

Stoffflussmodell zur Abschätzung der transportierten Antibiotika im Trocken- sowie Regenwetterfall

Thomas Kaeseberg*, Frank Blumensaat, Jin Zhang und Peter Krebs

Technische Universität Dresden, Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft

*Email des korrespondierenden Autors: thomas.kaeseberg@tu-dresden.de

Kurzfassung

Antibiotika dienen der Behandlung bakterieller Infektionen, sodass deren Eintrag in das Abwassertransportnetz aufgrund der unvollständigen Metabolisierung im Menschen heutzutage allgegenwärtig ist. Diese ins System eingetragenen Frachten bedingen einer möglichst verlustfreien Übergabe zur Kläranlage. Dabei können diese Frachten während des Transports gewissen Prozessen unterliegen, welche die Fracht im Trocken- sowie Regenwetterfall beeinflussen. Demnach müssen die Antibiotika entsprechend ihrer Abbaubarkeit, Adsorptions- und Desorptionsfähigkeit klassifiziert werden - eine erste Möglichkeit ist die Hochrechnung mittels Verschreibungsdaten, welche aufgrund eines Vergleichs mit der Wiederfindung an der Zentralkläranlage eine erste Abschätzung zur Klassifikation zulässt. Detaillierte Untersuchungen mittels Experimenten führen zu einem Informationsgewinn und somit zur differenzierteren Einteilung. Des Weiteren ist es mit diesen detaillierten Informationen möglich, nicht nur die eingetragene, tägliche Fracht zu bestimmen, sondern die Frachterhöhung durch die Schmutzstofftransportdynamik bei Mischwasserereignissen einzuschätzen, da diese in der Bewertung des Umweltrisikos Berücksichtigung finden muss - die gemessenen Antibiotikakonzentrationen im Abwasser, wobei einige z. T. deutlich über den zulässigen PNEC-Werten liegen, stellen besonders für Gewässer mit geringem Verdünnungspotenzial ein erhöhtes Umweltrisiko dar. Demnach müssen zukünftig Steuerungskonzepte, aber auch bautechnischen Maßnahmen Aspekte der Antibiotikacharakteristik bzw. der Mikroschadstoffe allgemein berücksichtigen, um Gewässer wirkungsvoll zu schützen.

Einleitung

Der Verwendung antibiotisch wirkender Arzneistoffe zur Bekämpfung bakterieller Infektionskrankheiten ist eine etablierte Behandlungsmethode und aus vielen Therapiestrategien heutzutage nicht mehr wegzudenken. Die Ausscheidung, und damit der Eintrag dieser Stoffe ins Abwasser, ist durch die unvollständige Metabolisierung im menschlichen Körper unvermeidbar, sodass ein möglichst verlustfreier Transport dieser Stofffrachten bis zur Kläranlage angestrebt werden muss. Unkontrollierte Austräge in angrenzende Umweltkompartimente (z. B. über Mischwasserentlastungen und Exfiltration) sind zu minimieren, eine Eliminierung auf der Kläranlage ist anzustreben – auch wenn eine konkrete Wirkung bzw. Resistenzbildung in der Kläranlage und im angrenzenden Gewässer bislang schwer einschätzbar ist (Li *et al.* 2011; Chèvre *et al.* 2013).

Ziel der hier diskutierten Untersuchungen ist es, i) den Zusammenhang zwischen Verschreibungspraxis für Antibiotika (Quelle) und der Veränderung der Abwasserzusammensetzung im Kläranlagenzulauf (Senke) zu analysieren und ii) den Transport, bzw. Umbau im Kanalnetz modelltechnisch abzuschätzen.

Daten & Methodik

Für die Ermittlung des ambulanten Antibiotikaeintrags waren stadtteilspezifisch sowie antibiotikaspezifisch, wöchentlich verschriebene Frachten der gesetzlichen Krankenkasse AOK der Jahre 2005 bis 2012 vorhanden. Diese Daten waren in 5 Altersgruppen unterteilt. Da jedoch lediglich für 2007 sowie 2011 die entsprechenden Zahlen zu den AOK-versicherten Personen stadtteilspezifisch für Dresden zu ermitteln waren, wurde mittels der Daten zu den AOK-Versicherten in Sachsen und den Einwohnerzahlen in Sachsen, welche beide ebenfalls in 5 Altersgruppen unterteilt waren und von 2005 bis 2012 vorlagen, eine Methode zur Errechnung der AOK-Versicherten von 2005 bis 2012 entwickelt. Diese Methode bezieht sich auf die AOK Zahlen für Dresden von 2011 und wurde mit den Daten von 2007 validiert, sodass anschließend anhand der stadtteilspezifischen Einwohnerstruktur von 2005 bis 2012, welche wiederum in 5 Altersgruppen unterteilt war, eine Hochrechnung der Antibiotikafrachten auf die Gesamtbevölkerung im jeweiligen Stadtteil möglich war.

