

Grundwassergefährdung durch undichte Kanäle

Dr. Wolfgang Leuchs & Dr. Sabine Bergmann,
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen

1. Einleitung

Bekanntermaßen führt die Pflicht zur Dichtheitsprüfung und Sanierung privater Abwasserleitungen gemäß §§ 60 und 61 WHG sowie § 61 a LWG NRW bei den Bürgern und im politischen Raum zu kontroversen Diskussionen.

Im Zuge dieser Debatten sind zwischenzeitlich wirtschaftliche und politische Argumente in den Vordergrund gerückt. Der Aspekt des Grundwasserschutzes ist dabei immer mehr in den Hintergrund getreten und damit auch die Tatsache, dass die Funktionsprüfungen und Instandhaltungsmaßnahmen von Grundstücksentwässerungsanlagen grundsätzlich dem Grundwasser- und Gewässerschutz dienen und sich aus der allgemeinen Sorgfaltspflicht gemäß WHG § 5, Abs.1 Nr.1 ergeben. Hiernach ist *"Jede Person (...) verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften zu vermeiden..."*. Im weiteren Verlauf der Diskussionen ist von verschiedener Seite, auch von Abwasserfachleuten, der nachteilige Einfluss undichter Schmutzwasserkanäle auf das Grundwasser überhaupt in Frage gestellt worden.

Vor dem Hintergrund dieser Diskussionen wurden die vorhandenen Erkenntnisse aus der Fachliteratur und die vorliegenden Ergebnisse der landesweiten Grundwasseruntersuchungen ausgewertet und in einem Bericht zusammengefasst. Das Land NRW verfügt über eine umfangreiche Grundwasserdatenbank mit über 3600 regelmäßig beprobten Grundwassermessstellen, die sich repräsentativ auf alle Grundwasserkörper in NRW verteilen und den verschiedenen Landnutzungseinflüssen (Bebauung/Besiedlung, Grünland, Acker, Wald) zugeordnet sind. Die Messstellen konnten somit für die Fragestellung statistisch ausgewertet werden. Ziel war es, eine Auswertung der vorhandenen sowie kurzfristig verfügbaren Fachliteratur in Hinblick auf Erkenntnisse und Aussagen zur Grundwassergefährdung undichter Abwasserleitungen und –kanäle vorzunehmen und die Analyseergebnisse der landesweiten Grundwassermessstellen in Hinblick auf abwasserrelevante Parameter auszuwerten.

Die Auswertungen der Grundwasserdatenbank dienen zur Klärung grundsätzlicher Fragen:

- ob nachteilige Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit durch abwassertypische Parameter in Siedlungsgebieten festzustellen sind,
- welcher Art und in welcher Höhe eventuelle Grundwasserbeeinflussungen sind,
- wie diese aus Sicht des Grundwasser- und Trinkwasserschutzes zu bewerten sind,
- ob gebietsspezifische Faktoren, z.B. Hydrogeologie, Bodenarten, Grundwasserflurabstände, etc. eine Differenzierung nahelegen,

Die Resultate der Literaturrecherche sowie der Datenbankauswertung wurden aufgrund des hohen Interesses im August 2012 als LANUV-Fachbericht Nr.43 (LANUV 2012) publiziert.

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen werden nachstehend zusammenfassend dargestellt. Einzelheiten können im LANUV-Fachbericht Nr. 43 und den dort integrierten Literatursteckbriefen vertieft werden.

2. Methodisches Vorgehen

Im ersten Schritt wurde seitens des LANUV zuerst die Literaturrecherche und Auswahl der geeigneten Fachliteratur vorgenommen. Berücksichtigt wurden insbesondere wissenschaftliche Untersuchungen, in denen konkrete Zusammenhänge zwischen Kanalleckagen und der Grundwasserbeschaffenheit untersucht und dargestellt worden sind (Fallbeispiele, Städtebeispiele). Die Ergebnisse dieser Studien wurden zusammengetragen und einer weiteren Überprüfung und Bewertung unterzogen (Literatur-Steckbriefe); darüber hinaus diente die Literaturlauswertung als Grundlage für die eigene Daten-Auswertung. Aufbauend auf den Literaturergebnissen wurde mittels der eigenen Datenbank-Auswertungen geprüft, ob sich die aus der Literatur hervorgehenden, dort bewährten Indikatorstoffe für Abwasserexfiltrationen auch in NRW in Siedlungsgebieten in erhöhter Konzentration wiederfinden.

