

Schadstoffeinleitungen in Kanäle und Gewässer verfolgen

Gerhard Genuit

Umweltamt, Stadt Bielefeld · gerd.genuit@bielefeld.de

Zusammenfassung: Seit Jahren wird in Bielefeld die Untersuchung von Biofilm (Sielhaut) in Schmutzwasserkanälen zur regionalen Eingrenzung von Schadstoffeinleitungen erfolgreich eingesetzt. Die Methode findet eine breitere Anwendung, seitdem in Bielefeld die Probenahme entscheidend vereinfacht werden konnte. In einer Versuchsreihe soll nun geklärt werden, unter welchen Bedingungen sie auch in Oberflächengewässern angewendet werden kann. Die Daten werden in dem „Anlagen- und Indirekt-einleiterkataster“ (AUIK) der Stadt Bielefeld gesammelt und ausgewertet. Hierbei handelt es sich um eine Eigenprogrammierung welche mittels Java realisiert ist und von der Stadt Bielefeld 2011 als Open Source freigegeben wurde. Die Datenhaltung erfolgt in einer PostgreSQL/PostGIS-Datenbank. Über die Standorte der Anlagen und Messpunkte haben die Sachdaten einen Raumbezug und können in GIS Projekten dargestellt werden. Mit einem modifizierten „zoom-to-point“ QGIS-Plug-in ist die Navigation zu Standorten möglich und für die Fließwegverfolgung von einem Messpunkt im Kanal- und Gewässernetz stromauf- und -abwärts wird das QGEP Projekt verwendet.

Schlüsselwörter: Umwelt, Abwasser, Einleitungen, Kanal, Biofilm

1 Einführung

Wenn die Wasserqualität in einem Kanal oder Fließgewässer überprüft werden soll, wird in der Regel eine Stichprobe genommen. Häufig finden Einleitungen aber nicht kontinuierlich statt, sodass es dem Zufall überlassen bleibt, ob man diese mit der Probe erwischt oder nicht. Klarheit kann letztendlich nur der Einsatz eines automatischen Probenehmers mit einem entsprechend hohen apparativen, personellen und finanziellen Aufwand liefern.

Die Lücke zwischen Stichprobe und einer großen Anzahl automatisch gezogener Proben kann der Einsatz von Passivsammlern teilweise schließen. Diese werden in den Kanal bzw. das Gewässer eingehängt und sammeln die zu untersuchenden Substanzen über einen bestimmten Zeitraum. Danach werden sie entnommen und ausgewertet. Wegen der komplexen Matrix bietet sich hierfür im Abwasserkanal die Untersuchung von Biofilm (norddeutsch: Sielhaut) ganz besonders an.

2 Methode

2.1 Funktionsweise

Die Sielhaut ist ein graubrauner Biofilm aus Mikroorganismen (Bakterien und Pilze), der sich auf der Innenseite von Abwasserleitungen (Sielen) bildet und je nach mikrobieller Zusammensetzung oftmals eine „fettige bis seifige“ Konsistenz hat. Sie ist in der Lage, Schadstoffe aus dem Abwasser aufzunehmen und anzureichern (Memory-Effekt).

Sielhautuntersuchungen werden zur Ermittlung von schwermetallhaltigen Einleitungen seit der Veröffentlichung der Dissertation von Gutekunst vor über 20 Jahren vielfach eingesetzt. Auch in Bielefeld konnte schon Anfang der 90er-Jahre eine massive Zinkeinleitung regional eingegrenzt und dann durch intensive Suche einer Firma konkret zugeordnet werden. Die illegale Abwassereinleitung konnte durch direkte Beprobung des Abwassers weiter belegt und unterbunden werden. Durch das schnelle Auffinden der Schadstoffquelle konnte seinerzeit der Kläranlagenbetrieb sichergestellt werden. Auch die Eignung für organische Schadstoffe ist bereits mehrfach nachgewiesen.

Der Biofilm wächst auf der Oberfläche von Abwasserkanälen und kann sich je nach Zusammensetzung des Abwassers sehr stark unterscheiden. So spielt z. B. die Konzentration von Sauerstoff im Abwasser eine wesentliche Rolle, welche schon allein optisch erkennbar ist. Ist im Abwasser viel Sauerstoff vorhanden, ist der Biofilmaufwuchs kräftig und hellgrau gefärbt. Unter anoxischen Bedingungen bildet sich meistens weniger Biofilm, der aufgrund des vorhandenen S^{2-} dunkelgrau bis schwarz gefärbt ist. Gebildet wird dieser Biofilm vorwiegend von Bakterien, die mit der extrazellulären Polymersubstanz (EPS) sowohl untereinander als auch auf der Oberfläche des Abwasserkanals befestigt sind.

In dem Biofilm finden ständig Auf- und Abbauprozesse statt. Bakterien vermehren sich durch Zellteilung, sterben ab und werden nach Zerstörung der Zellmembran wieder aufgelöst. Bei starkem Bewuchs und hoher Fließgeschwindigkeit können auch ganze Teile des Biofilms abgelöst werden.

Biofilm ist dazu in der Lage, Inhaltstoffe aus dem Abwasser aufzunehmen, zu akkumulieren und über mehrere Wochen zurück zu halten, auch wenn der Stoff nicht mehr im Abwasser vorhanden ist. Dabei sind die Mechanismen und Orte, an denen diese Einlagerung stattfinden, unterschiedlich. So werden Schwermetalle vielfach von den Zellen aufgenommen und im Cytoplasma gespeichert. Diese können aber auch durch Fällung z. B. als Sulfid in die EPS eingebaut werden. Dem gegenüber findet die Speicherung von hydrophoben organischen Verbindungen eher an den Zellwänden und in hydrophoben Taschen in der EPS statt.

Da das Wachstum des Biofilms von unterschiedlichen physikalischen (z. B. hydraulische Bedingungen im Kanal, Temperatur des Abwassers), chemischen (pH-Wert, organische und anorganische Zusammensetzung des Abwassers) und biologischen (Spezies der Mikroorganismen und Organismendichte im Biofilm) Faktoren abhängt, lassen sich keine direkten quantitativen Rückschlüsse aus den Schadstoffkonzentrationen in der Sielhaut auf die Konzentrationen im Abwasser ziehen. Trotzdem ist das Verfahren geeignet, zuverlässige Hinweise für eine Lokalisierung von punktuellen Schadstoffquellen zu geben, gerade im Vergleich mit unbelasteten Bereichen. Der entscheidende Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass im Gegensatz zu einer Abwasserstichprobe auch zeitlich begrenzte Emissionen erfasst werden.



Abb. 1:
Sessil®-Streifen in einem Abwasserkanal

Um Einstiege in die Kanalisation zu vermeiden und den zeitlichen Aufwand für die Beprobung zu minimieren, wurde in Bielefeld vor über zehn Jahren eine eigene Probenahmemethode entwickelt und eingeführt. Hierbei werden ca. 3 cm breite Kunststoffstreifen aus einem Material (Sessil[®]), das üblicherweise in Tropfkörperkläranlagen zum Einsatz kommt, mit einem Band verknüpft und so in den Kanal gehängt, dass nur die Enden auf dem Abwasserstrom schwimmen und den Mikroorganismen als Besiedlungsfläche dienen (Abbildung 1). Die Folienstreifen sind nach 4 bis 6 Wochen so gut mit Sielhaut besiedelt, dass die vorhandene Menge für die Analytik von Schwermetallen oder organischen Verbindungen ausreicht. Die Flexibilität der Sessilstreifen verhindert, dass es zu Ansammlungen von Feststoffen oder zu Aufstauungen im Kanal kommt.

Parallel zu der Entwicklung dieser Probenahmetechnik wurde in Bielefeld ein Kontrollsystem aufgebaut, bei dem an routinemäßig ca. 35 Punkten im Kanalnetz alle drei Monate eine Biofilmprobe genommen und auf die sieben Schwermetalle, für die Grenzwerte im Klärschlamm einzuhalten sind, untersucht. Hierdurch war es möglich, Regionen mit erhöhtem Schadstoffgehalt zu erkennen, auch wenn noch keine Grenzwertüberschreitung im Klärschlamm vorlag. Nachdem sich die Probenahme einige Zeit bewährt hatte, wurden diese Biofilmsammler auch bei 75 Firmen direkt in den Übergabeschacht zur öffentlichen Kanalisation appliziert. Die Häufigkeit der Entnahme und Analyse von Proben ist an diesen Stellen geringer und findet teilweise nur statt, wenn es an den Routinemessstellen zu Auffälligkeiten kommt.

2.2 Datenhaltung

In unserem „Anlagen- und Indirekteinleiterkataster“ (AUIK) werden sowohl die Daten zur Sachbearbeitung, als auch die Dokumentation der Messpunkte und Messwerte des Sielhaut Kontrollprogramms gespeichert. Dieses Kataster ist eine Eigenprogrammierung und in Java realisiert. Datenhaltung erfolgt in einer PostgreSQL/PostGIS. AUIK ist so flexibel aufgebaut, dass es leicht um beliebige weitere Objekte, die mindestens über einen Standort und einen Betreiber definiert sind, erweitert werden kann. In 2015 wurde eine Representational State Transfer (REST)-Schnittstelle zu der NRW Landesdatenbank ELKA programmiert und für 2016 ist die Erweiterung um Daten der Direkteinleitung in Oberflächengewässer und Sonderbauwerke geplant. Das Einleiterkataster ELKA umfasst sechs vormals separat bestehende DV-Anwendungen aus den Bereichen Niederschlagswasser, Industrieabwasser und Kommunabwasser.

3 Auswertung

3.1 Hintergrundwerte

Um Messwerte besser bewerten zu können, wurden erstmals im Jahre 2001 Hintergrundwerte für eine Vielzahl von Elementen von Kintrup und Wünsch in der Korrespondenz Abwasser veröffentlicht. Die Hintergrundwerte wurden durch Untersuchung von Biofilmpuben aus überwiegend häuslichen aber auch industriellen Entwässerungsgebieten ermittelt. Diese Werte wurden in Bielefeld viele Jahre zur Beurteilung der Analysen verwendet, indem die gefundenen Messwerte als Verhältniszahl zu diesen Hintergrundwerten angegeben wurden.

So lassen sich Elemente, welche in völlig unterschiedlichen Konzentrationsbereichen vorkommen, wie z. B. Zink und Cadmium, in einem Diagramm darstellen. Dabei hat sich gezeigt, dass für ein dauerhaftes Überschreiten des dreifachen Hintergrundwertes in der Regel eine Ursache gefunden werden kann.

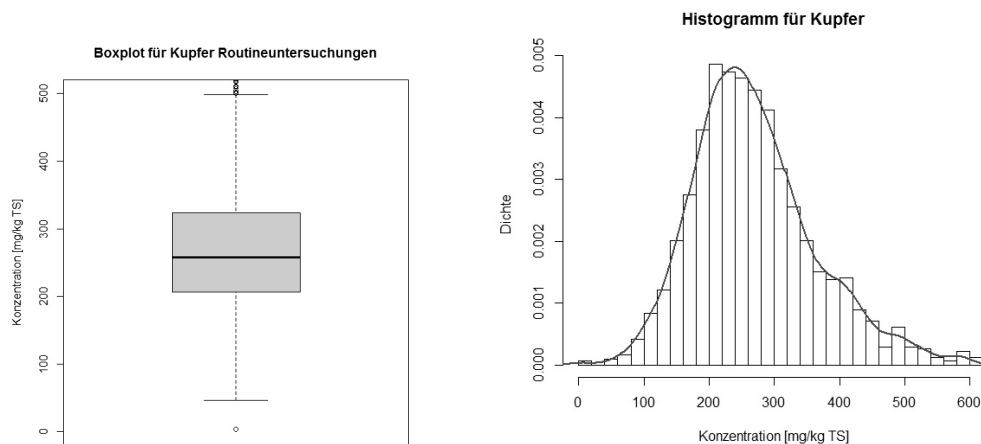


Abb. 2: Boxplot und Histogramm zur Ermittlung des Hintergrundwertes für Kupfer

Mittlerweile ist unsere Datenbasis aber deutlich umfangreicher als die, die 2001 Kintrup und Wünsch zur Verfügung stand, sodass wir nun die eigenen Daten statistisch ausgewertet haben und unsere selbst ermittelten Werte für die Auswertung der Analysenergebnisse benutzen. Für die Analyse der Werte haben wir zunächst die beschreibenden Größen: Anzahl der Messwerte, Minimum, erstes Quartil, Median, Mittelwert, drittes Quartil und Maximum ermittelt. Die Darstellung dieser Größen in einem Boxplot zeigt schon, ob die Verteilung einigermaßen symmetrisch ist. In diesem Falle würde der Medianwert bereits einen guten Hintergrundwert darstellen.

Um noch weitere Informationen über die Verteilung zu bekommen, haben wir dann die Werte in einem Histogramm und einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion dargestellt. Histogramm und Dichteverteilung zeigen in Abbildung 2 beispielhaft für Kupfer in dem Konzentrationsbereich von 0 bis 500 mg/kg TS eine gute Normalverteilung und auch das Maximum der Dichteverteilungskurve liegt mit 240 mg/kg TS nur geringfügig unter dem Medianwert von 258 mg/kg TS.

Tabelle 1: Verschiedene Hintergrundwerte

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Kintrup und Wünsch	1,2	27	180	2,2	23	42	880
Bielefeld Firmenkontrolle	0,7	30	280	0,2	22	34	800
<i>Bielefeld Routineüberwachung</i>	<i>0,6</i>	<i>24</i>	<i>240</i>	<i>0,7</i>	<i>17</i>	<i>34</i>	<i>800</i>
Konya Industriegebiete	0,7	434	360	8	129	128	1.872
Konya Wohngebiete	0,2	19	29	12	36	9	103

Der Vergleich unserer in 2013 ermittelten Hintergrundwerte mit denen von Kintrup und Wünsch aus dem Jahre 2001 zeigt, dass unsere Werte mit Ausnahme von Kupfer niedriger, aber durchaus in der gleichen Größenordnung sind. Auch sind die Unterschiede zwischen Routine- und Firmenkontrollpunkten nicht erheblich. Hier muss aber berücksichtigt werden, dass es z. T. deutlich höhere Werte gibt, die sich bei der Auswertung über den Medianwert und die Dichteverteilung nicht adäquat niederschlagen.

Besonders interessant ist der Vergleich mit den Werten aus der türkischen Stadt Konya, wo die Methode seit ca. drei Jahren angewendet wird. Während im häuslichen Bereich Kupfer, Blei und Zink auf einem drastisch niedrigeren Niveau gemessen wurden als bei uns, gibt es im industriellen Bereich für Chrom, Nickel und Blei ein erhebliches Reduzierungspotenzial. Auffällig sind die in Wohngebieten sogar noch höheren Quecksilberwerte. Diese können möglicherweise auf das Fehlen von Amalgamabscheidern in den Zahnarztpraxen zurückgeführt werden.

3.2 Raumbezug

Über die Standorte der Anlagen und Lage der Messpunkte haben die Sachdaten einen Raumbezug und können sowohl stadtwweit in unserem „Online Kartendienst“ auf Basis von MapBender als auch in lokalen QGIS-Projekten dargestellt und mit Karten anderer Dienststellen wie z. B. dem Kanalplan der Stadtentwässerung verschnitten werden. Die Daten hierfür liegen entweder direkt in unserer PostgreSQL/PostGIS Datenbank oder werden von unserem Katasteramt über standardisierte Schnittstellen wie WMS und WFS zur Verfügung gestellt.