Für die stationären Einträge im Stadtgebiet Dresden konnte auf die Daten der 3 größten Krankenhäuser (Uniklinikum, Krankenhaus Neustadt und Krankenhaus Friedrichstadt) zurückgegriffen werden. Da zwei dieser Einrichtungen nicht-universitär waren, ist es laut Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2011) möglich anhand der Bettenzahl zu interpolieren. Demnach konnten die antibiotikaspezifischen, wöchentlichen Frachten 8 weiterer Krankenhäuser im Stadtgebiet sowie 3 Krankenhäuser aus dem Umland errechnet werden. Diese stationären Einträge aus dem Umland addieren sich zur Gesamtfracht zuzüglich der ambulanten Einträge aus 6 Orten, welche ebenfalls zur Stadt Dresden übergeleitet werden. Die ambulanten Frachten wurden anhand der Verhältnisbildung der organischen Fracht des jeweiligen Ortes zur organischen Fracht der Stadt Dresden abgeschätzt. Da diese stationär oder ambulant verschriebenen Frachten einer unvollständigen Metabolisierung im Körper unterliegen, muss die Exkretionsrate des jeweiligen Antibiotikums berücksichtigt werden, sodass die ins Kanalsystem eingetragene Fracht abgeschätzt werden kann.

Die im System befindlichen Antibiotikafrachten können während des Transports verschiedensten Prozessen unterliegen. Zur ersten Abschätzung der Prozesse Abbaubarkeit, Adsorption und Desorption eignet sich die Wiederfindungsrate am Zulauf der Abwasserreinigungsanlage Dresden, welche durch ein 1-jähriges Monitoringprogramm aufgezeichnet wurde. Eine detailliertere Untersuchung fand mittels Experimenten zu eben genannten Prozessen statt. Auf Grundlage dieses antibiotikaspezifischen Verhaltens während des Transports im Kanalsystem ist es möglich eine Klassifizierung vorzunehmen.

Ergebnisse

Die Analyse von Verschreibungsdaten (hier am Beispiel Dresdens (ca. 500.000 Einwohner) zeigt für den Zeitraum von 2005 bis 2012, dass Verschreibung und Konsumption, und somit der Eintrag von Antibiotika ins Abwasser in allen Altersgruppen generell rückläufig ist (siehe Abbildung 1 - links).

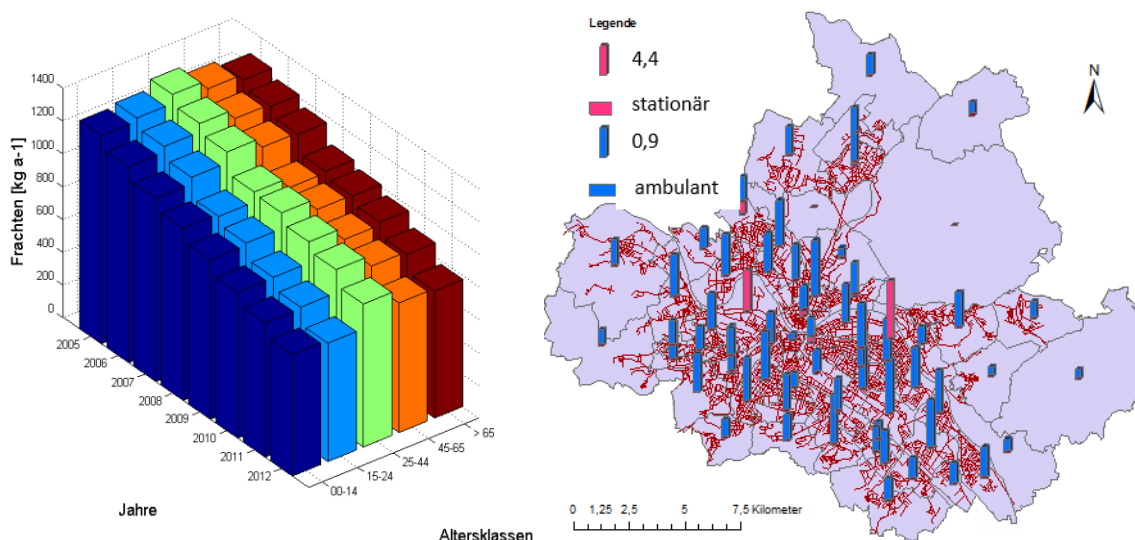


Abbildung 1: Ausgeschiedene Antibiotikafrachten Dresden (links: altersspezifischer Antibiotikaeintrag; rechts: stadtteilspezifischer Antibiotikaeintrag / blaue Balken: ambulant; rote Balken: stationär; braune Linien: Kanalnetz).