3. Ergebnisse der Auswertungen

Viele Abwasserfachleute haben aufgrund theoretischer Überlegungen und Modellierungen sowie Laboruntersuchungen zur Aussickerung bezweifelt, dass Kanalundichtigkeiten zu Grundwasserverunreinigungen führen. Die Selbstabdichtung des Bodens (Kolmation) unterhalb der schadhafte Kanäle bewirkt nach der ausgewerteten Literatur zwar eine Verzögerung der Infiltrationsrate sowie eine Retardation und ein Abbau von Abwasserinhaltsstoffen, sie ist jedoch nicht dauerhaft und hinsichtlich der abbaubaren Stoffen nicht vollständig wirksam (z.B. Klinger 2007).

Die Untersuchungen verschiedener Autoren aus dem Bereich der Hydrogeologie und der urbanen Hydrologie zu den Effekten von Kanalleckagen auf das Grundwasser in mehreren deutschen und österreichischen Städten zeigen, dass sich undichte Abwasserkanäle in Siedlungsgebieten bzw. Städten nachteilig auf die Grundwasserqualität auswirken. Die Auswertung der Analysenergebnisse der Grundwassermessstellen in nordrhein-westfälischen Siedlungsgebieten zeigte im Vergleich zu unbeeinflussten Messstellen in Waldgebieten deutliche, statistisch signifikante Unterschiede bei Parametern, die für abwasserbedingte Grundwasserkontaminationen den Literaturangaben zufolge typisch sind. Von den Autoren der gesichteten Literatur wurden neben (eher unproblematischen) anorganischen Parametern, die für die Fragestellung hauptsächlich als Indikatorparameter dienen, auch anthropogene Spurenstoffe untersucht, von denen einige Stoffe in den festgestellten Konzentrationen aus Sicht des vorsorgenden Trinkwasser- und/oder Gewässer-/Grundwasserschutzes als problematisch, oder zumindest als unerwünscht einzustufen sind (z.B. Weichmacher Bisphenol A, Nonylphenol; Röntgenkontrastmittel, Arzneistoffe; Komplexbildner, Moschus-Duftstoffe, Rückstände von Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln etc.). Die Konzentrationsberei-

che dieser Stoffe im Grundwasser aus Untersuchungen, die in Zusammenhang mit Kanalleckagen stehen, sind in **Tabelle 1** (s.u.) zusammengefasst. Sie erreichen teilweise ökotoxikologisch für Oberflächengewässer und Grundwasser relevante Konzentrationsniveaus (Bergmann et al. 2011).

Die NRW-Messstellendaten haben darüber hinaus gezeigt, dass sich die Siedlungseinflüsse auf das Grundwasser im gesamten Grundwasserleiter und unabhängig von der Grundwassermächtigkeit feststellen lassen. Der Einfluss des Grundwasserflurabstandes ist parameter-spezifisch unterschiedlich. Grundsätzlich können Auffälligkeiten aber auch bei hohen Grundwasserflurabständen auftreten. Dies wird den Datenauswertungen zufolge etwa beim Bor deutlich, das selbst bei großen Flurabständen den Grundwasserleiter erreicht und die Grundwasserbeschaffenheit signifikant verändert. Daraus kann geschlossen werden, dass sich diffuse Abwasserinfiltrationen, sowohl aus Leckagen von privaten als auch von öffentlichen Abwasseranlagen, in urbanen Grundwasserleitern anreichern und das Grundwasser mehr als nur punktuell beeinflussen.

