

Anhang E: Methodisches Vorgehen zur Abschätzung stoffspezifischer Emissionsfaktoren (prioritäre Stoffe und bestimmte andere Stoffe nach Anhang I, Teil A der Richtlinie 2008/105/EG bzw. Anlage 7, Tabelle 1 OGeWV) für den Ablauf kommunaler Kläranlagen

**Methodisches Vorgehen zur
Abschätzung stoffspezifischer
Emissionsfaktoren (prioritäre Stoffe und
bestimmte andere Stoffe nach Anhang I, Teil A
der Richtlinie 2008/105/EG bzw. Anlage 7,
Tabelle 1 OGewV) für den Ablauf kommunaler
Kläranlagen**

Bearbeitung: Fuchs, St., Dimitrova, S., Kittlaus, St., Karlsruher Institut für Technologie
(KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG), Bereich
Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft (SW)

Arbeitsstand: November 2013

Anlagen

Anlage 1: Liste der Emissionsfaktoren (Excel-Datei)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
1. Veranlassung.....	3
2. Methodisches Vorgehen zur Abschätzung der Emissionsfaktoren	4
2.1 Ableitung repräsentativer, mittlerer Kläranlagenablaufkonzentrationen	5
2.1.1 Auswahl der Datenbasis	5
2.1.2 Auswertung der verfügbaren Datenbasis	7
2.2 Frachtberechnung.....	9
2.3 Aktivitätsraten	10
2.4 Ableitung der Emissionsfaktoren.....	12
3. Ergebnisse.....	13
Kontakt.....	13
Literaturverzeichnis	13
Anhang.....	16

1. Veranlassung

Nach Art. 5 der EU Richtlinie (RL) 2008/105/EG sind die Mitgliedstaaten verpflichtet eine Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste (prioritäre Stoffe) durchzuführen. Diese Aktivität soll gleichzeitig mit den geforderten Aktualisierungen der Bestandsaufnahme nach Art. 5 der WRRL, d.h. für die erste Bestandsaufnahme zum 22.12.2013 durchgeführt werden. Um eine europaweite Vergleichbarkeit sicherzustellen, wurde, der RL entsprechend, eine verbindliche Leitlinie zur Erstellung der Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste aller prioritären Stoffe und bestimmter anderer Schadstoffe erarbeitete (EU KOM 2012).

In Deutschland wurde zur Umsetzung der Anforderungen der RL für diese erste Bestandsaufnahme eine koordinierende Bund/Länder ad hoc Arbeitsgruppe (AG) einberufen. Diese hat für die erste Bestandsaufnahme Zuständigkeiten und notwendige Arbeitsschritte definiert und sich methodisch auf ein grundlegend einheitliches Vorgehen in Deutschland verständigt, welches sich wesentlich an den Empfehlungen des EU-Leitliniendokumentes (EU KOM, 2012) orientiert. Dieses empfiehlt in Abhängigkeit von der Relevanz der einzelnen Stoffe, unterschiedliche, sich in ihrer Komplexität, im Datenbedarf und der Aussagefähigkeit unterscheidende, methodische Ansätze (Fließgewässerfracht bezogene Ansatz, Regionalisierte Pfadanalyse und Stoffflussanalyse). Die empfohlenen methodischen Ansätze werden in Deutschland stoffspezifisch verwendet. Für alle drei methodischen Ansätze ist es unter anderem notwendig, Stoffeinträge aus industriellen und kommunalen Punktquellen zu quantifizieren. Zur Abschätzung der Einträge aus kommunalen Kläranlagen wurde für Deutschland beschlossen, in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit einer ausreichenden Datenbasis, stoffspezifische Emissionsfaktoren abzuleiten. Eine direkte, kläranlagenspezifische Abschätzung der Stoffeinträge ist auf Basis der aktuell verfügbaren Daten nicht möglich.

Auf der 8. Sitzung der B/L ad hoc AG am 29.09.2012 (Frankfurt/M.) baten die Mitglieder der Arbeitsgruppe das KIT-IWG die Abschätzung der notwendigen Emissionsfaktoren für den Ablauf kommunaler Kläranlagen durchzuführen und anschließend die Stoffeinträge über diesen Eintragspfad mit dem Modellinstrument MoRE (Modelling of Regionalized Emissions) für Deutschland in räumlicher Auflösung der Subunit¹ zu quantifizieren und bereitzustellen. In diesem Dokument werden sowohl die verwendeten Datengrundlagen und das grundsätzliche methodische Vorgehen (Kapitel 2) zur Abschätzung der Emissionsfaktoren beschrieben als auch die Ergebnisse (Kapitel 3) dokumentiert.

¹ Die Subunit ist eine europaweit berichtsbezogene, sowohl hydrologisch als auch administrativ abgeleitete, Unterteilung der Flussgebieteinheiten nach WRRL, die durch eine geringere Größenstreuung eine bessere Vergleichbarkeit in der Berichterstattung ermöglichen soll. Insgesamt sind in Deutschland 28 Subunits ausgewiesen.

2. Methodisches Vorgehen zur Abschätzung der Emissionsfaktoren

Ein Emissionsfaktor wird stoffspezifisch für einen räumlichen und zeitlichen Gültigkeitsbereich abgeleitet und spiegelt dabei mittlere Verhältnisse (in diesem Fall das mittlere Eintragungsgeschehen über kommunale Kläranlagen) wider.