Ergebnisse – von Verschreibungsdaten zum Stofffrachtaufkommen

Eben dieser Eintrag ins Kanalnetz kann in stationäre und diffuse, sprich ambulante Pfade unterteilt werden. Innerhalb des Stadtgebiets von Dresden fallen 81,1 Prozent der eingetragenen Frachten an, die restlichen 18,9 Prozent erreichen mittels Abwasserüberleitungen aus umliegenden Gemeinden die Zentralkläranlage.

Der Eintrag aus dem Stadtgebiet Dresden lässt sich in 75,3 Prozent (ambulant) und in 24,7 Prozent (stationär) unterteilen. Der stadtteilspezifische, ambulante sowie stationäre Eintrag ins Kanalnetz ist in Abbildung 1 dargestellt. Dies verdeutlicht i) die homogene Verteilung der diffusen Einträge entsprechend des bewirtschafteten Entwässerungssystems, sowie ii) den Anteil der 3 größten Krankenhäuser (Uniklinikum, Krankenhaus Neustadt und Krankenhaus Friedrichstadt), welche gegenüber den anderen 8 stationären Einträgen innerhalb der Stadt Dresden 85,3 Prozent abdecken.

Die Analyse der Verschreibungsdaten mit dem Ziel der Wiederfindung der untersuchten Antibiotika im Zulauf der Kläranlage Dresden-Kaditz, siehe Abbildung 2, macht eine Differenzierung der Stoffe nach den Kriterien i) Abbaubarkeit und ii) Adsorptionsfähigkeit sinnvoll. Aufbauend auf diesem Konzept konnte ein antibiotika-spezifisches Stoffflussmodell entwickelt werden, das unterschiedliche Randbedingungen (Trockenwetter, Regenwetter) und stoffspezifische Transportverhalten adressiert.

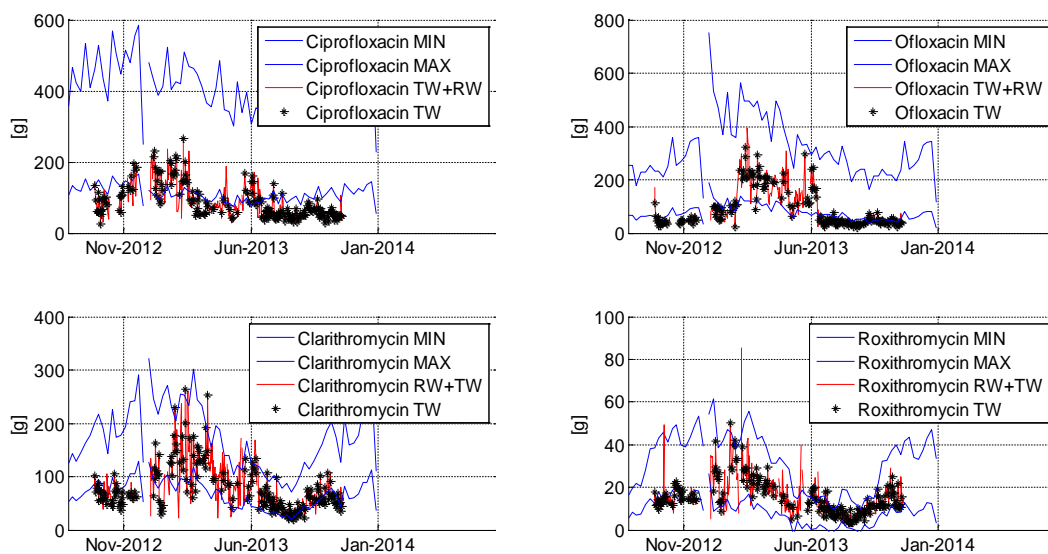


Abbildung 2: Wiederfindungsraten der untersuchten Antibiotika im Zulauf der KA Dresden

Anhand von Adsorptionsversuchen konnte festgestellt werden, dass diese adsorbierte Fracht die wiedergefundene Fracht im Trockenwetterfall an der Kläranlage Dresden kaum beeinflusst, sodass der Zerfall dieser Stoffe, abhängig von der Transportzeit, siehe Abbildung 3, bis zur Kläranlage maßgebend für die Wiederfindung im Zulauf ist. Dennoch muss diese Senke, welche im Regenwetterfall zur Quelle werden kann, berücksichtigt werden, da remobilisierte Sedimente und abgescherte Sielhaut die adsorbierten Antibiotika dem Transportprozess wieder zuführen. Versuche zur Auswaschung von Antibiotika offenbaren dabei eine zusätzliche Erhöhung der gelösten Fracht bestimmter Antibiotika (Rücklösung). Die Kombination aus erhöhter partikulärer sowie gelöster Fracht im Regenwetterfall kann einerseits eine erhöhte Belastung für die Kläranlage, andererseits aber auch einen erhöhten Stoffaustrag in das angrenzende Gewässer bedeuten. Dies hat zur Folge, dass nicht nur die eingetragene, tägliche Fracht maßgebend ist, sondern das auch die Schmutzstofftransportdynamik bei der Bewertung des Risikos Berücksichtigung finden muss.