Da sich im häuslichen Abwasser, vergleichbar mit dem Kommunalabwasser, neben Nährstoffen, Salzen, Fäkaleregern und abbaubaren organischen Stoffen auch diverse nicht oder schwer abbaubare Substanzen nicht-natürlichen Ursprungs (Xenobiotika) befinden, führen diese Einträge mittel- und längerfristig zu einer kontinuierlichen Verschlechterung der Grundwasserqualität. Dies konnte z.B. in den Städten Rastatt und Karlsruhe (Wolf, 2006, Trauth et al., 1999) durch umfangreiche Grundwasseruntersuchungen festgestellt werden (vgl. Tabelle 1). Bei den Untersuchungen in Karlsruhe wurde das Grundwasser in Messstreifen mit Ausrichtung zum Kanalnetz sowie an zusätzlichen, neuen Messstellen im Einflussbereich konkret detektierter Kanalschäden auf eine Vielzahl von Humanarzneistoffen und weiteren Parametern untersucht (Trauth et al., 1999). In Rastatt konnten ferner im Bodensickerwasser einer Kanaltteststrecke im Stadtgebiet mit realen und definierten Defekten u.a. sehr hohe Konzentrationen von pharmazeutischen Rückständen festgestellt werden (Klinger, 2007). Die Konzentrationen übersteigen die Befunde an Grundwassermessstellen, die sich im Grundwasserabstrom von defekten Kanalrohren befinden. Ursächlich für die niedrigeren Konzentrationen im Grundwasser sind Durchmischungen und Verdünnungen mit Grundwasser aus benachbarten unbeeinflussten Eintragsgebieten sowie die Rückhaltung von sorbierbaren Stoffen durch den Boden und den Grundwasserleiter. Aufgrund der Rückhaltevorgänge kommt es entlang des Fließweges von Sicker- und Grundwasser im Boden bzw. im Grundwasserleiter zu einer stetigen Anreicherung der sorbierbaren Stoffen und nach Erschöpfung der Rückhaltekapazität zur Tiefenverlagerung.

Die Ergebnisse dieser immissionsseitigen Grundwasser- und Sickerwasseruntersuchungen sind sowohl für öffentliche Kanalisationen als auch für private Grundstücksentwässerungsanlagen einschlägig, da die Prozesse und das Schadstoffinventar im Integral über ein Stadtgebiet vergleichbar sind. Die Längen der privaten Leitungen sind mehr als doppelt so hoch.

Konkrete Schadensfälle an privaten Abwasseranschlüssen wurden speziell im Rahmen von Verbundprojekten im Hinblick auf die Schutzgüter Boden und Grundwasser untersucht und veröffentlicht (vgl. Hagendorf 1996a; Hagendorf 1996b; MUNLV 2004, Thoma, 2011). Mit diesen Fallstudien konnte im Nahbereich von Kanalleckagen gezeigt werden, dass schädli-

che und potenziell grundwassergefährdende Veränderungen des Bodens in der unmittelbaren Umgebung (Sedimentfeststoff, Sedimenteluat) festzustellen sind.

4. Schlussfolgerungen

Die ausgewerteten Fachpublikationen sowie die Ergebnisse der Datenbankauswertung belegen eindeutig eine nachteilige Beeinflussung des Bodens, des Grundwassers und der Trinkwasserressourcen durch Abwassereinträge in Siedlungsgebieten.

Die Liste der nachweisbaren abwasserbürtigen Stoffe ist lang und umfasst erhöhte Salzkonzentrationen, Nährstoffe, mikrobiologische Fäkalindikatoren, Humanarzneimittel inkl. Antibiotika, Röntgenkontrastmittel, Duftstoffe, Kosmetika-, Waschmittel-, Reinigungsmittelrückstände, Lebensmittelrückstände und -zusätze, Komplexbildner, Alkylphenole und Weichmacher. Da im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen oder Überwachungsprogrammen nicht alle Indikatoren überall untersucht werden können, muss beim Auftreten einzelner Indikatoren grundsätzlich auch mit dem Vorhandensein weiterer abwasserspezifischer Arzneistoffe oder wassergetragener Krankheitserreger (z.B. Viren) und Resistenzgenen gerechnet werden.

Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, dass Kanäle in den Stadt- und Siedlungsgebieten, die im Zustrom von Trinkwassergewinnungsanlagen liegen, funktionstüchtig sind und schadhafte Kanalisationen saniert werden.

5. Literatur

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 Grundwasser, Landeshauptstadt Linz Oberösterreich.- Bericht KA Abwasser, Abfall 2005

Hagendorf, U. (1996a): Hagendorf Ulrich Dr., Umweltbundesamt Langen. Gefährdungspotential undichter Abwasserkanäle - Risiko für Boden und Grundwasser? Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Verbundprojekte, 1996
http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Veranstaltungen/27_48.pdf

Hagendorf U. (1996b): Forschungsergebnisse zur Bewertung der Dichtheit von Kanälen.- Abwassertechnik - Abfalltechnik und Recycling. awt 6/1996, 11-16

Klinger, J (2007): Beschreibung der Wasser- und Stoffflüsse in einem urbanen Raum unter besonderer Berücksichtigung von Kanalleckagen.- Diss. Techn. Univ. Karlsruhe.

LANUV (2012): Grundwassergefährdung durch undichte Kanäle. Literaturlauswertung und Auswertung der Analysenergebnisse der landesweiten Grundwassermessstellen in NRW.- Fachbericht 43, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, 81 S.

<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe43/fabe43start.htm>

LfU (2002): Landesweites Vorkommen von Pharmaka und Hormonen in Grund-, Oberflächenwässern und Böden in Baden-Württemberg, 212 p.- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

MUNLV (2004): Kurzbericht zum Forschungsvorhaben „Untersuchung von Abwasseranlagen und deren Langzeitauswirkungen auf den Boden“. Projekt AZ IV-9-042386 im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Bearbeitung: Hüben S. & J. Schunicht. Aachen, 2004.

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

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

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

Thoma R. (2011): Auswirkungen undichter Grundleitungen mit häuslichem Abwasser auf Boden und Grundwasser.- Diss. Univ. Hamburg

Trauth R., Xanthopoulos C. Dr., Barufke K.-P. (1999): Änderung der Grundwasserbeschaffenheit auf dem Fließweg unter der Stadt, Pilotprojekt Karlsruhe - Auswertung und Ergebnisse.- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

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

Wolf, L., Zwiener C. & M. Zemmann (2012): Tracking artificial sweeteners and pharmaceuticals introduced into urban groundwater by leaking sewer networks. Sci Tot Env. 430 (2012) 8-19.

Tabelle 1: Konzentrationsangaben zu xenobiotischen Stoffen und Fäkalkeimen im Grundwasser, die mit Einträgen aus undichten Kanälen in Zusammenhang gebracht wurden¹ (Literaturauswertung des LANUV, Auswahl)

