

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Schaum, Christian; Fundneider, Thomas; Cornel, Peter; Schulte-Oehlmann, Ulrike; Oehlmann, Jörg

Anforderungen des Gewässerschutzes an eine zukunftsfähige Abwasserbehandlung - Aktuelle Aspekte aus dem Forschungsprojekt NiddaMan

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103335>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schaum, Christian; Fundneider, Thomas; Cornel, Peter; Schulte-Oehlmann, Ulrike; Oehlmann, Jörg (2016): Anforderungen des Gewässerschutzes an eine zukunftsfähige Abwasserbehandlung - Aktuelle Aspekte aus dem Forschungsprojekt NiddaMan. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement - Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 57. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 297-307.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Anforderungen des Gewässerschutzes an eine zukunftsfähige Abwasserbehandlung - Aktuelle Aspekte aus dem Forschungsprojekt NiddaMan

Christian Schaum
Thomas Fundneider
Peter Cornel
Ulrike Schulte-Oehlmann
Jörg Oehlmann

Abwasser ist ein Vielstoffgemisch. Mit der Zunahme der Kenntnisse bezüglich der Zusammensetzung und Wirkweise von Abwasserinhaltsstoffen auf Mensch und Umwelt ging und geht die Installation und Erweiterung von Abwasserbehandlungsverfahren einher. Die Forschung hat in den vergangenen Jahren gezeigt, dass selbst geringe Stoffkonzentrationen Auswirkungen auf die aquatische Umwelt haben. So stehen aktuell die „neuen“ Stoffgruppen Mikroschadstoffe, Mikroplastik, Nanopartikel und auch antibiotikaresistente Keime im Fokus. Gerade kleinere und mittlere Flussläufe in Deutschland sind vor allem in Zeit von Niedrigwasser geprägt von Einleitungen aus Kläranlagen. In Bezug auf die chemische Gewässerqualität und damit auch auf die aquatische Artenvielfalt ist noch immer weitgehend unbekannt, inwiefern diese Belastungsfaktoren zum unbefriedigenden Zustand der Gewässer beitragen, was im Rahmen des Verbundprojektes NiddaMan untersucht werden soll.

Stichworte: Gewässerschutz, Abwasserbehandlung

1 Einleitung

Intakte (Oberflächen-)Gewässer stellen ein wertvolles Gut dar; bspw. als Trinkwasserquelle, aber auch für vielfältige andere Nutzungen bis hin als Freizeitgewässer, z. B. in Form von Badegewässern und zur Naherholung. Wasser ist dabei nicht nur Wirtschaftsgut, sondern auch aus sich heraus bereits wertvoll und schützenswert (*Petrella, 2000; WRRL, 2000; UNESCO, 2011*).

Die Entwicklung der Gewässergüte korrespondierte viele Jahre mit dem Ausbau der Abwasserbehandlung. Der ökologische sowie chemische Zustand der Flüsse in Deutschland war um das Jahr 1900, insbesondere in Ballungsgebieten, sehr schlecht. Zur Verminderung der Verschlammung wurden Rechen und

Sandfänge errichtet. Bereits 1887 wurde in Frankfurt am Main, aber auch in anderen Großstädten, eine mechanische und chemische Behandlungsstufe, bestehend aus Sandfang, Rechenanlage, Dosierung von schwefelsaurer Tonerde und Kalk sowie einem anschließenden Absetzbecken in Betrieb genommen, vgl. *SEF* (2008).

In den ersten Dekaden des 20. Jahrhunderts schloss sich die Errichtung von biologischen Anlagen zur Oxidation von organischen Substanzen an, um deren sauerstoffzehrende Wirkung im Gewässer zu vermindern, vgl. *ATV* (1997), *Tilley* (2011), *ATV* (1999). 1926 wurde in Deutschland die erste großtechnische Anlage in Essen-Rellinghausen mit dem Belebtschlammverfahren in Betrieb genommen (*ATV*, 1999). Dem gleichen Ziel diente die seit ca. 1980 umgesetzte Nitrifikation der Abwässer. Seit ca. 1990 wurde in Deutschland die Nährstoffelimination zum Schutz der Gewässer vor Eutrophierung durch Umsetzung der Denitrifikation sowie Phosphorelimination etabliert, vgl. *ATV* (1999).

Mit dem Jahrtausendwechsel hat sich der Ansatz des Gewässerschutzes gewandelt. Stand in der Vergangenheit vor allem ein emissionsbezogener Ansatz, d. h. eine Verminderung der Austräge in das Gewässer im Vordergrund, so setzt die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union (*WRRL*, 2000) auf den immissionsbezogenen Ansatz, d. h. auf die Betrachtung des Eintrags/ der Auswirkung auf die Umwelt (Gewässer, Tier/ Mensch). Mit dem Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie am 20.12.2000 wurde ein rechtlicher Ordnungsrahmen für einen umfassenden europaweiten Gewässerschutz geschaffen (*WRRL*, 2000). Die im Rahmen der Umsetzung der *WRRL* durchgeführte Bestandsdatenerfassung zeigt dabei deutliche Defizite des Gewässerzustands in Deutschland. Im Jahr 2009 erreichten lediglich 10 % der deutschen Bäche und Flüsse einen „guten“ oder „sehr guten“ ökologischen Zustand (*BMU*, 2010).

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung eines nachhaltigen Wasserressourcen-Managements am Beispiel des Einzugsgebiets der Nidda (NiddaMan)“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, soll ein Beitrag für den nachhaltigen Gewässerschutz durch die Entwicklung von Systemlösungen für die wasserwirtschaftliche Praxis geleistet werden.

2 Was bedeutet Gewässerschutz?

2.1 Guter ökologischer Gewässerzustand: Bestandsaufnahme und Perspektive am Beispiel der Nidda

Der gute ökologische Gewässerzustand wird dann erreicht, wenn sowohl die chemische Gewässerqualität als auch die biologischen und morphologischen Qualitätskriterien erreicht werden.

In Bezug auf die chemische Gewässerqualität und damit auch auf die aquatische Artenvielfalt ist weitgehend unbekannt, inwiefern Belastungsfaktoren, wie z. B. Neobiota, Schad- und Pflanzennährstoffe, weitere abiotische Stressoren, zum unbefriedigenden Zustand der Gewässer beitragen. Dies gilt zukünftig insbesondere im Hinblick auf die Folgen des demographischen, klimatischen und Landnutzungswandels.

Weitgehend unterschätzt wird zzt. die Bedeutung von Quellpopulationen auf die Artenvielfalt des Makrozoobenthos im Gewässer. Naturnahe Gewässeroberläufe und -abschnitte können damit einen wichtigen Beitrag zur aquatischen Artenvielfalt leisten. Aus diesem Grund können gerade dort Einleitungen und abiotische Stressoren negative Folgen haben.

Als Modellgebiet wird im Rahmen des Forschungsprojektes NiddaMan das Einzugsgebiet der Nidda betrachtet. Die Nidda ist ein rd. 90 km langes hessisches Gewässer mit dem Quellgebiet im Vogelsberg und der Mündung in den Main bei Frankfurt. Sie steht dabei exemplarisch für zahlreiche Gewässer in Deutschland:

- Quellgebiet in Mittelgebirgslandschaft
- Intensive landwirtschaftliche und industrielle Nutzung im Einzugsgebiet
- Hohe Siedlungsdichte mit entsprechend hoher Zahl an Kläranlagen-einläufen; der Wasseranteil aus den Abläufen der Kläranlagen liegt im Sommer bis zu 50 % des Gesamtablaufs
- Defizitäre Gewässerstruktur; mäßig bis schlechter ökologischer Zustand trotz bereits durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen; hohe stoffliche Belastung
- Diverse Nutzungskonflikte, bspw. Hochwasserschutz, Angelsport, Badegewässer etc.

2.2 Aktuell diskutierte Stoffe aus Einleitungen von Kläranlagen

Minimierung des Nährstoffeintrags ins Gewässer

Ausgehend von der Nährstoffbelastung der Gewässer wird eine deutliche Verschärfung des Parameters Phosphor diskutiert. Für den Bodensee bedeutet dies Ablaufwerte von 0,3 mg/l P_{ges} ; der Berliner Senat fordert für die Abwasserbehandlungsanlage Ruhleben Ablaufwerte von $\leq 0,05$ mg/l P_{ges} , vgl. *Rosenwinkel and Lorey* (2009); Hessen diskutiert zzt. für Kläranlagen > 100.000 Einwohnerwerte (EW) und einige Anlagen zwischen 10.000 bis 100.000 EW bei Einleitung in Gewässer mit sehr hoher Abwasserbelastung oder größerer Empfindlichkeit (z. B. Talsperren) Ablaufwerte von 0,2 mg/l P_{ges} im arithmetischen Monatsmittelwert und 0,4 mg/l P_{ges} in der 2-h-Probe. Auch für alle weiteren Kläranlagen < 100.000 EW ist eine Verschärfung der Ablaufwerte in Diskussion, vgl. *Cornel et al.* (2015).

Neben Phosphor sind die Stickstoffemissionen im Gewässer aus Sicht der Wasserrahmenrichtlinie kritisch zu bewerten. Im Rahmen der Bearbeitung der Orientierungswerte für das Gewässer sollen für Deutschland die Ammoniumwerte von 0,3 auf 0,1 mg/l gesenkt werden (*LAWA*, 2014). Zusätzlich soll erstmals ein Orientierungswert für Nitrit eingeführt werden, vgl. *LAWA* (2014). Für Einleitungen aus Abwasserbehandlungsanlagen kann vor allem die Ammonium- und Nitritemission von Relevanz sein. Insbesondere im Jahresgang kann es im Frühjahr bzw. Herbst durch die Anpassung der Biozönose in der Kläranlage zu einem Anstieg der Nitritemissionen, als Resultat einer unvollständigen Nitrifikation oder Denitrifikation, kommen.

Mikroschadstoffe, Nanopartikel und Mikroplastik

Für den Bereich der Abwasserbehandlung stehen verschiedene „neue“ Stoffgruppen wie Mikroschadstoffe (*Daughton und Ternes*, 1999; *Deblonde et al.*, 2011; *Verlicchi et al.*, 2012; *Luo et al.*, 2014), Nanopartikel (*Abels*, 2012) oder Mikroplastik (*AWI*, 2014; *Bannick et al.*, 2015; *UBA-AUT*, 2015; *Yang et al.*; 2015) im Fokus. Diese Stoffe gelangen durch verschiedene diffuse und punktförmige Eintragspfade in die Umwelt. Der Eintrag erfolgt über den gesamten Produktlebenszyklus, von der Produktion über die Anwendung bis zur Entsorgung, sowie aus natürlichen Quellen, vgl. *DWA* (2015), *Braun et al.* (2015).

Als Haupteintragspfad von Mikroverunreinigungen wurden Kläranlagenabläufe von kommunalen Anlagen identifiziert, vgl. *Carballa et al.* (2004), *Abegglen & Siegrist* (2012), *DWA* (2015). Verkehrsflächen führen zudem zu Emissionen von Mikroverunreinigungen, die durch Niederschlagsereignisse direkt oder über

Regenwasser- bzw. Mischwassereinleitungen in die Umwelt eingetragen werden, vgl. *Hürlimann* (2011), *Staufer & Ort* (2012), *Braun et al.* (2013), *Wittmer et al.* (2014). Der Anteil aus der Industrie und dem Gewerbe, als Direkteinleitungen, wird hingegen als gering eingeschätzt (*Ternes et al.*, 1999; *Braun & Gälli*, 2014). Im Vergleich hierzu sind die Belastungen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge des Einsatzes von künstlichen oder synthetischen Düngemitteln kurzzeitig, z. B. durch Ausschwemmungen, deutlich höher als in stark abwasserbelasteten Oberflächengewässern (*Götz*, 2012; *Wittmer et al.*, 2014; *Braun et al.*, 2015).

Aufgrund ihrer teilweise schlechten biologischen Abbaubarkeit können etliche Mikroverunreinigungen in den Gewässern und in Spuren sogar im Trinkwasser nachgewiesen werden. Wenngleich ein direktes Gesundheitsrisiko der Mikroverunreinigungen im Gewässer für den Menschen (noch) nicht nachgewiesen ist, so zeigt sich hier doch eine Verknüpfung zwischen Gewässerschutz und vorsorgendem Gesundheitsschutz, vgl. *Prasse et al.* (2015), *Oehlmann et al.* (2014).

(Antibiotikaresistente) Keime

Die Einleitung von Kläranlagenabläufen bedingt eine mikrobiologische Belastung des Gewässers, wobei durch den Einsatz von entsprechenden Desinfektionsverfahren eine Badegewässerqualität erreicht werden kann, vgl. *Bischoff* (2013), *Gnirss et al.* (2015). Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass selbst bei Desinfektion der Kläranlagenabläufe in der Regel keine durchgängige Badegewässerqualität in den nachgelagerten Gewässern erreicht werden kann, insbesondere aufgrund von Mischwasserentlastungen bei Regenereignissen oder durch Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen (*Englmann & Schraner*, 2015; *Merkel et al.*, 2015).

Des Weiteren stehen antibiotikaresistente Keime im Fokus, wobei die Forschung im Bereich der Abwasserbehandlung noch am Anfang ist. Primäre Quelle für die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen sind Abwässer aus Kliniken, kommunalen Kläranlagen und Abwässer der Mast- und Lebensmittelbetriebe. Neben dem Einsatz von Antibiotika kann es auch durch die Emissionen von Bioziden als Desinfektionsmittel oder anderen antimikrobiell wirksamen Chemikalien zu einer Co-Selektion von Antibiotikaresistenzen kommen. Dabei sind Kläranlagen eine wichtige sekundäre Quelle, in der es zu einer Akkumulation der Resistenzen aus Primärquellen kommen kann (*Schwartz & Alexander*, 2014; *Exner und Schwartz*, 2015; *Kaeseberg et al.*, 2015; *Krebs et al.*, 2015).

3 Maßnahmen zur Reduktion von Einleitungen aus Kläranlagen

3.1 Verbot von Stoffen zum Gewässerschutz

Einhergehend mit der Einführung der Abwasserbehandlung wurden auch regulative sowie technische Maßnahmen ergriffen und z. T. internationale Vereinbarungen wie bspw. die Stockholm-Konvention über persistente organische Schadstoffe getroffen, damit schwer abbaubare bzw. eliminierbare Substanzen nicht in das Abwasser eingeleitet werden. Damit verbunden gab es Verbote von Stoffen, wie z. B. von eutrophierenden Enthärtern (Polyphosphaten) in Waschmitteln (ATV, 1997; Klöpffer & Scheringer, 2000).

Auch für Mikroschadstoffe werden vergleichbare Ansätze diskutiert. In Schweden sind bspw. Ärzte dazu angehalten, bei gleicher Wirksamkeit ein entsprechend umweltfreundlicheres Medikament zu verschreiben. Hierzu wurde ein PBT-Index (*Persistence, Bioaccumulation, Toxicity*) erarbeitet, der die Stabilität des Medikaments (Persistenz), die Anreicherung in der Umwelt (Bioakkumulation) und die Toxizität bewertet, vgl. Kümmerer (2004). In Deutschland, aber auch in anderen Ländern, wird eine gesetzliche Regelung zum Verbot von Mikroplastik in Kosmetik- und Körperpflegeprodukten diskutiert.

3.2 Verfahren für eine zukünftige Abwasserbehandlung

Abwasserableitung von Siedlungsstrukturen

Die Abwasserableitung von Siedlungsstrukturen erfolgt derzeit flächendeckend durch zwei Entwässerungssysteme (Misch- und Trennsysteme). Der Anschlussgrad betrug in Deutschland im Jahr 2013 an die öffentliche Kanalisation 96,9 %, wovon 42,2 % an eine Mischkanalisation angeschlossen waren (DESTATIS, 2015). Die Mischkanalisation leitet Schmutzwasser aus häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Quellen in die Kläranlage ab. Durch Niederschlagsereignissen werden Schadstoffe und Keime von Verkehrsflächen, Dächern, Fassaden und Grünflächen in die Kanalisation eingeleitet, vgl. Lye (2009), Lee & Bang (2000), Braun et al. (2015). Während starken Niederschlagsereignissen wird verschmutztes Niederschlagswasser sowie ein Teil des ungereinigten Abwassers direkt, durch Entlastungsanlagen in die Gewässer emittiert. Die Ableitung von Siedlungsstrukturen ist in der Regel nur einer von vielen Einflussfaktoren, der auf den ökologischen Zustand des Gewässers wirkt, vgl. Fischer (1998). Ein umfassender Gewässerschutz kann nur gewährleistet werden, wenn die Einträge aus diffusen Quellen und Entlastungsanlagen minimiert werden oder eine (Teil-)Behandlung erfolgt. Zudem ist eine verfahrenstechnische Anpassung der Abwasserbehandlung an die „neuen“ Schadstoffe notwendig.

Verfahrenstechnische Erweiterung von Kläranlagen

Die derzeit eingesetzten physikalischen, biologischen und chemischen Verfahren der Abwasserbehandlung sind nicht darauf ausgelegt, die in Kapitel 2.2 diskutierten weitergehenden Anforderungen an den Gewässerschutz zu erreichen, vgl. *DWA (2013)*, *DWA (2015)*.

Für die weitergehende Minimierung der Nährstoffeinträge gilt es, die vorhandenen, bereits installierten Verfahren der Abwasserbehandlung zu optimieren, bspw. durch Anpassung der Phosphatfällung oder der Denitrifikation zur Minimierung der Stickstoffeinträge.

Ein weitergehender Feststoffrückhalt, bspw. durch entsprechende Filtrations- und Membranverfahren, bildet die Basis für den Rückhalt von verschiedenen Stoffgruppen, bspw. Phosphor und Mikroplastik und als Vorbehandlung für eine Desinfektion (*Schaum, 2016*).

Für die Elimination von Mikroschadstoffen stehen vor allem die Adsorption und die Ozonierung zur Verfügung, auch hier in Kombination mit Verfahren für einen weitergehenden Feststoffrückhalt (*Cornel et al., 2015*).

Grundsätzlich sollte ein ganzheitlicher Ansatz für den weitergehenden Gewässerschutz verfolgt werden, wobei neue Verfahren mit bestehenden Verfahren (z. B. Fällung und Flockung, Feststoffrückhalt) zu verknüpfen sind und somit die Nutzung von Synergien ermöglicht wird.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Abwasser ist ein Vielstoffgemisch, geprägt durch die Ausscheidungen des Menschen, die verwendeten Wasch- und Reinigungsmittel, Arzneimittel sowie durch den Stoffeintrag aus Gewerbe- und Industriebetrieben.

Mit der Zunahme der Kenntnisse bezüglich der Zusammensetzung und Wirkweise von Abwasserinhaltsstoffen auf Mensch und Umwelt ging und geht die Installation und Erweiterung von Abwasserbehandlungsverfahren einher, angefangen vom Bau der Kanalisation im 19. Jahrhundert zur Sicherstellung einer hygienischen Grundversorgung bis hin zu unseren aktuellen Kläranlagen zur Elimination von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor.

Die Forschung hat in den vergangenen Jahren gezeigt, dass selbst geringe Stoffkonzentrationen Auswirkungen auf die aquatische Umwelt haben. So stehen aktuell die „neuen“ Stoffgruppen Mikroschadstoffe, Mikroplastik, Nanopartikel und auch antibiotikaresistente Keime im Fokus.

Gerade kleinere und mittlere Flussläufe in Deutschland sind vor allem in Zeit von Niedrigwasser geprägt von Einleitungen aus Kläranlagen. In Bezug auf die chemische Gewässerqualität und damit auch auf die aquatische Artenvielfalt ist noch immer weitgehend unbekannt, inwiefern Belastungsfaktoren, wie z. B. Neobiota, Schad- und Pflanzennährstoffe, weitere abiotische Stressoren, zum unbefriedigenden Zustand der Gewässer beitragen.

Die Abwasserbehandlung der Zukunft wird die Anforderungen des Gesundheits- und Gewässerschutzes, aber auch des Ressourcenschutzes erfüllen (Schaum, 2016). Die Kläranlage wird damit zu einem Systemdienstleister: Sichere Abwasserableitung aus der Siedlung, Behandlung für den Gewässerschutz, Bereitstellung von Energie aus Abwasser/Klärschlamm, Erzeugung von Produkten bspw. Wasser zur Bewässerung oder Düngemittel.

5 Danksagung

Die Ergebnisse sind Bestandteil des Forschungsprojektes „Entwicklung eines nachhaltigen Wasserressourcen-Managements am Beispiel des Einzugsgebiets der Nidda (NiddaMan)“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen: 02WRM1367.

6 Literatur

- Abegglen C. und Siegrist H. (2012). Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser - Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Abels A. (2012). Nanotechnologie und Wasserwirtschaft. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 59(2).
- ATV (1997). ATV-Handbuch - Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. Ernst und Sohn Verlag, Berlin.
- ATV (1999). Geschichte der Abwasserentsorgung, 50 Jahre ATV: 1948 - 1998, Hennef.
- AWI (2014). Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen, Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie, Abschlussbericht, Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Biologische Anstalt Helgoland.
- Bannick C. G., Brand K., Jekel M., König F., Miklos D. und Rechenberg B. (2015). Kunststoffe in der Umwelt - Ein Beitrag zur aktuellen Mikroplastikdiskussion. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 62(1), 36-41.
- Bischoff A. (2013). Desinfektion von behandeltem Abwasser - Vergleich verschiedener Desinfektionsverfahren, Dissertation. Schriftenreihe IWAR 225.
- BMU (2010). Die Wasserrahmenrichtlinie - Auf dem Weg zu guten Gewässern, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.

- Braun C. und Gälli R. (2014). Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe - Erste Grundlagenerhebung mittels Umfrage bei den Kantonen zu vorhandenen Informationen, BMG Engineering AG, Schlieren, Schweiz.
- Braun C., Gälli R. und Kammer C. (2013). Belastungen durch Gleisabwasser - Emissionen aus dem Bahnverkehr in Fließgewässern. *Aqua und Gas* 7/8, 40 - 9.
- Braun C., Gälli R., Leu C., Munz N., Wildhaber Y. S., Strahm I. und Wittmer I. (2015). Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Carballa M., Omil F., Lema J. M., Llompарт M., García-Jares C., Rodríguez I., Gómez M. und Ternes T. (2004). Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant. *Water Research* 38(12), 2918-26.
- Cornel P., Schaum C. und Knopp G. (2015). Weitergehende Behandlung von Kläranlagenabläufen, DWA - WasserWirtschafts-Kurs P/2 (ISBN 978-3-88721-266-7), 04.-06. November 2015, Kassel.
- Daughton C. G. und Ternes T. A. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of subtle change? *Environmental Health Perspectives* 107, 907-38.
- Deblonde T., Cossu-Leguille C. und Hartemann P. (2011). Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 214(6), 442-8.
- DESTATIS (2015). Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung 2013, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- DWA (2013). 26. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- DWA (2015). Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Englmann E. und Schraner T. (2015). Obere/Mittlere Isar - Maßnahmen zur Verbesserung der Badegewässerqualität. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA)* 236, 31.1-11.
- Exner M. und Schwartz T. (2015). RiSKWa-Statuspapier, Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen, Ergebnisse des Querschnittsthemas „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“, Herausgeber DECHEMA e.V., Frankfurt am Main.
- Fischer J. (1998). Einfluß von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose kleiner Fließgewässer im ländlichen Raum. Dissertation, Universität Kassel, Verein zur Förderung der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik an der Univ.-Gh Kassel, Kassel.
- Gnirss R., Lüdicke C., Beraktschjan M., Renner P., Feuerpfeil I., Dizer H., Szewzyk R. und Selinka H.-C. (2015). Abwasserdesinfektion - Verfahrenvergleich in Bezug auf Indikatororganismen. *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62(3), 225-38.
- Götz C. W. (2012). Mikroverunreinigungen aus Nutztierhaltung. *Aqua und Gas* 11.
- Hürlimann J. (2011). Auswirkungen von Strassenabwasser auf Oberflächengewässer: Gewässerökologische Beurteilung. *GWA* 91(11), 793-801.
- Kaeseberg T., Blumensaat F., Zhang J. und Krebs P. (2015). Assessing antibiotic resistance of microorganisms in sanitary sewage. *Water Science and Technology* 71(2), 168-73.

- Klöpffer W. und Scheringer M. (2000). Persistente Organische Schadstoffe, in *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, 12 (6), S. 3074-309.
- Krebs P., Berendonk T. U., Bernad L., Caucci S., Gurke R., Henzen D., Käseberg T., Knoche R., Kühn V., Lucke N., Marx C., Oertel R., Schubert S. und Timpel P. (2015). Antibiotika und Resistenzbildung im Abwasser. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA)* 236, 53.1-11.
- Kümmerer K. (2004). *Pharmaceuticals in the environment: sources, fate, effects and risks*, Springer Verlag, Berlin.
- LAWA (2014). *Rahmenkonzeption Monitoring, Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen*, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ständiger Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer.
- Lee J. H. und Bang K. W. (2000). Characterization of urban stormwater runoff. *Water Research* 34(6), 1773-80.
- Luo Y. L., Guo W. S., Ngo H. H., Nghiem L. D., Hai F. I., Zhang J., Liang S. und Wang X. C. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of The Total Environment* 473, 619-41.
- Lye D. J. (2009). Rooftop runoff as a source of contamination: A review. *Science of the Total Environment* 407(21), 5429-34.
- Merkel W., Strathmann M., Tondera K., Klaer K., Schoenemann B. und Jardin N. (2015). *Sichere Ruhr - Stand und Perspektiven einer zukünftigen Badenutzung*. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser (GWA)* 236, 32/1-17.
- Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U., Prasse C. und Ternes T. A. (2014). The Challenge: Chemical and ecotoxicological characterization of wastewater treatment plant effluent, In *Response: What are the challenges and prospects? An academic perspective*, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33, 2408-2410.
- Petrella R. (2000). *Wasser für alle - Ein globales Manifest*, Rotpunktverlag, Zürich, Schweiz.
- Prasse C., Stalter D., Schulte-Oehlmann U., Oehlmann J. und Ternes T. A. (2015). Spoilt for choice: A critical review on the chemical and biological assessment of current wastewater treatment technologies. *Water Res* 87, 237-70.
- Rosenwinkel K.-H. und Lorey C. (2009). *Gewässerschutz in Deutschland. Viel erreicht? Viel zu tun?* KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 56(6), 570-6.
- Schaum C. (2016). *Abwasserbehandlung der Zukunft: Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz*, Habilitation. Schriftenreihe IWAR 233 (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- Schwartz T. und Alexander J. (2014). Antibiotikaresistenzen in Abwasser - Nachweis und Vermeidung der Verbreitung. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 61(3).
- SEF (2008). *Rein in den Main, Stadtentwässerung Frankfurt am Main (SEF)*.
- Stauer P. und Ort C. (2012). Diffuse Einträge aus Siedlungen: Ergebnisse einer Situationsanalyse. *Aqua und Gas* 92(11), 42-50.
- Ternes T. A., Hirsch R., Stumpf M., Eggert T., Schuppert B. und Haberer K. (1999). *Nachweis und Screening von Arzneimittelrückständen Diagnostika und Antiseptika in der aquatischen Umwelt.*, Bundesministerium für Bildung Wissenschaft Forschung, Bonn.
- Tilley D. (2011). *Aerobic Wastewater Treatment Processes, History and Development*, IWA Publishing, London.

- UBA-AUT (2015). Mikroplastik in der Umwelt, Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf, REP-0550, Umweltbundesamt, Wien, Österreich.
- UNESCO (2011). Water Ethics and Water Resource Management, UNESCO Bangkok.
- Verlicchi P., Al Aukidy M. und Zambello E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment-A review. Science of The Total Environment 429, 123-55.
- Wittmer I., Junghans M., Singer H. und Stamm C. (2014). Beurteilungskonzept für Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen, Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, Dübendorf.
- WRRL (2000). Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- Yang D., Shi H., Li L., Li J., Jabeen K. und Kolandhasamy P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. Environ Sci Technol. 49 (22), 13622-13627.

Autoren:

Dr.-Ing. Christian Schaum
Thomas Fundneider, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel

Prof. Dr. Jörg Oehlmann
Dr. Ulrike Schulte-Oehlmann

Technische Universität Darmstadt
Institut IWAR
Fachgebiet Abwassertechnik
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt

Goethe Universität Frankfurt
Abteilung Aquatische Ökotoxikologie,
Fachbereich Biowissenschaften
Max-von-Laue-Str. 13
60438 Frankfurt

Tel.: +49 (6151) 16 20319
Fax: +49 (6151) 16 20305
E-Mail: c.schaum@iwar.tu-darmstadt.de

Tel.: +49 (69) 798 42142
Fax: +49 (69) 798 42141
E-Mail: oehlmann@bio.uni-frankfurt.de