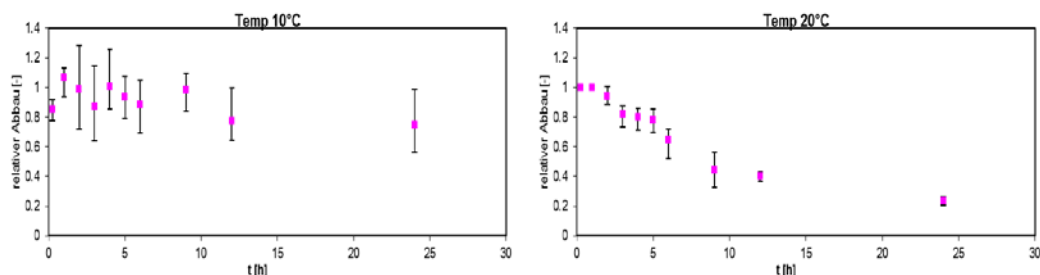


Abbildung 3: Relativer Abbau von Clindamycin bei 10°C sowie 20°C

Schlussfolgerungen

Basierend auf Detailanalysen von 24 Stunden-Mischproben sind die im Abwasser gefundenen Antibiotikakonzentrationen in Kaeseberg *et al.* (2014b) gelistet, wobei einige z. T. deutlich über den zulässigen PNEC-Werten liegen. Dies stellt besonders für Gewässer mit geringem Verdünnungspotenzial ein erhöhtes Umweltrisiko dar, welches erst bei hochauflösenden Konzentrationsmessungen im Abwasser (à 2 min) (Kaeseberg *et al.* 2014a) deutlich wird.

Für einen wirksamen Gewässerschutz müssen zukünftige Steuerungskonzepte, aber auch bautechnischen Maßnahmen demnach Aspekte der Antibiotikacharakteristik bzw. der Mikroschadstoffe allgemein berücksichtigen. Vor allem gilt es, den Austrag in die Umwelt über Mischwasserentlastungen gering zu halten, da Einzelstoffe z.T. sehr lange in der Umwelt verweilen (Kummerer *et al.* 2004).

Literatur

- Chèvre N., Coutu S., Margot J., Wynn H. K., Bader H.-P., Scheidegger R. and Rossi L. (2013). Substance flow analysis as a tool for mitigating the impact of pharmaceuticals on the aquatic system. *Water Research* 47(9), 2995-3005.
- Kaeseberg T., Blumensaat F., Zhang J. and Krebs P. (2014a). Assessing Antibiotic Resistance Of Microorganisms In Sanitary Sewage. In: *13th International Conference on Urban Drainage 2014*, International Water Association, Kuching, Sarawak, Malaysian Borneo.
- Kaeseberg T., Blumensaat F., Zhang J. and Krebs P. (2014b). Spülstoßeffekt gelöster und feststoffgebundener Antibiotika und resultierendes Umweltrisiko bei Mischwasserentlastungen (First-Flush-Effect of dissolved and particle-bound antibiotics and resulting environmental risk during combined sewer overflows). *Prävention und Gesundheitsförderung, Special Issue: Antibiotika und Antibiotikaresistenzen im urbanen Abwasser (Antibiotics and antibiotic resistance in urban sewage)*, Springer Verlag.
- Kummerer K., Alexy R., Huttig J. and Scholl A. (2004). Standardized tests fail to assess the effects of antibiotics on environmental bacteria. *Water Research* 38 (8), 2111-6.
- Li D., Qi R., Yang M., Zhang Y. and Yu T. (2011). Bacterial community characteristics under long-term antibiotic selection pressures. *Water Research* 45(18), 6063-73.

Danksagung: Besonders Dank an dieser Stelle gilt Conrad Marx vom Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft der TU Dresden sowie der Stadtentwässerung Dresden GmbH für das Kläranlagenmonitoring, Sara Schubert und Reinhard Oertel von der Klinischen Pharmakologie der TU Dresden für die Antibiotikaanalysen sowie Viktoria Mühlbauer von der Klinischen Pharmakologie der TU Dresden für die Aufbereitung der Antibiotikadaten.

Fördergeber: Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert.