Winter J.	Mikrobielle Umsetzungen im Leckagebereich von Abwasserkanälen: Korre-lation von Aktivitäten und Verbreitung der Mikroor-ganismen	Vortrag beim iba/dfg Seminar	2006	Laborsäulenversuche, s. Diss. An	
30	Hüben S. Dipl.-Ing., Schunicht J., RWTH Aa-chen	Untersuchungen von Abwasseranlagen und deren Langzeitauswirkun-gen auf den Boden	Abschlussbericht zum Forschungs-vorhaben, ISA & FiW RWTH Aachen	2004	Vor-Ort-Untersuchungen an bestehenden Entwäs-serungsleitungen, Klein-kläranlagen und abflusslo-sen Gruben im Tagebau Otzenrath	

lfd. Nr.	Autor	Titel	Quelle	Jahr	Art der Studie	Steck-brief
31	Klinger J., Wolf L., Hötzl H. & Glauner T.	Indikatoren im Grundwasser; Fachvortrag "Untersuchung der Abwasserversickerung im direkten Umfeld einer realen Kanalleckage anhand abwasserspezifischer Indikatoren und zeitlich hoch aufgelöster Abflussmessreihen"	Fachtagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG; Cottbus 24.-28. Mai 2006; Heft 43	2006	s. Diss. Klinger und Wolf	
32	Pinnekamp J., Roder S., Haußmann R.	Undichte private Abwasserleitungen - Auswirkungen auf die Umwelt	Fachtagung 2. Deutscher Tag der Grundstücksentwässerung, Dortmund 2010	2010	Übersichtsvortrag	
33	Regierungspräsidium Leipzig	Leipziger Grundwasser - Genutzt und geschädigt? Grundwasserstand und Grundwasserbeschaffenheit im Großraum Leipzig 2006	Broschüre des Regierungspräsidiums Leipzig	2006	Übersicht zu Beschaffenheit des urbanen Grundwassers in Leipzig	
34	Rödel S., Universität der Bundeswehr München	Forschungsvorhaben, Einzelauftrag Nr.5 Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur "Infiltrationsdichtheit" bei Werkstoffwechsel bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung	Teilbericht zum Forschungsprojekt "Kanalsanierung", Universität der Bundeswehr München 2010	2010	Literaturstudie	
35	Rutsch M., Technische Universität Dresden	Assessment of sewer leakage by means of exfiltration measurements and modelling tests	Dissertation Universität Dresden, Dipl.-Geol. Mandy Rutsch	2006	Bewertung der Exfiltration und Modellierung	
36	Schirmer M., Strauch G., Schirmer K., Reinstorf F.	Urbane Hydrogeologie - Herausforderungen für Forschung und Praxis	Fachbeitrag Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie2007	2007	Literaturstudie zur urbanen Hydrogelogie, zu Untersuchungstechnologien und zu abwasserspezifischen Indikatorsubstanzen incl. Xenobiotika	
37	Thoma R., Goetz D.	Grundstücksentwässerungsanlagen mit häuslichem Abwasser - Zustand, Schäden, Exfiltration, Bodenkontamination - Gefährdungspotenzial?	Undichte Kanäle - (k)ein Risiko? Gemeinschaftstagung in Frankfurt 11.-12. Oktober 2006	2006	mengenmäßige Exfiltrationsbetrachtungen	
38	Wagner V. Prof. Dr., Hochschule Wismar	Erkenntnisse zum Gefährdungspotenzial undichter Abwasserkanäle, Hochschule Wismar Bereich Bauingenieurwesen	Vortrag DWA Sanierungstage 2009	2009	Übersichtsvortrag	
39	Wolf l., Klinger J., Hötzl H. & Glauner Th.	Indikatoren im Grundwasser; Fachvortrag "Monitoring von Arzneimittelrückständen als Indikatoren der Grundwasserbeeinflussung durch defekte Kanalisationssysteme im Vergleich mit deterministischen Modellansätzen	Fachtagung der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft; Cottbus 24.-28. Mai 2006; Heft 43	2006	s. Diss. Klinger und Wolf	
40	Wolf P.	Entwicklung eines Expertensystems zur Einschätzung des Grundwassergefährdungspotenzials von Abwasserkanälen in Wasserschutzgebieten als Entscheidungshilfe zur Absicherung und Anpassung der Kanalbauplanung	Dissertation Universität des Saarlandes, Dr. Phil., 2009	2009	Expertensystem: Grundwassergefährdungspotenzial wird anhand einer Standortklassifikation theoretisch bewertet	

ANHANG 2: Literatursteckbriefe[9]

Autor: An, P. (2007)

Titel: Chemische und biologische Gefährdung für Boden und Grundwasser durch undichte Abwasserkanäle

Fundstelle: Diss. Univ. Karsruhe.-Karlsruher Berichte zur Ingenieurbiologie, Bd. 44, Universitätsverlag Karlsruhe, 187 S.

Inhalt

- Art der Studie
  Qualifizierung und Quantifizierung der Immobilisation und des Abbaus von Abwasserinhaltsstoffen vom undichten Kanal bis zum Grundwasser. Es werden Laborsäulenversuche durchgeführt. Untersucht wird das Verhalten von allgemeinen phys.-chemischen Parametern, Parameter zur Beschreibung der gesamtorganischen Belastung, Hauptbestandteilen, redoxsensitiven Parametern, Schwermetallen und Keimzahlen.

- Untersuchungsansatz
  Eingesetzt werden mit Bodenmaterial (Sand) gefüllte Laborsäulen (Durchmesser 10 cm, Länge bis 125 cm), die mit dem mechanisch vorgereinigten Abwasser der KA Karlsruhe beaufschlagt werden Es werden verschiedenen Versuchvarianten untersucht, bei denen sich der Redoxstatus (aerob/ anaerob), die Perkolationsgeschwindigkeit und die Zusammensetzung des Abwassers hinsichtlich der Partikel-Konzentrationen unterscheiden. Zur Ermittlung der Sorptionskapazität und der Desorptionsfähigkeit von Schwermetallen werden spezielle Versuche durchgeführt.

- Untersuchungsergebnisse
  Die Arbeit enthält eine Darstellung sehr vieler schwer überschaubarer Versuchsvarianten, die nicht alle dargestellt werden können. Einzelne Varianten führten zu folgendem Ergebnis.
  Es zeigte sich, dass mit zunehmender Beaufschlagung von Sandsäulen die Durchflussrate aufgrund von Abdichtungsvorgängen abnahm. Dies führt zum Überstau der Säulen und der Bildung eines aneroben Milieus. Die „stauende" Schutzschicht wird durch mikrobiell gebildetes Gas (z.B. Methan) gelegentlich zerstört, wodurch sich wieder ein höherer Durchfluss einstellt.
  Mittlere Elimitationsraten CSB ca. 70 %. Bei Stickstoff zeigt sich eine deutliche Abnahme in einer Versuchsvariante im Säulenablauf beim Ammonium (> 97 %), beim organisch gebundenen Stickstoff (ca. 40%), während Nitrat durch die Sickerwasserpassage neu entsteht. Anhand von Bestimmungen von CSB, DOC, SAK-254 wird gezeigt, dass die Abbaurate metabolisierbarer Stoffe unter gesättigten Bedingungen wegen der längeren Aufenthaltszeit besser war als unter ungesättigten Bedingungen. Untersuchungen zur Bodenluft in den Säulen ergab, dass die Sauerstoff-Konzentration mit zunehmender Betriebszeit abnehmen und die Methan-Konzenration zunehmen.

- Schlussfolgerungen des Autors
  Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf reale Systeme werden vom Autor nicht angeboten.

Bewertung durch das LANUV

In der Dissertation werden grundsätzliche Probleme mit der Betriebsweise von Säulenversuchen (gesättigter, ungesättigter Betrieb, Durchflussrichtung, präferentieller Fluss, Verlagerungsgeschwindigkeit) nicht hinreichend erörtert. Insoweit ist die Übertragung auf die Verhältnisse in der Realität, bei denen auch mit der kurzzeitigen Veränderung der Abwasserzusammensetzung und der Exfiltrationsrate zu rechnen ist, schwierig. Der Einfluss verschiedener Böden wurde nicht untersucht. Die Arbeit zeigt, dass Kolmationsprozesse eine Rolle spielen, abbaubare Stoffe abgebaut und sorbierbare Stoffe zurückgehalten werden. Trotz dieser Vorgänge konnte unter den Versuchsbedingungen im Säulenablauf ein Durchbruch von Stoffen oder Keimen festgestellt werden, der in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen in unterschiedlicher Intensität auch in der Praxis zu erwarten ist.

[9] Z.T. nur stichwortartig

Autor: Beier, M. (2008)

Titel: Urbane Beeinflussung des Grundwassers: Stoffemissionen und - Immissionen am Beispiel Darmstadts

Fundstelle: Diss. Techn. Univ. Darmstadt, 295 S., 8 Anh.;

Inhalt

- Art der Studie

  Dissertation. Ermittlung urbaner Emissionen und grundwasserseitiger Immissionen in Darmstadt durch quantitative und qualitative Grundwassermessungen. Stoffbilanzierung auf Basis eines Grundwasserströmungsmodells. Erfassung der natürlichen und künstlichen Komponenten des urbanen Grundwasserhaushaltes. Statistische Auswertung der Einflussfaktoren mittels Faktoren- und Clusteranalyse. Diskussion und Vergleich der Ergebnisse mittels Literaturauswertung und intensiver Recherche zur örtlichen Hydrogeologie, zum Wasserhaushalt, zu urbanen Effekten und zum städtischen Kanalsystem.

- Untersuchungsansatz

  Analyse und Abschätzung der Komponenten des urbanen Grundwasserhaushaltes, Ermittlung der Beschaffenheit der Emissionen und der urbanen Einträge, räumliche und statistische Auswertung der GW-Beschaffenheit und Berechnung der urbanen Immissionen auf der Basis eines Massenbilanzkonzeptes.
  Messungen des Grundwassers in drei Messstreifen senkrecht zur Grundwasserfließrichtung, die die Grundwasserbeschaffenheit im Anstrom, im Zentrum und im Abstrom der Stadt integral erfassen.
  Ermittlung der natürlichen und künstlichen Komponenten des urbanen Grundwasserhaushaltes durch Auswertung der Grundwasserganglinien (natürliche und künstliche Grundwasseranreicherung), Klimadaten, Abschätzung und Recherchen bezüglich Trinkwasserverlusten, Abwasserinfiltrationen und –exfiltrationen, Entnahmen.
  Quantifizierung der Stoffemissionen aus den verschiedenen Eintragsquellen (Niederschlag, Streusalzeintrag, Abwasser- und Trinkwasserexfiltration);
  untersuchte Parameter: Grundwasser: Grundwasserstände, anorganische Stoffe, Summen-/Indikatorparameter, anthropogene organische Stoffe (EDTA, NTA, PAK, Clofibrinsäure, D-Limonen, PBSM); die Parameter wurden auch im Kommunalabwasser (Zulauf) und im Trinkwasser untersucht bzw. entsprechende Untersuchungsergebnisse wurden eingeholt.
  Ermittlung der Gruppen von Parametern, die aus gemeinsamen Quellen stammen mittels Faktorenanalyse, dadurch Feststellung der für Abwasserexfiltration typischen Stoffzusammensetzungen.
  Identifizierung der unterschiedlich ausgeprägten urbanen Belastungstypen (nach Herkünften, Nutzungen) und der nach geologischer Formation bedingten Untergliederung der Grundwasserbeschaffenheit.
  Stoffflussbilanzierung auf Basis eines Grundwasserströmungsmodells und einem Kontrollebenenkonzept:
  - pauschal für das gesamte Stadtgebiet sowie
  - räumlich differenzierend in einzelnen Bilanzzonen.

- Untersuchungsergebnisse

  In hochgradig versiegelten Teilgebieten ist die GW-Neubildung von 170 mm/a auf unter 50 mm/a verringert, im gesamten Stadtgebiet (Stadtgebiet Darmstadt, Siedlungsfläche 37 km^2) um 41% bzw. auf ca. 100 mm/a. Teilweise Kompensation durch Trinkwasserexfiltration (+13 mm/a) und Abwasserexfiltration (+38 mm/a); dem gegenüber stehen Entzüge durch Drainagen und Kanäle (-48 mm/a) und durch GW-Entnahmen (-26 mm/a). Aufgrund der deutlich reduzierten GW-Neubildung in stark versiegelten Gebieten sind die Effekte des exfiltrierenden Abwassers auf die Grundwasserbeschaffenheit besonders hoch.
  Die Grundwasserbeschaffenheit an den Messstellen im Abstrom des Stadtgebietes Darmstadt ist deutlich höher belastet im Vergleich zu den Messstellen im Anstrom. Die Unterschiede lassen sich quantitativ und qualitativ den verschiedenen Nutzungseinflüssen und hydrogeologischen Randbedingungen zuordnen (Faktoren- und Clusteranalyse). Durch Abwasserexfiltration werden insbesondere Chemischer Sauerstoffbedarf CSB, Chlorid, Hydrogenkarbonat, Sulfat, Ammonium, Gesamtstickstoff, Phosphat, Natrium, Calcium und Kalium eingetragen, besonders betroffen sind die Stadtkerne von Darmstadt und ein Vorort mit erhöhten Konzentrationen von Stickstoff, Chlorid, Kalium, Bor, Phosphat, EDTA und D-Limonen.

Die Konzentrationen in vielen innerstädtischen GW-Messstellen Darmstadts überschreiten die Trinkwassergrenzwerte; problematisch ist v.a. Nitrat. Faktorenanalyse: Salzeintrag (Chlorid, Natrium, Magnesium) kann isoliert über Streusalz *oder* in Kombination *mit* Abwasserexfiltrationen erfolgen.
Dem Abwassereinfluss lassen sich typischerweise erhöhte Werte für Wassertemperatur, Phosphat, Bor und Kalium zuordnen, die mit den Indikatoren für reduzierende Grundwasser-Bedingungen (Mn- und Nitrit) verknüpft sind; Nitrat tritt bei Abwassereinfluss separat davon bei oxidierten Bedingungen auf.
Die höchsten Messwerte wurden in der Regel bei urbaner Nutzung im quartären Poren-Grundwasserleiter erreicht, der eine hohe Durchlässigkeit, hohe Fließgeschwindigkeit und geringe Filtrationswirkung aufweist, die niedrigsten Werte liegen bei forstwirtschaftlicher Nutzung und im Festgestein (Kristallin) vor.
Als mengenmäßig bedeutende, in das Grundwasser eingetragene urbane Stoffe wurden CSB mit 1 t/(a*km^2), sowie Ammonium mit 172, Phosphat mit 81, EDTA mit 2,2 und PAK mit 11 kg/(a*km^2) identifiziert, wobei im Stadtgebiet neben der Abwasserexfiltration noch andere diffuse Eintragsquellen in die Bilanz eingehen. Rückhalt und Abbau erfolgt bei CSB, Nitrit, Ammonium, Phosphat und Fluorid. Nicht wesentlich während der Untergrundpassage zurückgehalten oder abgebaut werden dagegen EDTA, Bor, Natrium, Chlorid, D-Limonen.

Aus der durchgeführten internationalen Literaturauswertung wurde außerdem eine Übersicht zu den in urbanen Grundwässern typischerweise zu findenden Kontaminationen erstellt. Dem Abwasser lassen sich daraus folgende Komponenten zuordnen:

- Bakterien (E. Coli, Enterokokken, Coliforme Keime, sulfitreduzierende Clostridien) und
- Viren, die insbesondere an Kolloide gebunden sehr gut transportfähig im Untergrund und im Grundwasser sind,
- polare wasserlösliche, schwer abbaubare Pharmazeutika (z.B. Clofibrinsäure, Gadolinium, iodierte Röntgenkontrastmittel) und Personal Care Products (z.B. Duftstoffe).

Gemäß der durchgeführten statistischen Auswertung der Grundwasserbeschaffenheit im Stadtgebiet Darmstadts (Gesamtdatenbestand) mittels Rangkorrelationskoeffizienten bilden die Parameter *Temperatur, PO4, B und Ka* die „*Abwassergruppe, die auf aus undichten Kanälen exfiltriertendes Abwasser zurückgeht*“. Aus der „Salzgruppe“ (Streusalzeinträge) sind Na und Cl mit der „Abwassergruppe“ assoziiert, was auf eine Überschneidung der Eintragspfade hinweist (abgespültes Streusalz in der Kanalisation).
Als *Markerstoffe* für abwasserbürtige Einträge in das Grundwasser sind Beier (2008) zufolge Stickstoff, PO4 und Bor beschränkt geeignet. Besonders interessant sind spezifische Inhaltsstoffe von Wasch-/Reinigungsmitteln und Pflegeprodukten oder natürliche und synthetische Bestandteile von menschlichen Ausscheidungen *(, die jedoch üblicherweise nicht flächendeckend im Grundwasser untersucht sind*). In Darmstadt wurden Komplexbildner EDTA, NTA, der Aromastoff (vgl. Zitrusaroma) D-Limonen und als Vertreter der Pharmazeutika der Lipidsenker Clofibrinsäure untersucht. In der Literatur werden weiterhin mikrobielle Indikatoren z.B. E. Coli und Fäkalstreptokokken, Aminopropanon als Bestanteil menschlichen Urins, Röntgenkontrastmittel und Koffein sowie Chlorierungsprodukte und Isotope genannt.
Bor wurde bereits in den 70er Jahren von Dietz (1975) als guter Tracer und Indikator für anthropogene Belastungen herausgestellt. Aus Nahrungsmitteln bzw. menschlichen Ausscheidungen stammendes Bor führt im kommunalen Abwasser zu einer Konzentration von etwa 0,1 mg/L, die bedeutendste Quelle sind jedoch Waschmittel, die Perborat (v.a. Natriumperborat-Tetrahydrat als Bleich- und Desinfektionsmittel) enthalten. Dadurch können Bor-Konzentrationen im kommunalen Abwasser von über 2 mg/L erreicht werden (Dietz 1975, Koppe & Stozek 1999). Durch den Ersatz des Bors in Waschmitteln durch andere Substanzen sind die Frachten jedoch deutlich zurückgegangen. In Darmstadt sind die Konzentrationen von 1-2 mg/L (Anfang der 1990er Jahre) auf Werte zwischen 0,24 und 0,64 mg/L (2001/2002) zurückgegangen, in anderen Städten werden dagegen auch in jüngerer Zeit noch über 2 mg/L gemessen.
Die innerhalb sowie im Abstrom von Siedlungsgebieten im Grundwasser festzustellende Belastung mit abwasser- bzw. siedlungsspezifischen Einträgen aus undichten Kanälen ist in vielen Fällen auch für die Trinkwassergewinnung von Bedeutung. Nicht selten befinden sich Trinkwassergewinnungsanlagen bzw. Notbrunnen (wie im Fall der Stadt Darmstadt) gerade im Grundwasser abstrom der Stadt, so dass das Rohwasser durch diese Einträge gekennzeichnet sein kann.

- Schlussfolgerungen des Autors

Einfluss undichter Kanäle auf die Grundwasserbeschaffenheit kann insgesamt in der Fläche sowie lokal sehr groß sein. Eine besondere Relevanz haben die privaten Hausanschlüsse aufgrund ihrer Gesamtlänge im Verhältnis zu den öffentlichen Kanälen, außerdem aufgrund der (im Vergleich zu öffentlichen Kanälen) i.d.R. höheren Stoffkonzentrationen, sowie aufgrund der wechselnden Durchflussraten (dadurch verringerte Selbstabdichtung / Kolmation).

In Darmstadt konnten stadtspezifische Effekte auf den Grundwasserhaushalt belegt und quantifiziert werden.
In dieser Arbeit wurde eine große Zahl von Parametern analysiert. Es kann allerdings kein universeller Indikator für urbanen Einfluss oder Abwasserexfiltration benannt werden, da die Eigenschaften der urbanen Emissionen und die Bedingungen bei deren Eintrag sowie nach der Immission in das Grundwasser sehr variabel sind. Zur Überwachung des urbanen Grundwassers sollten daher Multi-Parameter-Ansätze mit Standard- und einigen zusätzlichen Parametern gewählt werden. Mit einer Messung der Feldparameter Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Wert und der Analyse von Chlorid, Sulfat, Nitrat, Calcium, Kalium, Phosphat, Bor und ggf. Eisen, CSB und Ammonium kann der urbane Einfluss qualitativ erfasst werden. Bei Hinweisen auf eine Verunreinigung kann vertiefend eine Spezialanalytik anschließen, um die urbanen Quellen zweifelsfrei zu belegen bzw. zu identifizieren. Da einige Parameter auch aus natürlichen Quellen in höheren Konzentrationen vorliegen können, ist eine Gegenüberstellung mit der außerstädtischen, anthropogen unbelasteten Grundwasserbeschaffenheit im jeweiligen Grundwasserleiter unabdingbar.

Bewertung durch das LANUV

Untersuchungsmethodik, statistische Auswertung der Ergebnisse und Literaturrecherchen (aktuelle Literatur bis 2007) sind umfassend dargestellt; es werden alle relevanten Fragestellungen behandelt; In der Arbeit wird der Nachweis geführt, dass undichte Kanäle Grundwasserverunreinigungen verursachen.

Autor: Eiswirth M., Held I., Hötzl H. , Wolf L.(2002)

Titel: Defekte Abwasserkanäle und Grundwasserbeeinträchtigungen

Fundstelle:
In: Schafmeister M-T.und Meyer T. (Hrsg.), Grundwasserressourcen im Spannungsfeld zwischen Erschließung und Naturschutz, Fachtagung der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Greifswald, 9.-11. Mai 2002, Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 19, S. 105

Inhalt

- Art der Studie
  Teilstudie eines DFG-Projektes „Gefährdungspotenzial von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser“;
  Messungen an einem Großversuchsstand (Kanalteststrecke)

- Untersuchungsansatz
  50 m Kanalteststrecke mit definierten Leckagen – Vergleich zwischen 2 Gruben im leckagenahen (Grube 2) und –fernen (Grube 1) Bereich bzgl. Chemismus Grundwassermessstellen, Bodenfeuchte, Sickerwasserchemismus – Messung per Saugkerzen und TDR-Bodenfeuchtesonden

- Untersuchungsergebnisse
  Deutliche Unterschiede in Bodenfeuchte und Sickerwasserchemismus: deutliche Erhöhungen von Chlorid und Sulfat in den Saugkerzen.
  Im Chemismus der Grundwassermessstellen kein signifikanter Unterschied.

- Schlussfolgerungen der Autoren
  Ankündigung einer 2. Phase des Projektes

Bewertung durch das LANUV
Der Kurzfassung ist nicht zu entnehmen, welche Parameter bei den Grundwassermessstellen verglichen wurden.
Auswirkungen von Kanalleckagen sind für die umgebende Bodenzone beschrieben, jedoch nicht für das Grundwasser

Autor: Fenz R., Blaschke A. P., Clara M., Kroiß H., Zessner M. & Mascher D. G. (2005)

Titel: Quantifizierung der Exfiltration aus undichten Kanalnetzen durch Analyse der Carbamazepin-Konzentrationen in Abwasser und Grundwasser

Fundstelle: KA-Abwasser, Abfall 2005 (52) Nr. 4, S. 388-398

Inhalt

- Art der Studie

  Quantifizierung der Exfiltration aus undichten Abwasserkanälen anhand von gemessenen Konzentrationen des Arzneistoffs Carbamazepin im Grundwasser (45 vorhandene Brunnen bzw Bohrungen) sowie im Abwasser der oberösterreichischen Landeshauptstadt Linz, Schätzung des Grundwasserstroms.

- Untersuchungsansatz

  Die Quantifizierung der Verlustrate aus Abwasserkanälen erfolgte durch Konzentrationsmessungen (Carbamazepin) im Grundwasser und Schätzung des Grundwasserstroms und dessen Mächtigkeit. Die Abstandsgeschwindigkeiten des Grundwassers wurden ermittelt anhand der im Gesteinstyp typischen effektiven Porosität und Durchlässigkeit (k_f-wert) u. des hydraulischen Gradienten aus Grundwasserganglinien. Die Grundwasserneubildung wurde als gering eingestuft (190 l/s), berücksichtigt wurden die Infiltration aus dem Stauraum eines Donau-Kraftwerkes; ansonsten wird dargestellt, dass der Uferfiltrateintrag weitgehend von Drainagen erfasst und wieder zurück in die Donau gepumpt wird.
  Im Untersuchungsgebiet wurden zwei Teilgebiete unterschieden: 1. Donau-Alluvionen und Niederterrasse: Mächtigkeit des Grundwasserleiters 5-15 m, hohe Durchlässigkeit (Kiesschicht). Die Kanäle liegen in der Regel knapp (2-5 m) über dem Grundwasserspiegel. 2. Hochterrasse, gebildet aus einer ca. 10 m dicken Löss-Lehmschicht. Die Kanalisation befindet sich überwiegend in der gering durchlässigen Löss-Lehmschicht, 10-20 m über dem Grundwasserspiegel. Die Einwohnerzahlen dieser Teilgebiete sind bekannt, so dass aus den Abwasserfrachten im Zulauf der Kläranlage auf die jeweilige Abwasserfracht der Teilgebiete rückgeschlossen werden konnte.
  Carbamazepin wurde als geeigneter Tracer ausgewählt unter der Annahme, dass der Stoff im Untergrund nicht nennenswert zurückgehalten, verändert oder abgebaut wird, und die Konzentration im Abwasser sich deutlich vom umgebenden Grundwasser unterscheidet bzw. die Einträge aus anderen Quellen vernachlässigbar klein sind. Für Carbamazepin wurde auf Basis der Verkaufszahlen für Dtl. aus dem Jahr 2001 (1,06 g/(E*a)) und der verordneten Dosis angenommen, dass durchschnittlich jeder 345-ste Einwohner Carbamazepin einnimmt, so dass (bei einer metabolisch bedingten Emission von 2 - 3% der verabreichten Dosis) angenommen wird, dass der Stoff im kommunalen Abwasser fast überall zu finden ist. Letzteres konnte durch die Frachtmessungen im Abwasser der Kläranlage bestätigt werden, wonach sogar 10% der geschätzten „eingenommenen“ Carbamazepin-Dosis in unveränderter Form wiedergefunden wurden.
  Es wurde versucht, auf Basis dieses Untersuchungsansatzes die Verlustrate aus undichten Kanälen für die beiden Teilgebiete sowie insgesamt im Stadtgebiet Linz zu ermitteln.

- Untersuchungsergebnisse

  Im Zulauf der Kläranlage Linz-Asten (325.000 Einwohner) wurde eine durchschnittliche Carbamazepin-Konzentration von 850 ng/L (bei Trockenwetter) ermittelt (130.000 m^3/d); daraus resultierende Fracht: 110 g/d;. Diese Werte wurden als Durchschnittsbelastung des Abwassers im Kanalnetz herangezogen.
  Im Grundwasserzustrom des Stadt-Teilgebietes 1 wurde Carbamazepin bei drei von sechs Messstellen gemessen (<1 bis 16 ng/L), was punktuellen Einträgen aus der Stadt Traun (25.000 E) zugeordnet wurde. Am Ende der Grundwasserpassage durch den südlichen Teil des Linzer Stadtgebietes mit weiteren 25.000 E wurde Carbamazepin an allen GW-Messstellen gefunden (Durchschnitt 5 ng/L). Aus dieser durchschnittlichen Konzentration und dem GW-Zustrom wurde die Fracht ermittelt und diese wurde mit der geschätzten durchschnittlichen Carbamazepin-Fracht des Abwassers aus diesen Stadtgebieten in Relation gesetzt. Die so ermittelte Abwasseremission durch undichte Kanäle beträgt den Autoren zufolge hier ca. 1%.
  Die höchste Carbamazepin-Konzentration im Grundwasser wurde mit 10 - 103 ng/L (im Mittel 30 ng/L) in einem Teilgebiet (30.000 E) festgestellt, in dem die optische Inspektion der Kanalisation einen auffallend schlechten baulichen Zustand der Sohle am Hauptsammler ergab. Hier wurde nach obiger Methode eine Verlustrate von 4% ermittelt.

Im Stadtzentrum selbst (30.000 E) wurde eine durchschnittliche Carbamazepin-Konz. im Grundwasser in Höhe von 15 ng/L gemessen. Die daraus abgeleitete Verlustrate liegt den Autoren zufolge für dieses Gebiet bei weniger als 1%.

- Schlussfolgerungen der Autoren

  Überall dort, wo die Kanäle in gut durchlässigem Untergrund verlegt sind – was in Linz fast überall der Fall ist – kann von einer diffusen Belastung durch Exfiltration aus dem Kanalnetz von etwa 1% des Abwassers ausgegangen werden. Hier konnte für die gemessenen Parameter DOC, Ammonium und Sauerstoff keine deutliche Belastung des Grundwassers festgestellt werden, so dass kein sofortiger Handlungsbedarf gesehen wird; die Sanierung der Kanäle kann den Autoren zufolge nach einem Routineprogramm bzw. anderen Prioritäten gereiht werden.
  In einem (Teil-)Gebiet allerdings, in dem neben Carbamazepin auch andere Parameter erhöht (Chlorid, Bor, Natrium, Sulfat, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), Ammonium) und die Sauerstoffkozentration erniedrigt waren, kommt der Kanalsanierung aus Sicht des Grundwasserschutzes die höchste Priorität zu (ermittelte Verlustrate 4%). Für Chlorid, Natrium, Sulfat und Bor zeigt sich, dass sich ein über Carbamazepin errechneter Eintrag von Abwasserinhaltsstoffen in das Grundwasser fast immer auch in einer entsprechenden Erhöhung der jeweiligen Konzentrationen niederschlägt.
  Insgesamt ergaben die Schätzungen der Autoren, über das gesamte Stadtgebiet gesehen, dass im Mittel nicht mehr als 1% des häuslichen und gewerblichen Abwassers exfiltriert, obwohl der Untergrund überwiegend gut durchlässig ist

Bewertung durch das LANUV

Die Verwendung von Carbamazepin als Tracer für abwasserbürtige Einträge in das Grundwasser bietet sich an (wenngleich die Verkaufszahlen in Deutschland mittlerweile rückläufig sind: 64,6 t im Jahr 2009 gegenüber 87,6 t im Jahr 2001).
Die ermittelten Konzentrationen im Grundwasserzustrom der Stadt Linz, die festgestellten Höchstwerte bis >0,1 µg/L in einzelnen Stadtteilen, sowie die festgestellten Durchschnittskonzentrationen über das gesamte Stadtgebiet ergeben ein charakteristisches Muster und belegen, dass signifikante Hinweise auf Exfiltrationen in der gesamten besiedelten Fläche festzustellen sind, und dass darüber hinaus besondere Hot-Spots vorliegen, die unter Berücksichtigung der anderen untersuchten abwasserspezifischen Parameter zumindest lokal deutlichen Handlungsbedarf aufzeigen. Die Überschreitung des für Humanarzneistoffe allg. angenommenen Vorsorgewertes VWa von 0,1 µg/L[10] für Carbamazepin im Grundwasser, bedingt durch Kanalleckagen, untermauert diesen Handlungsbedarf.

In Relation zur Carbamazepin-Konzentration des ungereinigten Abwassers (Zulauf der Kläranlage) sind demnach im städtischen Grundwasser Carbamazepin-Konzentrationen anzutreffen, die mehr als 12% der mittleren Belastung des ungereinigten Abwassers betragen.

Allerdings ist die von den Autoren für die Stadt Linz ermittelte mittlere Verlustrate (1%) im Vergleich zu Untersuchungen anderer Autoren in anderen Städten relativ niedrig.

[10] Allg. Vorsorgewert für Humanarzneiwirkstoffe in Rohwasserressourcen aus Sicht des Trinkwasserschutzes gemäß der Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA, 2011)

Autor: Gallert C., Jianmin H., Koydon S., Franz M., Fitterer K., Winter J. (2001)

Titel: Auswirkungen schadhafter Kanäle auf den Untergrund

Fundstelle: GWF Wasser – Abwasser, 142 (2001) Nr. 14, S. 23 - 28

Inhalt

- Art der Studie
  Bericht über Laborversuche zur Simulation von Abwasseraustritten über eine Bodenzone in das Grundwasser; potenzielle Schadstoffanteile zum Eintritt in den Grundwasserleiter.

- Untersuchungsansatz
  Durchlauf von mechanisch vorgereinigtem Abwasser aus einer Kläranlage durch eine definierte Sandsäule (1,25 m, 10 cm Ø, Korndurchmesser 0,4 – 2 mm, 10 cm Abwasserüberstau) – getrenntes Auffangen des im Zentralbereich und in der Randzone der Säule abgelaufenen Abwassers – Bestimmung des CSB (Zu– und Ablauf), Gesamtkeimzahl in Abhängigkeit der Säulentiefe, coliforme Bakterien (Zu- und Ablauf) – Bestimmung coliformer Keime in der organischen Filterschicht auf der Sandoberfläche (Simulation einer Kolmation).

- Untersuchungsergebnisse
  - CSB-Abbau in der Sandsäule (= Bodenschicht): 71 – 78 %
  - coliforme Bakterien am Ablauf der Säule: 2.500/ml
  - „Die restliche Populationsdichte coliformer Keime entspricht der Gesamtpopulationsdichte von Keimen im Grundwasser. - Aus hygienischer Sicht ist damit nach einer Sickerstrecke von 1,25 m durch eine Mittelsandfraktion keine zufriedenstellende Keimzahlreduktion erreicht. – Es besteht die Gefahr der Verbreitung von potenziellen Krankheitserregern mit dem Grundwasser."
  - Der Bakterieneintrag durch versickerndes Abwasser führt nicht zu einer Erhöhung der Populationsdichte in einem biologisch aktiven Boden.
  - Eine vollständige Elimination von CSB ist auch nach längeren Inkubationszeiten (längere Fließstrecke oder dichterer Boden) unwahrscheinlich
  - Immobilisierung von Schwermetallionen
  - Bei durch undichte Kanäle kolmatierten Bodenarealen ist mit einer Freispülung zu rechnen, wenn die Grundwasserstände die Kanalverlegungstiefe übersteigt (Frühjahr, Herbst)

- Schlussfolgerungen der Autoren
  „In welchem Ausmaß organische Verbindungen dauerhaft ins Grundwasser gelangen und dort eine Qualitätsminderung hervorrufen, muss noch detailliert untersucht werden."

Bewertung durch das LANUV

Es handelt sich um eine Simulation von Einträgen organischer Bestandteile (CSB) und Keimen in einen Grundwasserträger aufgrund von Kanalleckagen. Eine solche Untersuchung gibt Anhaltspunkte, ob durch undichte Kanäle eine Grundwasserbelastung zu besorgen ist, sowohl chemisch (organische Stoffe) als auch hygienisch (coliforme Keime). Dies gilt unter den Voraussetzungen der Versuche: Grundwasserstände ≤ 1,25 m, gut Wasser leitender Boden (Mittelsand). Eine Laborapparatur ersetzt aber letztendlich keine realen Ergebnisse.

Autor: Klinger J. (2007)

Titel:
Beschreibung der Wasser- und Stoffflüsse in einem urbanen Raum unter besonderer Berücksichtigung von Kanalleckagen

Fundstelle:
Diss. Univ. Karlsruhe (Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Karlsruhe – Prof. Dr. H. Hötzl)

Inhalt

- Art der Studie
  Dissertation
  Teil des DFG-Projektes „Gefährdungspotenzial von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser“
  Teil des EU-Projektes AISUWRS (EVK1-CT-2002-00100)“

- Untersuchungsansatz
  Abbildung des gesamten Wasserhaushalts und assoziierter Stoffströme in einem bestehenden urbanisierten Raum anhand von Modellrechnungen
  Kopplung von 5 Modellen – eins davon: Prozesse der In- und Exfiltration in das Kanalnetz bzw. die ungesättigte Zone
  Experimentelle Daten aus einer Fallstudie (Rastatt): Langzeituntersuchungen zur Exfiltration an einer Kanalteststrecke mit realen und definierten Defekten
  Wöchentliche Beprobung von Abwasser (Kanal), Sickerwasser (Leck 1), Bodenwasser mittels Saugkerzen (Leck 2)
  Detaillierte Betrachtung der Kolmation (chem., biol., mech.)

- Untersuchungsergebnisse
  Aus Messungen an Testkanal

  Exfiltration
  - Füllstandserhöhung im Kanal ➔ erhöhte Exfiltrationsrate
  - nach Auftritt des Schadens Eintreten von Kolmation ➔ ständiges Verringern der Exfiltrationsrate
  - „Der Aufbau einer effektiven Kolmation unter realen Bedingungen ist ein Prozess, der sich über mehrere Monate hinzieht.“
  - größtes Risiko für Boden und Grundwasser durch **neu** entstandene Kanaldefekte
  - zu keinem Zeitpunkt ein vollständiges Verschließen des Lecks durch Kolmation
  - „Die Exfiltration kann als hochgradig instationärer Prozess beschrieben werden, wobei die größten Austrittsmengen und damit das größte Risiko für Boden und Grundwasser während Niederschlagsereignissen zu verzeichnen sind.“ ⇔ aber: Die Kolmatierung des Lecks ist auch während Niederschlagsereignissen, die von stark variierenden Randbedingungen begleitet sind, wirksam.
  - Keine Temperaturabhängigkeit von Exfiltrationsrate festgestellt
  - gemessenes Verhältnis Exfiltrationsmenge/Schmutzwasserabfluss:
    - bei Regenwasserabfluss RWA 0,02 %
    - bei Trockenwetterabfluss TWA 0,0005 %
      d.h. 1/80 im Vergleich zu Literaturdaten ⇔ aber: Aussagen in der Dissertation beziehen sich auf Exfiltrationsmengen aus einer Einzelleckage, die Literaturdaten (0,40 – 34 %) beziehen sich auf ganze Siedlungsgebiete (= Summe vieler Einzelleckagen)
    - aussagekräftiger: flächenbezogene Exfiltration: 69,5 mL/d cm^2 (Mittelwert, bezogen auf Fläche der Rohrleckage) ➔ Richtgröße als Grundlage für eine Risikoabschätzung

  Kolmationsschicht
  - bei realem Kanaldefekt breitet sich die Biomasse bis in eine Tiefe von 4 – 6 cm aus und wird kolmationswirksam
  - Kolmationsschicht wird als maßgeblich für die Versiegelung des Lecks verantwortlich gemacht
  - „Durchlässigkeitsbeiwert für die Kolmationsschicht“ (90 % der ermittelten Werte sind kleiner) ➔ $k_f = 8{,}8 \times 10^{-6}$ m/s
  - Anreicherung von Schwermetallen innerhalb der Kolmationsschicht (Immobilisierung durch Bildung von Sulfiden) ⇔ aber: „Die dokumentierten, sehr hohen Stoffkonzentrationen im un-

mittelbaren Bereich unterhalb des Lecks, dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Rückhalteleistung endlich ist. Bei ausreichend langer Versuchsdauer ist mit einem Schadstoffeintrag in tiefere Kompartimente der ungesättigten Zone oder aber das Grundwasser zu rechnen."

Stoffübergang in Sickerwasser

„Die sehr hohen Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen von bis zu 122.5 mg/L im Sickerwasser unterhalb der Kanalleckage sind keine Seltenheit und wurden bereits in vergleichbaren Untersuchungen in der Größenordnung von 50 mg/L NO_3-N nach einer Sickerstrecke von 50 – 60 cm festgestellt. Damit konnte nachgewiesen werden, dass es durch Kanaldefekte in Schmutzwasserkanälen zu einem kontinuierlichen Nitrateintrag in die ungesättigte Zone bzw. das Grundwasser kommt."

Hinweise für defekte Kanäle: Anwesenheit der Parameter Bor und Chlorid

„Im Rahmen der Sickerwasseruntersuchungen auf pharmazeutische Rückstände wurden im Sickerwasser Summenkonzentrationen von bis zu 11 µg/L nachgewiesen. Bei durchschnittlichen Exfiltrationsraten von 1 – 2 L/d am Einzelschaden erreichen mit dem Sickerwasser täglich 10 – 20 µg pharmazeutischer Stoffe tiefere Kompartimente der ungesättigten Zone bzw. gelangen direkt ins Grundwasser. Damit sind defekte Abwassersysteme als Haupteintragsquelle von Pharmaka zu sehen."

Aus Modellrechnungen für ein Kanalnetz („Urbaner Raum Rastatt")

- Exfiltrationsmengen (reale Schäden aus der Kanalschadensdatenbank Rastatt):
  - TWA: 30,63 m^3/d (entsprechend 0,54 % zu Gesamtabwasser)
  - RWA: 58,68 m^3/d (entsprechend 0,38 % zu Gesamtabwasser)
- Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch defekte Abwasserkanäle für Grundwasser
  - sehr geringe Verunreinigungsgefahr: Exfiltration ≤ 10 m^3/a
  - geringfügige Verunreinigungsgefahr: Exfiltration 11 – 100 m^3/a
  - mittlere Verunreinigungsgefahr: Exfiltration 101 – 300 m^3/a
  - hohe Verunreinigungsgefahr: Exfiltration 301 – 1.500 m^3/a

- Schlussfolgerungen des Autors

„Die Bilanzierung abwasserbürtiger Stoffe an einer Kanalleckage konnte aufgrund der räumlich und zeitlich stark variierenden Zusammensetzung des Ab- und Sickerwassers nur auszugsweise durchgeführt werden. Eine vollständige Bilanzierung insbesondere von umweltrelevanten Substanzen würde die Grundlage für eine detaillierte Gefährdungsabschätzung des Bodens und des Grundwassers liefern."

„Für die vollständige Bilanzierung des Wasser- und Stoffeintrags in die ungesättigte Zone und das Grundwasser müssen zukünftig die Abwasserrohre auf den Privatgrundstücken in die Bewertung mit einbezogen werden."

Bewertung durch das LANUV

Eine umfangreiche, auf eigenen Messergebnissen fußende Arbeit, bei der insbesondere folgende Aspekte herausgearbeitet sind:

- intensive Betrachtung der Kolmation
- mit Messungen belegte Exfiltrationsraten
- Messungen im Sickerwasser bei einer realen Kanalstrecke mit realen definierten Defekten
- die Ergebnisse der Modellrechnungen lassen Rückschlüsse von der Betrachtung eines Einzeldefektes auf ein gesamtes Kanalnetz mit bekanntem Defektstatus zu

Autor:
Musolff A., Leschik S., Reinstorf F., Strauch G., Möder M. & Schirmer M. (2007)

Titel:
Xenobiotika im Grundwasser und Oberflächenwasser der Stadt Leipzig

Fundstelle:
Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (200) 12:217-231

Inhalt

- Art der Studie
  Analysen des geklärten und ungeklärten Abwassers und des Grund- und Oberflächenwassers an 26 bzw. 6 Messstellen im Gebiet der Stadt Leipzig auf diverse anorganische Stoffe und Xenobiotika; statistische Datenauswertung mittels Korrelations- und Faktorenanalyse (multivariate Statistik) und geostatistischen Verfahren. Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes WASSER Leipzig durch das Umweltforschungszentrum UFZ durchgeführt.

- Untersuchungsansatz
  Es wurden die Konzentrationen der Industriechemikalien Bisphenol A, t-Nonylphenol, der polyzyklischen Duftstoffe Galaxolid und Tonalid, des Medikaments Carbamazepin sowie von Koffein in Grundwasser-, Oberflächenwasser- und Abwasserproben bestimmt. Die Daten wurden verschiedenen statistischen Auswertungen unterzogen, um Einflüsse des im Uferbereich infiltrierenden Oberflächenwassers auf das Grundwasser, Nutzungseinflüsse (Bebauung, Besiedlung, Industrie, Landwirtschaft) und Einflüsse exfiltrierenden Abwassers auf die Beschaffenheit des Grundwassers voneinander zu separieren (u.a. Hauptkomponentenmethode u. Variogrammanalysen). Ziel war es, einen insgesamt besseren Überblick über das Vorkommen und die Verbreitung dieser Stoffe in der aquatischen Umwelt zu erhalten.
  Das Untersuchungsgebiet umfasst 17,5 km^2 und gliedert sich in Teilgebiete mit unterschiedlichen vorherrschenden Landnutzungseinflüssen. Es wird von mehreren Oberflächengewässern durchflossen (Weiße Elster, Elsterbecken, Neue Luppe), geologisch ist das Gebiet hauptsächlich durch quartäre und holozäne Sedimente charakterisiert (8 m mächtig), teils aber auch tertiäre Sedimente. Die Kiese und Sande bilden einen zusammenhängenden stark durchlässigen, meist freien, Grundwasserleiter; im Gebiet liegt größtenteils eine Mischwasserkanalisation vor (Kanalnetz 64 km Länge). Die Probenahmen fanden im November und Dezember 2006 statt (26 Grundwassermessstellen, 6 Oberflächenwassermessstellen).

- Untersuchungsergebnisse
  Als Ergebnis der Faktorenanalyse konnten die relevanten Variablen identifiziert werden, die die Gesamtvarianz der Grundwasserbeschaffenheit zu einem hohen Teil (88%) erklären. Die Faktoren, welche die Xenobiotika beinhalten, zeigen die deutliche Belastung des Grundwassers im zentralen Teil des Untersuchungsgebietes im Übergang von städtischer Nutzung zur Elsteraue bei hoher räumlicher Heterogenität. Zu dieser Gruppe gehören die Stoffe t-Nonylphenol, Tonalid und Koffein sowie Bisphenol A und Galaxolid. Desweiteren zeigte das Grundwasser im Untersuchungsgebiet eine deutliche Belastung mit den anorganischen Haupt- und Nebenbestandteilen (Wasseremperatur, Chlorid, Nitrat, Sulfat, Bor, Kalium). Eine Korrelation zwischen den Xenobiotika und den anderen anthropogenen Indikatoren konnte allerdings nicht nachgewiesen werden. Gegenüber den Oberflächengewässern waren die Bisphenol A-Konzentrationen im Grundwasser um den Faktor 8 höher (!). Gegenüber den ungeklärten Abwässern lagen die durchschnittlichen Konzentrationen von Koffein und den polyzyklischen Duftstoffen (Galaxolid, Tonalid) im Grundwasser um eine Größenordnung niedriger. Die Konzentrationen an den östrogen wirksamen Stoffen Bisphenol A und t-Nonylphenol waren dagegen im Grundwasser vergleichbar mit den Konzentrationen im ungeklärten Abwasser; teilweise waren sie im Grundwasser sogar höher als bei den beiden Proben aus dem ungeklärten Abwasser.
  Die Variogrammanalyse ergab keine räumlichen zusammenhänge zwischen den im Grundwasser gemessenen Konzentrationen der Xenobiotika – auch auf kurze Distanzen können die Konzentrationen sehr stark variieren. Im Stadtgebiet waren die Konzentrationen sehr heterogen. In einem Gebiet ohne Oberflächenwasserinfiltration und als Ergebnis der Faktorenanalyse (fehlende Hinweise auf Industriebedingte Einträge) wurde der Eintrag von Abwasser aus Kanalisationsleckagen als Quelle für erhöhte Konzentrationen der Xenobiotika angenommen (auffällig v.a. Bisphenol A, und t-Nonylphenol).

Im Stadtgebiet waren auch die Konzentrationen an Kalium und Bor erhöht. Allerdings lagen die Werte z.T. deutlich über den Abwasserkonzentrationen. Die Belastungen wurden Sickerwassereinträgen aus Bauschutt und der metallverarbeitenden Industrie zugeordnet und sind somit nicht eindeutig (bzw. ausschließlich) auf Abwassereinträge zurückzuführen.

- Schlussfolgerungen der Autoren

  Für das Grundwasser im Stadtgebiet können Abwasserleckagen aus der Kanalisation als Quelle der Xenobiotika angenommen werden. Für die hohen Bor-Konzentrationen werden dagegen Sickerwässer aus industriell genutzten Arealen als Quelle angesehen; aus geogenen Quellen stammen vermutlich die hohen Sulfat-Konzentrationen im Grundwasser.
  Die Ergebnisse zeigen eine gute Eignung der Xenobiotika, um urbane Einträge von Abwasser in Grund- und Oberflächenwasser nachzuweisen. Die Verteilung der Xenobiotika erlaubt dabei Schlüsse, die durch eine alleinige Untersuchung konventioneller Indikatoren, wie Bor und Sulfat, nicht möglich sind. Dennoch liefern konventionelle Indikatoren wichtige Hinweise zur Klassifizierung der Proben und zur Abschätzung von Verschmutzungspfaden.
  Die Ergebnisse bilden eine erste Datenbasis für die Bilanzierung des Stoff- und Wasserhaushaltes im Einzugsgebiet.

Bewertung durch das LANUV

Einige synthetisch hergestellte Abwasserinhaltsstoffe (hier: „Xenobiotika“) haben sich zwar bei Oberflächengewässern, und teilweise auch bei der Uferfiltration, als geeignete Marker erwiesen. Die Erkenntnisse über die Prozesse bei der Abwasserexfiltration, bei der diese Stoffe unter anderen Redoxbedingungen und in Kombination mit anderen Stoffen in den Untergrund gelangen, sind jedoch widersprüchlich. Von den synthetischen Moschusverbindungen Galaxolid und Tonalid ist bekannt, dass sie im Untergrund adsorbiert oder abgebaut werden (NOSER et al. 2000). Auch für Koffein wird die Eignung als Grundwassertracer aufgrund seines nicht-konservativen Verhaltens teilweise in Frage gestellt (SEILER et al. 1999, HEBERER 2002b, BUERGE et al. 2003); für Koffein ist – je nach Redoxverhältnissen - von einem deutlichen mikrobiologischen Abbau auszugehen, so dass jedenfalls keine quantitativen Aussagen möglich sein werden. Bisphenol A hat den Nachteil, dass der Stoff auch aus Leitungen freigesetzt werden kann, somit kann die Abgrenzung von Trinkwasserexfiltrationen im Einzelfall schwierig sein. Nonylphenol dürfte ebenfalls einer Sorption und Abbauprozessen unterliegen.
Die im Rahmen der Studie untersuchte Messstellendichte ist zu gering, um als Datenbasis für die Bilanzierung des Stoff- und Wasserhaushaltes im Einzugsgebiet oder zur Quantifizierung von Abwasserverlusten herangezogen zu werden. Hinzu kommt, dass das Gebiet noch in verschiedene Nutzungs- und Uferfiltrateinflüsse sowie unterschiedliche hydrogeologische Randbedingungen differenziert werden muss. Eine repräsentative Untersuchung ist in Anbetracht der Messstellenzahl und Beprobungshäufigkeit nicht gegeben.
Gleichwohl ist festzuhalten, dass im Stadtgebiet eindeutig auf Abwasserexfiltrationen zurückzuführende, hohe Belastungen des Grundwassers im 1- bis 4-stelligen ng/L-Bereich mit anthropogenen Spurenstoffen gefunden worden sind, die teilweise in der Größenordnung des ungeklärten Abwassers lagen (Bisphenol A, Nonylphenol, Carbamazepin). Einige dieser Stoffe (außer Koffein) sind aus ökotoxikologischer Sicht keineswegs als unbedenklich einzustufen (z.B. Nonylphenol, Bisphenol A: -> östrogene Wirkungen bei aquatischen Lebewesen; Carbamazepin: vgl. aktueller UQN-Vorschlag der EU: 0,5 µg/L).

Autor: Rehfeld-Klein M., Asbrand M., Hannappel S. (2002)

Titel: Hydrochemische Charakterisierung des Grundwassers in Berlin

Fundstelle:
Nicht veröffentliche Studie der Firmen Hydor und Fugro im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung in Berlin; Kurzfassung (12. S.) im Internet
http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/download/wrrl-hydrochem_gw_kurz.pdf

Inhalt

- Art der Studie
  Auswertung des Senatsmessnetzes/-messprogramms und im Randbereich von Brandenburger Daten mit dem Ziel der Weiterentwicklung und Optimierung für die Umsetzung der WRRL. Dabei sollen räumliche und zeitliche Variationen für die Charakterisierung des Grundwassers ermittelt werden. Die Grundwasseranalysen wurden Plausibiltätstests unterzogen, um die repräsentativen Analysen für die hydrochemische Zustandsbeschreibung zu ermitteln.

- Untersuchungsansatz
  Das Untersuchungsgebiet wurde in 9 hydrogeologische Einheiten gegliedert und die Überdeckung im Hinblick auf eine Grundwasserschutzfunktion bewertet (ungünstig, mittel, günstig). Die Messstellen wurden im Hinblick auf ihre Tiefenlage kategorisiert und für die vorliegenden Analysen Häufigkeitsverteilungen und statistische Kennwerte ermittelt.

- Untersuchungsergebnisse
  Hohe Salz-Konzentrationen werden (u.a.) auf die 100-jährige Abwasserverrieselung und die Exfil tration aus der Kanalisation zurückgeführt. In dicht bebauten Zentren zeigen sich besonders hohe Konzentrationen an Bor und Ammonium, die auf den Abwassereinfluss zurückgeführt werden. Trendanalysen der zeitlichen Konzentrationsentwicklung von 1995 bis 2001 zeigten beim Bor durchweg einen ansteigenden Trend.

Bewertung durch das LANUV
Die Untersuchungen zielten in erster Linie auf die Optimierung des Grundwassermonitorings des Landes Berlin ab. Insoweit wurden keine spezifischen Untersuchungen zu den Einflussfaktoren auf die Grundwasserbeschaffenheit einzelner Messstellen durchgeführt. Die Autoren haben dennoch – insbesondere beim Parameter Bor – auf die Überprägung durch Abwasser hingewiesen.