Parameter	Konzentrationsbereiche im Grundwasser [$\mu\text{g/L}$]; Anzahl Messungen (n=), Anzahl Positivbefunde (k=)	Gebiet	Literaturangaben	Bemerkung
Humanarzneistoffe				
Carbamazepin	<0,001 bis 0,103 $\mu\text{g/L}$ (n=45, k=31)	Linz	Fenz et al. 2005	Referenzproben Abwasser (Kläranlagen-zulauf): 0,79-0,89 $\mu\text{g/L}$
	<0,001 bis 2,660 $\mu\text{g/L}$ (n=38, k=20)	Österreich (landesweite Erhebung)	Schramm et al. 2006	Referenzproben Abwasser: Durchschnittswert ca. 1,0 $\mu\text{g/L}$; ; Referenzproben Grundwasser (unbeeinflusst): <0,001-0,024 $\mu\text{g/L}$)
	<0,01 $\mu\text{g/L}$ bis 0,035 $\mu\text{g/L}$ (n=51, k=17)	Rastatt	Wolf et al., 2012	Vergleichsproben Abwasser: 0,199 – 0,299 $\mu\text{g/L}$
	<0,01 $\mu\text{g/L}$ bis 0,900 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=13)	Baden-Württemberg (Ba-Wü)	LfU, 2002	Landesweites Untersuchungsprogr. auf Arzneistoffe (keine fokussierte MSt-Auswahl nach Kanal-leckagen)
	0,002 bis 0,075 $\mu\text{g/L}$ (n=14, k=14)	Leipzig	Musolff et al., 2007	Referenzproben Abwasser: <BG bis 0,076 $\mu\text{g/L}$; (s. Hinweis. ²)
Clofibrinsäure	<BG ³ bis 0,57 $\mu\text{g/L}$ (n=11, k=1)	Darmstadt-Arheilgen	Beier, 2008	Einzelwert; 10 von 11 GW-Messstellen ohne Befund; Referenzproben Abwasser: 0,34 – 14,0 $\mu\text{g/L}$
	<0,01 $\mu\text{g/L}$ bis 1,35 $\mu\text{g/L}$ (n=51, k=2)	Rastatt	Wolf et al., 2012	Vergleichsproben Abwasser: <0,01 $\mu\text{g/L}$
Diclofenac	<0,01 $\mu\text{g/L}$ bis 0,129 $\mu\text{g/L}$ (n=51, k=1)	Rastatt	Wolf 2006, Wolf et al., 2012	Vergleichsproben Abwasser: 4,1-8,4 $\mu\text{g/L}$
	<0,01 bis 0,590 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=4)	(Ba-Wü)	LfU, 2002	(s.o.)
Ibuprofen	<0,01 $\mu\text{g/L}$ bis 0,104 $\mu\text{g/L}$ (n=51, k=1)	Rastatt	Wolf 2006, Wolf et al., 2012	Vergleichsproben Abwasser: 2,1 bis 3,8 $\mu\text{g/L}$
Metoprolol	<0,01 bis 0,03 $\mu\text{g/L}$ (n=7,	Rastatt	Wolf, 2006	Vergleichsproben

¹ Auswahl: Abwasserbeeinflusste Grundwassermessstellen in Stadtgebieten, bei denen ein Zusammenhang mit konkreten Kanalschäden gegeben war oder bei denen ein solcher seitens der Autoren (aufgrund weitergehender Auswertungen) angenommen wurde. Oberflächenwasser-beeinflusste Gw-Messstellen wurden hier (soweit aus den Literaturangaben ersichtlich), von der Betrachtung ausgeschlossen.

² Hinweis: Durch Oberflächengewässer (Bauergraben) ggf. beeinflusste MSt. wurden hier nicht berücksichtigt (GWM-Nr. 906, 908, 909, 207, 904)

³ BG: Bestimmungsgrenze

Parameter	Konzentrationsbereiche im Grundwasser [$\mu\text{g/L}$]; Anzahl Messungen (n=), Anzahl Positivbefunde (k=)	Gebiet	Literaturangaben	Bemerkung
	k=1)			Abwasser: 0,5-0,54 $\mu\text{g/L}$
	<0,01 bis 0,110 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=1)	Ba-Wü	LfU, 2002	(s.o.)
Sotalol	<0,01 bis 0,920 $\mu\text{g/L}$ (n=7, k=1)	Rastatt	Wolf, 2006	Vergleichsproben Abwasser: 0,62 bis 1,2 $\mu\text{g/L}$
	<0,01 bis 0,560 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=3)	Ba-Wü.	LfU, 2002 ¹	(s.o.)
Sulfamethoxazol	<0,01 $\mu\text{g/L}$ (n=7, k=0)	Rastatt	Wolf, 2006	
	<0,01 bis 0,410 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=11)	Ba-Wü	LfU, 2002	(s.o.)
Clindamycin	<0,01 $\mu\text{g/L}$ (n=7, k=2); zwei Werte >NG ⁴ : 0,006 bis 0,008 $\mu\text{g/L}$	Rastatt	Wolf, 2006	
Iodierte Röntgenkontrastmittel, sonst. Kontrastmittel				
Amidotrizoesäure	<0,01 bis 1,703 $\mu\text{g/L}$ (n=114, k=30)	Rastatt	Wolf, 2006	Vergleichsproben Abwasser (Kläranlagenzuläufe): 0,52 - 3,3 $\mu\text{g/L}$
	<0,01 bis 1,1 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=21)	Ba-Wü	LfU, 2002	(s.o.)
Iomeprol	<0,01 bis 1,655 $\mu\text{g/L}$ (n=114, k=3)	Rastatt	Wolf, 2006	Vergleichsproben Abwasser (Kläranlagenzuläufe): 0,4 - 21,0 $\mu\text{g/L}$
Iopamidol	<0,01 bis 0,079 $\mu\text{g/L}$ (n=114, k=4)	Rastatt	Wolf, 2006	Vergleichsproben Abwasser (Kläranlagenzuläufe): <0,1 - 4,3 $\mu\text{g/L}$
	<0,01 bis 0,30 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=5)	Ba-Wü	LfU, 2002	(s.o.)
Iothalaminsäure	<0,01 bis 0,238 $\mu\text{g/L}$ (n=114, k=10)	Rastatt	Wolf L., 2006	Vergleichsproben Abwasser (Kläranlagenzuläufe): <0,1 - 0,93 $\mu\text{g/L}$
Ioxithalaminsäure	<0,01 bis 0,204 $\mu\text{g/L}$ (n=113, k=10)	Rastatt	Wolf, 2006	Vergleichsproben Abwasser (Kläranlagenzuläufe): 0,12 - 5,9 $\mu\text{g/L}$
Iohexol	<0,01 bis 0,187 $\mu\text{g/L}$ (n=114, k=4)	Rastatt	Wolf, 2006	
Iopromid	<0,01 bis 0,039 $\mu\text{g/L}$ (n=114, k=2)	Rastatt	Wolf, 2006	Vergleichsproben Abwasser (Kläranlagenzuläufe): <0,1 - 7,5 $\mu\text{g/L}$
Duftstoffe, Kosmetika-/Waschmittel-/Reinigungsmittel-Rückstände				
Tonalid	0,0007 bis 0,0065 $\mu\text{g/L}$ (n=14, k=14)	Leipzig	Musolff et al., 2007	Referenzproben Abwasser: 0,028 bis 0,142 $\mu\text{g/L}$; (s. Hinweis)
Galaxolid	0,002 bis 0,166 $\mu\text{g/L}$ (n=14, k=14)	Leipzig	Musolff et al., 2007	Referenzproben Abwasser: 0,184 bis 0,746 $\mu\text{g/L}$; (s. Hinweis)