Mithilfe eines modifizierten QGIS-Plug-ins (zoom-to-point) ist die Navigation zu Standorten per Auswahl einer Straße und Hausnummer möglich. QGIS lässt sich aber auch direkt aus dem Kataster heraus starten und bekommt dann die Koordinaten des selektierten Standortes als Umgebungsvariable übergeben. Außerdem gibt es in dem Kataster die Möglichkeit, im QGIS aufgenommene Koordinaten über die Zwischenablage in einen Datensatz einzufügen.

3.3 Fließwegverfolgung mit QGEP

Für die Auswertung der Messwerte ist die Verfolgung der Fließwege von einem Messpunkt im Kanal- und Gewässernetz stromauf- und -abwärts von ganz besonderem Interesse. Diese Funktion stellt das QGEP-Plug-in über eine entsprechende Abfrage unserer Kanaldaten zur Verfügung.

Das QGEP-Projekt hat zum Ziel auf Basis von QGIS eine Fachschale für die Bereiche Abwasser und GEP (Genereller Entwässerungsplan) zu erstellen. Da QGEP vermutlich eine der ersten größeren Fachschalen auf Basis von QGIS ist, müssen einige Probleme im QGIS-Kern gelöst werden. Diese Entwicklungen kommen dann der generellen Fachschalenentwicklung unter QGIS zugute.

Umgesetzt wurde auch bereits eine modellbasierte Netzverfolgung (im Gegensatz zu vielfach üblichen grafischen Netzverfolgungen) auf Basis von NetworkX (Python) und eine dynamische Profilgenerierung (interaktiv) um Gefälle und Dimensionen der Abwasserbauwerke im Kontext der Geländeoberfläche darzustellen. Für die Darstellung des interaktiven Kanalprofils kommt d3.js innerhalb eines Browser-Bereichs (Webkit) zum Einsatz.

4 Fazit und weiteres Vorgehen

Die Methode der Biofilmuntersuchung stellt für den Abwasserkanal eine einfache und effiziente Möglichkeit dar, unerlaubte Einleitungen zu lokalisieren. Eine Übertragung auf Fließgewässer ist nicht ohne eine Modifikation möglich, da hier nicht genug Substrat für die Bildung eines ausreichenden Biofilms vorhanden ist. Der Einsatz von Filtervliesmatten, die mit einem Standard-Nähragar beladen sind, scheint aber durchaus verwertbare Ergebnisse auch für eine substratarmer Matrix zu liefern. Wenn in den Kanaldaten die Schächte und zu jeder Haltung ein Anfangs- und ein Endschacht gespeichert sind, kann die Funktion der Fließwegverfolgung des QGEP-Projektes genutzt werden.

Danksagung

Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Bahadir von der TU Braunschweig, sowie Herrn Prof. Aydin und Frau Dr. Bedük von der Necmettin Erbakan Universität in Konya, die sich für die Verbreitung der Biofilmuntersuchung im Mittleren Osten und Nordafrika einsetzen und der Veröffentlichung ihrer Messergebnisse zugestimmt haben. Außerdem danke ich Matthias Kuhn von OPENGIS.ch und den anderen Entwicklern vom QGEP Projekt sowie Björn und Raimund von der Intevation GmbH für ihre Unterstützung.

Literatur

- GENUIT, G. & BLOCK, M. (2009): Ermittlung von Einleitungen PFT-haltigen Abwassers durch Untersuchung der Sielhaut. *Gewässerschutz – Wasser – Abwasser*, 217.
- GUTEKUNST, B. (1988): Sielhautuntersuchungen zur Einkreisung schwermetallhaltiger Einleitungen. Doktorarbeit, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.
- KINTRUP, J. & WÜNSCH, G. (2001): Multielementanalytik der Sielhaut: Optimierte Identifizierung von Schwermetalleinleitern. *Korrespondenz Abwasser*, 48, 1068-1073.
- KOCH, M. (2002): Quellenermittlung von Schadstoffen in kommunalen Abwässern und Sedimenten. Doktorarbeit, Prozesswissenschaften, Technische Universität Berlin.
- NEUMANN, A. & KUHN, M. (2013): Das QGEP Abwasser Projekt. FOSSGIS-Konferenz, Rapperswil.