Autor:
Reinstorf F., Leschik S., Musolff A., Strauch G., Möder M., Osenbrück K. & Schirmer M. (2006)

Titel: Untersuchung zur Verbreitung von pharmazeutischen und Körperpflegeprodukten (PPCP) im Grund- und Oberflächenwasser der Städte Halle/Saale und Leipzig

Fundstelle:
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle in der Helmholtz Gesellschaft. Workshop: Pharmaka in der aquatischen Umwelt – Ergebnisse aus Forschung und Praxis, 07.09.2006, Leipzig

Inhalt

- Art der Studie
  Untersuchung des Abwassers und von Grund- und Oberflächengewässern auf pharmazeutische und Körperpflegeprodukte (PPCP) im Untersuchungsgebiet Leipzig (mittlere Stadt mit Gewässer- und Auenanbindung), Abschätzungen der Stofffrachten und „Bilanzierung". Durchführung im Rahmen des Projektes WASSER der Stadt Leipzig und im Stadtgebiet Halle.

- Untersuchungsansatz
  Untersuchungen in Leipzig: Es wurde ein Untersuchungsgebiet im Bereich der Stadt Leipzig gewählt, welches eine Gewässer- und Auenanbindung aufweist. Ziel: Untersuchung der Einflüsse von Abwassereinleitungen und Einträgen von Oberflächenwasser in das Grundwasser (quantitativ und qualitativ) anhand von abwasserspezifischen Chemikalien (PPCP). Es wird davon ausgegangen, dass urbane Einflüsse bei „ubiquitären Stoffen" nicht anhand von Konzentrationsmessungen feststellbar sind, daher Ermittlung der Stoffflüsse (Frachten!) → „Bilanzierung eines urbanen Raumes bzgl. wassergetragener Mikroverunreinigungen".
  Durchführung der Untersuchungen mittels Stichtagsbeprobung von Grund- und Oberflächenwasser. Untersucht wurden die Arzneimittelwirkstoffe Phenazon, Carbamazepin, Clofibrinsäure, Ibuprofen, Gemfibrozil, Diclofenac, aus der Gruppe der endokrin wirksamen Stoffe wurden die Stoffe Nonylphenol und Bisphenol A untersucht und aus der Gruppe der Körperpflegeprodukte die synthetischen Moschusduftstoffe Galaxolid und Tonalid, sowie Koffein. Die Messstellen wurden im Zeitraum Oktober 2004-November 2005 insgesamt 3-mal untersucht. Auf dieselben Stoffe untersucht wurde in diesem Zeitraum auch 2-mal das Abwasser der Kläranlage in Leipzig sowohl im Zulauf (Hauptsammler Lind und Hauptsammler Süd) als auch im Auslauf der Kläranlage.

  Bilanzierungsschema (Halle):
  Input aus den Flüssen Saale (Mst. oh Halle/Saale), Weiße Elster, Kläranlage und diffuse Einträge (Grundwasserzustrom) = Output Saale (Messstelle unterhalb Halle).
  Abflussbildungsberechnung auf der Grundlage des Gebietsniederschlages, Evapotranspiration, Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildung im Stadtgebiet Halle/Saale, unter Berücksichtigung des mittleren diffusen Grundwasserzustroms zur Saale (Mittlerer Abfluss - MQ).

- Untersuchungsergebnisse
  Leipzig: Es wurden „flächendeckend" PPCP in den Fließgewässern und im Grundwasser der Stadt Leipzig festgestellt (ubiquitär); die Konzentrationen liegen im 1- bis 4-stelligen ng/L-Bereich. Das bisherige Screening-Konzept erlaubt allerdings noch keine Bilanzierung. Es wird ein Konzept entwickelt, welches mit kleineren Bilanzräumen für spezifische Prozesse (Wechselwirkung Grundwasser <-> Oberflächenwasser; Infiltration & Versiegelung, Kanalleckagen) auch quantitative Aussagen (Bilanzierungen) zulassen soll.

  Halle/Saale: Eine Bilanzierung der Frachten (Jahre 2002-2006) gemäß obigem Bilanzierungsschema (Input – Output) wurde versucht für die Stoffe Bisphenol-A, Carbamazepin, t-Nonyl phenol, Galaxolid, Tonalid. Deutliche Frachtzuwächse innerhalb der Stadt, bedingt durch Abwassereinleitungen (Kläranlage) und diffuse Abwassereinträge (Grundwasser) wurden für Tonalid (+120 kg/a bzw. + 407%), Galaxolid (+270 kg/a bzw. +225%), geringere für t-Nonylphenol (+110 kg/a bzw. +27%) und Carbamazepin (+100 kg/a bzw. +25%) festgestellt, keine Zunahmen für Bisphenol A.

  Die Frachtenermittlung zeigt einen signifikant steigenden Trend in der Stadt. Die Berechnung der Stoffströme zeigt steigende Werte für die untersuchten Indikatoren während der Stadtdurchquerung.

- Schlussfolgerungen der Autoren
  Nonylphenol, Bisphenol A, Carbamazepin, Galaxolid und Tonalid werden für geeignete Indikatoren gehalten, um Wechselwirkungen Grundwasser <-> Oberflächenwasser und Abwasser <-> Grundwasser zu untersuchen.
  Eine großräumige Bilanzierung ist möglich (konnte am Beispiel Stadtgebiet Halle gezeigt werden). Die Massenflüsse von Carbamazepin und t-Nonylphenol steigen signifikant um einige 10% sowie Galaxolid und Tonalid um einige 100% während der Stadtdurchquerung. Lediglich Bisphenol „stagniert" innerhalb der Stadt. Die Interaktionsprozesse beim Austausch zwischen den hy drologischen Kompartimenten sind zum Teil möglicherweise (z.B. mit Blick auf diesen Stoff) noch zu wenig verstanden.
  Das Wissen über das Verhalten von PPCP und die metabolischen Effekte ist noch weitgehend unsicher; fast keine Information existiert über das Risikopotenzial für Ökosysteme und die menschliche Gesundheit.
  Eine Verbesserung der Datenbasis wird durch Monitoring über die o.g. Indikatoren in Verbindung mit anderen ausgewählten Indikatoren (Isotopen, Hydrochemie, Pathogenen) angestrebt. → Aufbau eines integrierten urbanen Transportmodells ist angestrebt.

Bewertung durch das LANUV

Die Untersuchungen lassen bisher keine räumlich auflösenden Rückschlüsse auf den quantitativen Einfluss von Kanalleckagen im Stadtgebiet zu. Um den grundwasserseitigen Eintrag quantitativ zu ermitteln, ist der bisherige Messstellen- und Probenumfang zu gering. (Die Grundwasserströmungsverhältnisse in den Stadtgebieten Leipzig und Halle sind kompliziert; sie sind auch von den Pegelständen der Oberflächengewässer abhängig.)
Hinzu kommt, dass die Sorptions- und Abbauprozesse, denen zumindest einige der untersuchten PPCP sehr deutlich unterliegen dürften, bisher nicht berücksichtigt sind.
Auch hinsichtlich der Einträge aus den Kläranlagen ist die Datenlage unsicher (2 Untersuchungen), da die Stoffe in den Kläranlagen unterschiedlich gut abgebaut bzw. eliminiert (-> Klärschlamm) werden.
Da im Stadtgebiet Leipzig überwiegend Mischwassersysteme vorliegen, können die bei Starkregenereignissen in die Oberflächengewässer aus den Kläranlagen eingeleiteten Frachten bei einigen Stoffen deutlich höher sein als bei Trockenwetterabfluss.
Trinkwasserexfiltration und GW-Entnahmen müssen bei der Massenbilanzierung ebenfalls berücksichtigt werden.

Gleichwohl sind die im Grundwasser festgestellten Konzentrationen der untersuchten PPCP bemerkenswert hoch. Für Bisphenol A wurden im Grundwasser der Stadt Halle Konzentrationen >1 µg/L gemessen. Da dieser Wert über den Konzentrationen in Oberflächengewässern liegt, muss angenommen werden, dass die Kontamination aus Kanälen stammt. Erforderlich wären jedoch Angaben zum Alter des Grundwasser bzw. Uferfiltrates, um beurteilen zu können, ob rezente oder vergangene Einträge ursächlich sind.

Autor:
Schramm C., Gans O., Uhl M., Grath J., Scharf S., Zieritz I., Kralik M., Scheidleder A. & Humer F.

Titel: Carbamazepin und Koffein – Potenzielle Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunales Abwasser?

Fundstelle: Umweltbundesamt Wien/Österreich – Projektbericht (2006).

Inhalt

- Art der Studie

  Projektbericht. Im Rahmen des Pilotprojektes „Carbamazepin und Koffein – Potenzielle Screeningparameter für kommunale Verunreinigungen des Grundwassers?“ wurden 56 Grundwasser-Messstellen auf die Substanzen Carbamazepin und Koffein untersucht.

- Untersuchungsansatz

  Durch Untersuchung der o.g. Grundwassermessstellen sollte geprüft werden, ob die Wirkstoffe Carbamazepin und Koffein im Grundwasser nachweisbar sind und ob sie sich als Screeningparameter für Abwasserbelastungen des Grundwassers eignen. Die Auswahl der Messstellen erfolgte basierend auf vorhandenen GW-Qualitätsdaten und sollte Messstellen umfassen, die folgenden Klassen zugeordnet werden können:
  - 10 weitgehend unbelastete Messstellen
  - 38 Messstellen mit Belastungen durch Abwasser und
  - 8 Messstellen mit Belastungen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Punktquellen und diffuse Quellen).

  Die Auswahl der Messstellen gemäß diesen Nutzungsklassen erfolgte mittels Hauptkomponentenanalyse, wobei statistisch ähnlich reagierende Parameter und somit Indikatorparameter für häusliches Abwasser (Bor, Chlorid, Karbonathärte, Kalium, Sulfat) sowie Belastungen aus der Landwirtschaft (Ammonium, Nitrit, Phosphat und DOC) ermittelt wurden.
  Es erfolgten 2-3-malige Untersuchungen der Messstellen im Zeitraum 2004/2005. Die Stoffe wurden u.a. deshalb ausgewählt, weil sie sich in anderen Studien bereits als „Leitparameter“ für Abwasserbelastungen in Oberflächengewässern als geeignet erwiesen haben.

- Untersuchungsergebnisse

  Carbamazepin:
  Insgesamt 33% der insgesamt 112 Messwerte lagen über der Bestimmungsgrenze (1 ng/L), davon 10 Messwerte >10 ng/L (9%) und 2 Messwerte >100 ng/L (2%; an einer Messstelle).
  Die Maximalkonzentration lag bei 2660 ng/L.