⁴ NG: Nachweisgrenze

Parameter	Konzentrationsbereiche im Grundwasser [$\mu\text{g/L}$]; Anzahl Messungen (n=), Anzahl Positivbefunde (k=)	Gebiet	Literaturangaben	Bemerkung
D-Limonen	0,04 – 0,150 $\mu\text{g/L}$	Darmstadt-Arheilgen	Beier M., 2008	Referenzproben Grundwasser (Wald): 0,04-0,05 ng/L ; Referenzproben Abwasser: 7,05 $\mu\text{g/L}$
Lebensmittelrückstände / Zusatzstoffe				
Coffein	<0,005 bis 0,260 $\mu\text{g/L}$ (n=38, k=25)	Österreich (landesweite Erhebung)	Schramm et al. 2006	Referenzproben Abwasser: 10,0 mg/L (Durchschnittswert); Referenzproben Grundwasser (unbeeinflusst): <0,005-0,029 $\mu\text{g/L}$
	0,002 bis 0,055 $\mu\text{g/L}$ (n=13, k=13)	Leipzig	Musolff et al., 2007	Referenzproben Abwasser: 0,45 bis 3,708 $\mu\text{g/L}$; (s. Hinweis)
Acesulfam	<0,01 $\mu\text{g/L}$ bis 2,87 $\mu\text{g/L}$ (n=50, k=14)	Rastatt	Wolf et al., 2012	Vergleichsproben Abwasser: 26,1-54,0 $\mu\text{g/L}$
Saccharin	<0,01 $\mu\text{g/L}$ (n=50, k=0)	Rastatt	Wolf et al., 2012	Vergleichsproben Abwasser: 33,5-55,1 $\mu\text{g/L}$
Cyclamat	<0,02 bis 1,2 $\mu\text{g/L}$ (n=50, k=5)	Rastatt	Wolf et al., 2012	Vergleichsproben Abwasser: 10,1 – 16,6 $\mu\text{g/L}$
Alkylphenole, Weichmacher				
Bisphenol-A	0,373 bis 6,78 $\mu\text{g/L}$ (n=14, k=14)	Leipzig	Musolff et al., 2007	Referenzproben Abwasser: 0,451 bis 3,708 $\mu\text{g/L}$; (s. Hinweis)
	<0,01 bis 1,6 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=26)	Ba-Wü	LfU, 2002	(s.o.)
Bisphenol-F	<0,01 bis 0,27 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=4)	Ba-Wü	LfU, 2002	(s.o.)
t-Nonylphenol	0,032 bis 0,678 $\mu\text{g/L}$ (n=14, k=14)	Leipzig	Musolff et al., 2007	Referenzproben Abwasser: ca. 0,3 $\mu\text{g/L}$; (s. Hinweis)
iso-Nonylphenol	<0,01 bis 7,1 $\mu\text{g/L}$ (n=105, k=68)	Ba-Wü	LfU, 2002	(s.o.)
Komplexbildner				
EDTA	<0,2 bis 7,1 (Rastatt); 0,8 bis 11,0 $\mu\text{g/L}$ (Karlsruhe), 1 bis 5 $\mu\text{g/L}$ (Darmstadt),	Rastatt, Karlsruhe, Darmstadt	Wolf 2006, Beier, 2008, Trauth et al. 1999	Referenzproben (Kommunalabwasser Darmstadt): 2-4 $\mu\text{g/L}$; Entstehung durch Abbau aus DTPA möglich; Residuen im Gw aus früher höheren Abwasser-Konzentrationen möglich;
DTPA	<BG	Rastatt, Karlsruhe, Darmstadt	Wolf 2006, Beier, 2008, Trauth et al. 1999	Kann zu EDTA abgebaut werden
Mikrobiologische Fäkalindikatoren [CFU⁵, 1 / L]				
Coliforme	N=14; Median: 1000, arithm. Mittelwert: 233.889 [1/L]; berücksichtigt wurden nur Gw-	Rastatt	Paul et al., 2004	Referenzproben Grundwasser: Median: 275, Mittelwert: 568

⁵ CFU: Kolonie bildende Einheiten (colony forming units)

Parameter	Konzentrationsbereiche im Grundwasser [$\mu\text{g/L}$]; Anzahl Messungen (n=), Anzahl Positivbefunde (k=)	Gebiet	Literaturangaben	Bemerkung
	Messstellen im Einflussbereich defekter Abwasserkanäle, weitere Mst im urbanen Raum nicht enthalten.			[1/L];
E. Coli	N=14; Median: 95, arithm. Mittelwert: 902 [1/L]; berücksichtigt wurden nur Gw-Messstellen im Einflussbereich defekter Abwasserkanäle	Rastatt	Paul et al., 2004	Referenzproben Grundwasser: Median:30, Mittelwert: 79 [1/L];
Enterokokken	N=14; arithm. Mittelwert: 822 [1/L]; berücksichtigt wurden nur Gw-Messstellen im Einflussbereich defekter Abwasserkanäle.	Rastatt	Paul et al., 2004	Referenzproben Grundwasser: arithmet. Mittelwert: 0 [1/L]; urbaner Hintergrundwert: (Mittelwert): 383 [1/L];