  Koffein:
  Insgesamt 46% der 112 Messwerte lagen über der Bestimmungsgrenze (5 ng/L), davon 22 Messwerte >10 ng/L (20%) und 3 Messwerte >100 ng/L (3%; an drei Messstellen). Die Maximalkonzentration lag bei 260 ng/L.
  Auswertung nach Voreinstufung der Messstellen hinsichtlich Nutzungseinflüssen (Siedlung, Ackerland) und ggf. Uferfiltrateinflüssen:

  „weitgehend unbeeinflusste Messstellen“:
  An 8 von 10 „weitgehend unbelasteten“ Messstellen waren keine Carbamazepin-Konzentrationen >1 ng/L (BG) nachweisbar. Restl. als „unbelastet“ angenommene Messstellen: An einer Messstelle wurde Carbamazepin in sehr niedriger Konzentration (1 ng/L), aber kein Koffein (<5 ng/L) festgestellt. An der zweiten Messstelle wurde einmal Carbamazepin in Höhe von 24 ng/L sowie Koffein in Höhe von 27 ng/L gemessen. Die Ursache konnte nicht geklärt werden.
  Koffein wurde im Gegensatz dazu an 7 der 10 „weitgehend unbelasteten Messstellen“ mit Werten zwischen 5 und 29 ng/L gemessen. Mögliche Ursache könnten nach Angabe der Autoren z.B. Komposthaufen sein oder Senkgrubeninhalte, die landwirtschaftlich ausgebracht wurden

  „als abwasserbeeinflusst eingestufte MSt“:
  An 19 der insgesamt 38 Mst wurden Carbamazepin-Konz. bis zu 30 ng/L gemessen, an 11 dieser MSt. auch Koffein mindestens einmalig in Konzentrationen zwischen 5 und 29 ng/L.
  Zumindest für die Belastungen der Messstellen im Porengrundwasser wurde auf Verunreinigungen durch undichte Kanäle rückgeschlossen (wegen Anwesenheit des Begleitparameters Bor in typischer Relation gemäß Mischungsrechnung). Bei den Mst. im Karstgrundwasser wurde eher auf Verunreinigungen durch Schutz-/Jagdhütten bzw. Gastwirtschaften zurückgeschlossen, weil

keine für häusl. Abwasser typischen Begleitparameter in entsprechendem Verhältnis vorlagen. Eine Messstelle wies Carbamazepin-Konzentrationen in Höhe von durchschnittlich 2000 ng/L Carbamazepin auf (doppelt so viel, wie durchschnittlich in Abwasserkanälen gemessen wird). Daraus wurde geschlossen, dass es sich um Einträge aus einer undichten Senkgrube oder aus einem undichten Hausanschluss oder –Kanal handeln musste.
Koffein wurde insgesamt häufiger nachgewiesen als Carbamazepin (12 Messstellen mit Koffein- aber ohne Carbamazepin-Befund). Die Autoren sehen dies als Hinweis auf Belastungen durch Senkgruben bzw. Kleinkläranlagen, da Carbamazepin dort nicht unbedingt vorhanden sein muss. An 6 dieser als „abwasserbeeinflusst" eingestuften Messstellen wurde weder Koffein noch Carbamazepin gefunden.

<u>„als landwirtschaftlich eingestufte MSt":</u>
Bei 5 von 8 Messstellen wurde sowohl Carbamazepin als auch Koffein und bei 2 weiteren Mst nur Koffein gemessen. Die Höchstkonzentrationen waren jedoch tendenziell niedriger als bei den als „abwasserbeeinflusst" eingestuften Messstellen.

- Schlussfolgerungen der Autoren

Koffein wird zwar in kommunalen Abwässern (vor der Abwasserreinigung) in Konzentrationen bis zu mehreren 10.000 ng/L nachgewiesen. Es wird aber v.a. in Kläranlagen (~90%), aber auch im Untergrund, abgebaut bzw. adsorbiert – d.h. es weist kein konservatives Verhalten auf. Für Koffein wurde nur eine eingeschränkte Eignung als Indikatorparameter festgestellt, da die Substanz gut abbaubar ist. Auch scheint es mögliche andere Eintragsquellen zu geben außer Abwasserleckagen im Kanalnetz (z.B. Komposthaufen).

Carbamazepin wird im Zu- und Ablauf größerer Kläranlagen in der Regel mit einer Konzentration von 1000 ng/L gemessen. Da statistisch gesehen nur jeder 500-te Einwohner (Österreich) den Wirkstoff einnimmt, ist der Eintrag von Carbamazepin über Kleinkläranlagen oder aus Senkgruben (etc.) selten. Deshalb – sowie aufgrund der geringen Abbaubarkeit, ist für Carbamazepin eine Zuordnung zur Eintragsquelle „Abwasser" möglich. Carbamazepin erweist sich als Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers

- durch Undichtheiten in kommunalen Kanalisationssystemen und
- Versickerungen von kommunalen Abwässern (sowohl nach biologischer wie mechanischer Reinigung) als geeignet.

In Fenz (2005) wird angegeben dass, bei der Untersuchung der Exfiltration von Abwasser aus undichten Kanalnetzen durchschnittlich 30 ng/L Carbamazepin in Bereichen des Untersuchungsgebietes Linz mit deutlich erhöhten Grundwasserbelastungen durch Abwasser nachgewiesen wurden, begleitet von einer Erhöhung der Konzentrationen anderer Parameter wie Chlorid, Natrium, Bor, und Sulfat (in Relation zur Zusammensetzung des Abwassers im Kanal).
Die Ergebnisse zu den gefundenen Carbamazepin-Befunden im Grundwasser, resultierend aus Abwasser-Einträgen, werden aus Sicht des UBA / Wien als Hinweis für potenzielle Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität bewertet. Zum einen wird unter Berufung auf das UBA Berlin und die deutsche Trinkwasserkommission für Carbamazepin der Gesundheitliche Orientierungswert GOW1 von 100 ng/L als „pragmatischer Orientierungswert" bzw. als „Trinkwasser-Obergrenze" gesehen, dieser Wert wurde zumindest an einer Messstelle (deutlich) überschritten. Zum anderen wird bei Anwesenheit von Carbamazepin im Grundwasser aus Sicht der Autoren davon ausgegangen, dass dann gleichzeitig noch mit weiteren abwasserbürtigen Stoffen oder Mikroorganismen zu rechnen ist, für die ggf. keine Parameterwerte festgesetzt sind, oder die gar nicht untersucht wurden.
Aufgrund der schlechten Abbaubarkeit, reproduktionstoxischer Effekte in der aquatischen Umwelt (vgl. aktueller Umweltqualitätsnorm(UQN)-Vorschlag der EU: 0,5 µg/L) und möglicher additiver Wirkungen in Gegenwart anderer Pharmaka sollten die Carbamazepin-Konzentrationen in der Umwelt (incl. Grundwasser, Trinkwasser) beobachtet werden.

Bewertung durch das LANUV

Die Untersuchungen sind systematisch geplant und ausgewertet, die Schlussfolgerungen sind nachvollziehbar.
Eine Untersuchung siedlungsbeeinflusster Grundwassermessstellen auf Carbamazepin (in Kombination mit anorganischen Indikatoren) könnte ggf. auch für NRW zur Aufklärung abwasserbedingter Grundwasserbelastungen (mit Blick auf die Trinkwassergewinnung) sowie vor dem Hintergrund der derzeit vorgeschlagenen UQN (s.o.) von Interesse sein.

Autor: Thoma, R.

Titel: Auswirkungen undichter Grundleitungen mit häuslichem Abwasser auf Boden und Grundwasser

Fundstelle: Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 64, 2011

Inhalt

Art der Studie: Dissertation

- Untersuchungsansatz

  Untersuchung der Exfiltration aus privaten Grundleitungen anhand einer Modellapparatur (Anlage mit 6 separat beprobbaren Schadstellen) – Einsatz von Abwasser aus Haushalten (kein Abwasser aus dem Kanal!) - Langzeitversuch (ca. 40 Monate) - Untersuchung der Selbstabdichtungsprozesse (Kolmation)

  Entnahme von Bodenproben bei 8 Grundstücken in unmittelbarer Nähe der Schadstellen an realen Grundleitungen – Bewertung der Bodenproben

- Untersuchungsergebnisse

  Ergebnisse aus Modellapparatur:

  - Mittlere Exfiltrationsrate: 0,6 l/d entsprechend 0,19 % des Abwasserdurchflusses
  - Exponentielle Abnahme der Exfiltrationsrate in der Anfangsphase, dann wieder starker Anstieg und wieder Absinken
  - Abhängigkeit der Exfiltrationsrate mit Temperatur des Bodenkörpers (steigende Temperatur ➔ steigende Exfiltrationsrate)
  - keine Abhängigkeit zwischen Höhe der Exfiltration und Größe der Leckage
  - Dicke der Kolmationsschicht etwa 0,5 bis 1 cm geringer als bei öffentlichen Kanälen
  - Anreicherung von Parametern in Schicht unmittelbar unter Leckage (org. Parameter, Stickstoff, Cu, Zn, Pb, Phosphor) im Bereich ≤ 0,5 cm

  Ergebnisse aus Beprobungen bei Liegenschaften:
  Nachweis der Exfiltration durch Analyse von Leitparametern nicht durch einfachen Vergleich einzelner Parameter möglich ⇔ Gründe: Heterogenität der Bodenverhältnisse, Vorbelastung des Untergrundes
  Erkennung von Exfiltration aufgrund Verfärbung des Bodenmaterials
  Auswirkung der Exfiltration entsprechend der Schadensklasse
  Belastung von TOC und Schwermetallen auf das Bodenmaterial kann relevant sein (Überschreitung von Vorsorgewerten), u. U. kein Wiedereinbau von ausgehobenem Boden mit Leckageschaden erlaubt

  Literaturrecherche zu Kolmation

  Abschätzung der Exfiltrationsmengen mit Auswirkung auf das Grundwasser, erfolgt über Literaturdaten: Beitrag aus Grundleitungen: 0,28 mm/a ⇔ aus öffentlichen Kanälen: 0,12 mm/a

- Schlussfolgerungen des Autors

  Anhand optischer Inspektionen können relevante von nicht relevanten Schäden unterschieden werden.
  Zeitnahe Erkennung und vorrangige Behebung von Kombinationsschäden zur Vermeidung lokaler Bodenverunreinigung ist effektiv.
  Für andere Bauschäden (mittlere und evtl. auch hohe Schadensklassen) aus Sicht des Boden- und Gewässerschutzes kein vordringlicher Handlungsbedarf, wenn ausreichende Deckschichten über Grundwasserkörper.
  „Die Feststellung von naturwissenschaftlich begründeten Untersuchungsprioritäten unter Berücksichtigung der Grundwasserdeckschichten ist für den effektiven Umweltschutz bedeutender als die bautechnische Beurteilung einzelner Rohrleitungsschäden."
  „Eine flächendeckende Untersuchung und generelle Sanierung aller Grundleitungen innerhalb kurzer Frist ist vor diesem Hintergrund sachlich nicht begründbar."

Bewertung durch das LANUV

Die einzige bekannte Untersuchung von potenziellen Schäden durch defekte Grundleitungen. Die realitätsnahe Versuchsanordnung ist eine gutes Modell für einen Hausanschluss, der zum öffentlichen Kanal führt.
Die Ergebnisse hinsichtlich Exfiltration sind also praxisnah, ebenso die Aussagen zur Kolmation.

Autor: Trauth R., Xanthopoulos C. Dr., Barufke K.-P. (1999)

Titel: Änderung der Grundwasserbeschaffenheit auf dem Fließweg unter der Stadt, Pilotprojekt Karlsruhe - Auswertung und Ergebnisse

Fundstelle: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Grundwasserschutz Bd. 7, 63 S., Karlsruhe

Inhalt

- Art der Studie
  Grundwasseruntersuchungen im Stadtgebiet Karlsruhe zur Identifikation der Grundwasserbeschaffenheit im urbanen Raum

- Untersuchungsansatz
  Grundwasseruntersuchungen entlang zweier ca. 10 km langer Messstreifen mit 9 bzw. 11 Messstellen, die in Grundwasserströmungsrichtung angelegt sind. Ausbautiefe der Messstellen liegt zwischen ca. 8 und 24 m. Probenahme in 3 Kampagnen (1993, 94 und 95).
  Untersuchungsprogramm: Hauptparameter, Schwermetalle, Pflanzenschutzmittel, CKW, Komplexbildner.
  Zu jeder Messstelle wurde die Flächennutzung im Einzugsgebiet ermittelt. U.a. stand auch ein Plan der sanierten Kanalstrecken zur Verfügung, aus dem die sanierten Kanallängen im Einzugsgebiet aufsummiert wurden.
  Auswertung der Beschaffenheitsparameter erfolgt entlang der Grundwasserfließrichtung und für die tabellarische Darstellung durch Mittelung der Ergebnisse innerhalb von Zonen. Der Messstreifen wird in 3 Zonen eingeteilt (oberstromiger Eintritt in das Stadtgebiet, Stadtzentrum, unterstromiger Stadtrand).

- Untersuchungsergebnisse
  Großteil der Stadt im Bereich der Niederterrasse des Rheins aus quartären Kiesen und Sanden (Flurabstand 3 bis 8 m), Kinzig-Murg-Rinne (im Südosten) alte anmoorige Flussniederung, in der undurchlässige Ton-, Schluff- und Torflagen mit durchlässigen Sandlagen wechseln. In diesem Bereich steht das Grundwasser relativ oberflächennah an (Flurabstand: ca. 1 - 5 m). Im Südosten schließt Vorbergzone (Muschelkalk Buntsandstein) an.
  Die Nutzungssituation entlang der Messstreifen umfasst dichte und lockere Wohnbebauung, Wald, Landwirtschaft sowie Straßen, Bahnlinie.
  In Fließrichtung gesehen ergibt sich häufig folgendes Bild: Die niedrigen Stoffkonzentrationen beim Eintritt in das Stadtgebiet erhöhen sich im Stadtzentrum deutlich und vermindern sich anschließend auf dem weiteren Weg in Richtung unterstromiger Stadtrand. Dabei liegen die Konzentrationen am Ende des betrachteten Fließwegs über denen beim Eintritt in das Stadtgebiet.
  Bei folgenden Stoffen ergeben sich Konzentrationserhöhungen im Stadtzentrum, die die Autoren auf einen Abwassereinfluss zurückführen: Temperatur, DOC, SAK-254, Kalium (noch weitere Quellen), o-Phosphat (Einträge aus der Landwirtschaft wegen der schlechten Mobilität eher nicht zu erwarten), Ammonium (punktuell hohe Konzentrationen), Bor (0,13mg/L), EDTA (max. 11µg/L), NTA (1,3 µg/L), AOX (noch andere Quellen), Tri- und Perchlorethylen (noch andere Quellen). Nur wenige Stoffe liegen über den Grenzwerten der TrinkwV.

- Schlussfolgerungen der Autoren
  Kanalexfiltrationen sind in Karlsruhe mit teilweise vorhandenen Emissionen von wärmerem Wasser, CKW, Chlorid, Natrium, Kalium, EDTA, NTA, Bor, Phosphat, DOC verbunden. Für die Erkennung von Kanalexfiltrationen erweisen sich in Karlsruhe Bor, EDTA, NTA, Kalium, z.T. auch Natrium, AOX und CKW als besonders geeignet. Ammonium und Phosphat sind nur bei gleichzeitiger Sauerstofffreiheit geeignet. Diese Parameter zeigen dann auch indirekt die Exfiltrations orte von organischen, reduziert vorliegenden, sauerstoffzehrenden Abwasserinhaltsstoffen an.

Bewertung durch das LANUV

Die von den Autoren durchgeführten Untersuchungen belegen den Einfluss von undichten Kanälen auf das Grundwasser. Mit verantwortlich hierfür sind die durchlässigen sandig-kiesigen Schichten. Es handelt sich um gut durchlässiges Material. Die Abstände zwischen den Kanalrohren und dem Grundwasser betragen teilweise einige Meter. Da im Einzugsgebiete der Messstellen teilweise verschiedene Nutzungen und Eintragsquellen vorkommen, kann gut gezeigt werden, dass typische Abwasserinhaltsstoffe im Stadtzentrum vorkommen und auch miteinander korrelieren, während Schadstoffe aus anderen Quellen ein anderes Verteilungsmuster haben (z.B. Pflanzenschutzmittel).

Autor: Wolf L.

Titel: Influence of leaky sewer systems on groundwater resources beneath the City of Rastatt, Germany

Fundstelle: Diss.Univ. Karlsruhe, 205 S., Karsruhe

Inhalt

- Art der Studie

  Studie, die eine Abschätzung des Einflusses undichter Kanäle auf Grundwasserqualität in Rastatt erlaubt und eine Methode zur Risikoabschätzung in anderen Gebieten erlaubt. Es werden insbesondere Grundwasseruntersuchungen durchgeführt.

- Untersuchungsansatz

  In und um Rastatt wurden ca. 60 Grundwassermessstellen mehrfach beprobt. Sie liegen außerhalb Rastatts, am Stadtrand und erfassen den urbanen Hintergrund bzw. defekte Kanäle.
  Die Grundwassermessstellen sind im Hinblick auf die Grundwasserfließrichtung und das Kanalnetz definiert; z.T. wurden neue Messstellen in der Nähe von defekten Kanälen errichtet. Das Schadenbild der Kanalisation wurde fast flächendeckend für Rastatt anhand von Kamerabefahrungen ermittelt.
  Analytik: Bor, Schwermetalle am Institut für Mineralogie und Geochemie IMG in Karlsruhe mittels ICP-MS pectrometry und beim Britischen Geolog. Dienst (Bor). Gadolinium Messungen mittels GC-MS am GFZ Potsdam, Arzneimittel, RKM am TZW in Karlsruhe mittels LC-MS-MS mit einer BG von 10 ng/L.

- Untersuchungsergebnisse

  Grundwasserleiter im Bereich Rastatt besteht aus gut durchlässigen quartären sandig-kiesigen Terrassensedimenten des Rheins. Die ungesättigte Zone besteht aus Auenlehmen und Auensanden. Unterlager neuerer Kanäle ist mit sandigem Fremdmaterial verfüllt. Der Abstand zwischen Kanalisation und der Grundwasseroberfläche ist in manchen Bereichen sehr gering (0,5 m); die Durchbruchszeiten von Abwasser in das Grundwasser liegen daher bei < 1 Tag.
  Die “kanalbeeinflussten” Messstellen zeigen bei den Haupt- und Nebenbestandteilen im Vergleich zu den durch andere Faktoren beeinflussten Messstellen erhöhte Konzentrationen z.B. bei Ammonium, Bor, Chlorid, Natrium, Kalium. Chlorid, Natrium und Kalium sind aber noch durch andere Faktoren überprägt. Bei Schwermetallen lässt sich kein Einfluss finden, da angenommen wird, dass Sorptionsvorgänge die gelösten Konzentrationen minimieren. Bei EDTA zeigt sich eine Zunahme der Konzentrationen vom städtischen Umland über den Stadtrand in die Stadt. Ein Abwassereinfluss ist wahrscheinlich.
  Arzneimittel werden teilweise im Grundwasser gefunden. Frühere Studien waren diesbezüglich nicht fündig, obwohl im Sickerwasser bei undichten Kanälen hohe Konzentrationen von Bezafibrat gefunden wurden. In dieser Studie konnten an zwei Messstellen weitere untersuchte Betablocker, nämlich Metoprolol (30 ng/L) und Solatol (920 ng/L) gefunden werden. Entscheidend für die Detektion sind die Exfiltrationsrate, das Stoffverhalten, die Bodenverhältnisse und der Verdünnungsfaktor im Grundwasser.
  Bei den gut löslichen Röntgenkontrastmitteln (RKM) wurde neben anderen Stoffen insbesondere Amidotrizoesäure mit einer sehr hohen max. Konzentration von ca. 1700 ng/L in einer Grundwassermessstelle nahe eines undichten Kanals gefunden, über den das städtischen Krankenhaus entwässert. Funde von RKM lassen sich bis zu einer Entfernung von 60 m im Grundwasser nachweisen.
  Escherichia coli werden auch in den kanalbeeinflussten Messstellen nachgewiesen (bis 10000/100 mL). Daneben wurden auch in geringeren Zahlen Fäkalstreptokokken und Enterokokken gefunden. Es werden aber auch große zeitliche Variabilitäten festgestellt. Wegen der niedrigen Probenanzahl ließ sich keine Korrelation mit den abwasserbürtigen Stoffen und der Entfernung zu undichten Kanälen herstellen. Der Autor geht davon aus, dass Viren oder pathogene Krankheitserreger, die nicht untersucht wurden, im Grundwasser zu finden wären, da sie persistenter sind als die untersuchten Indikatoren. Untersuchungen abwassertypischer Stoffe entlang des Grundwasserfließwegs im Ober- und Unterstrom zeigen deutlich den Einfluss des undichten Kanals. Durch online-Messungen wurde festgestellt, dass bei größeren Niederschlagsereignissen die Stoffkonzentrationen/Leitfähigkeit abnehmen. Zeitlich gibt es eine Parallelität der Ammonium- und Bor-Konzentrationen, die den Abwassereinfluss belegen.

Neben den stofflichen Untersuchungen befasst sich die Arbeit mit Labor- und Literaturdaten zur Selbstabdichtung der Kanäle und ermittelt für das Stadtgebiet anhand der praktisch flächendeckend vorliegenden Kamerabefahrungen Exfiltrationsraten (im Mittel ca. 1 mm/a bezogen auf das Stadtgebiet), aus denen die pro Jahr in das Grundwasser ausgetragenen Stofffrachten für einige Stoffe abgeschätzt werden. Es wird gezeigt, dass die Selbstabdichtung in Rastatt die Grundwasserverunreinigung nicht verhindert. Mit Hilfe von Grundwassermodellierungen wird die Stoffausbreitung z.B. für Bor untersucht.

Bewertung durch das LANUV

Die methodisch gut angelegte und durchgeführte Dissertation liefert den Nachweis, dass bei den in Rastatt vorliegenden hydrogeologischen Verhältnissen mit gut durchlässigen Grundwasserleitern und Grundwasserdeckschichten und niedrigen Flurabständen der Austritt von Abwasser aus undichten Kanälen zu nachweisbaren und nicht nur punktuellen Grundwasserverunreinigungen führt. Die Befunde liegen teilweise in Konzentrationsbereichen, die eine Nutzung des Grundwassers ohne spezielle Aufbereitung nicht zulassen würden.

Landesamt für Natur, Umwelt
und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen
Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de