Raumbezug

In dieser ersten Bestandsaufnahme ist für die Ableitung der Emissionsfaktoren Deutschland als räumliche Bezugsebene vorgesehen. Das bedeutet, es wird stoffspezifisch undifferenziert ein Emissionsfaktor für alle kommunalen Kläranlagen in Deutschland ausgegeben. Im Rahmen dieser ersten Bestandsaufnahme ist eine stärkere Differenzierung (bspw. hinsichtlich Größe kommunaler Kläranlagen) der Emissionsfaktoren auf Basis der aktuellen Datenlage nicht möglich (s. Kapitel 2.1).

Zeitbezug

Die RL selbst definiert (s. Art 5 (2)) einen Referenzzeitraum „... für die Schätzung der in den Bestandsaufnahmen gemäß Absatz 1 zu erfassenden Schadstoffwerte ist ein Jahr innerhalb des Zeitraums von 2008 bis 2010.“ (RL 2008/105/EG, 2008). Zur Ableitung der Emissionsfaktoren ist es nicht möglich und sinnvoll ein einzelnes Bezugsjahr anzugeben. Ziel der Ableitung eines Emissionsfaktors ist es, diesen über einen längeren Zeitraum, sofern sich die Eintragungssituation nicht grundlegend und drastisch verändert, nutzen zu können. Daher wurden im Rahmen dieser Arbeiten im Wesentlichen verfügbare Datengrundlagen für einen Zeitraum 2006 – 2011 verwendet (s. Kapitel 2.1 bis 2.3).

Für die Ableitung von Emissionsfaktoren zur Abschätzung der Stoffeinträge über kommunale Kläranlagen sind eine Vielzahl an Informationen und eine Reihe von Arbeitsschritten notwendig. Grundsätzlich werden zur Ableitung der Emissionsfaktoren Stoffeinträge ermittelt, die in Bezug gesetzt werden zu einer sinnvollen Aktivitätsrate (Bezugsgröße) (s. Formel 1). Wird ein repräsentativer Emissionsfaktor abgeleitet, müssen für zukünftige Betrachtungen und die Eintragungsermittlung (soweit die zeitliche Gültigkeit des Faktors gegeben ist) lediglich die Aktivitätsraten aktualisiert werden.

$$\text{Emissionsfaktor} \left[\frac{\text{kg}}{\text{a} \cdot \text{x}} \right] = \frac{\text{Stoffeintrag} \left[\frac{\text{kg}}{\text{a}} \right]}{\text{Aktivitätsrate} [\text{x}]}$$

Formel 1: Emissionsfaktor

Der Stoffeintrag berechnet sich dabei aus mittleren, für den jeweiligen Gültigkeitsbereich des Faktors repräsentativen, Kläranlagenablaufkonzentrationen und Jahresabwassermengen.

2.1 Ableitung repräsentativer, mittlerer Kläranlagenablaufkonzentrationen

Zur Ableitung stoffspezifisch repräsentativer mittlerer Kläranlagenablaufkonzentrationen wurden folgende grundsätzliche Anforderungen an die Eingangsdaten formuliert:

- es sind aktuelle Informationen zu verwenden,
- das Datenkollektiv soll möglichst groß sein und
- die Werte sollten nicht zu stark schwanken.

Zur Abschätzung der mittleren Ablaufkonzentrationen wurden sowohl Literaturwerte als auch Monitoringergebnisse aus unterschiedlichen Sondermessprogrammen in Deutschland und teilweise europaweit ab dem Jahr 2006 herangezogen. Zu den Studien und Untersuchungsprogrammen, die sich als geeignet für die Ermittlung mittlerer Konzentrationen prioritärer Stoffe im kommunalen Ablauf erwiesen haben, zählen hauptsächlich die Untersuchungen aus Nordrhein-Westfalen (Herbst et al., 2012), (Grünebaum, 2011), die Beprobungskampagne in Österreich (Clara et al., 2009), (Clara et al., 2012), die Schweizer Schadstoffdatenbank (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2013), die im Rahmen der Bestandsaufnahme von den Bundesländern bereitgestellten Daten, die Ergebnisse des COHIBA-Projekts (Bachor et al., 2011) und die Untersuchungsergebnisse des DBU und Länder ko-finanzierten Monitoring-Projektes² (Lambert et al., 2013).

2.1.1 Auswahl der Datenbasis

In Abhängigkeit der identifizierten Relevanz der prioritären Stoffe (nach Anhang I, Teil A der Richtlinie 2008/105/EG) in den Flussgebietseinheiten (s. Arbeitspapier 1 „Relevanzabschätzung“) können für die Ableitung der Emissionsfaktoren von vornherein fünf Stoffe aus der Betrachtung ausgeschlossen werden. Hierbei handelt es sich um die prioritären Stoffe, die im Rahmen der ersten Bestandsaufnahme in keiner der zehn Flussgebietseinheiten als „relevant“ eingeschätzt wurden. Für diese Stoffe ist eine Ableitung von Emissionsfaktoren nicht notwendig. In Deutschland betrifft das die Stoffe: **Alachlor**, **Benzol**, **1,2-Dichlorethan**, **Dichlormethan** und **Tetrachlorkohlenstoff**.

² Im Rahmen der koordinierenden Arbeit zur Durchführung der Bestandsaufnahme der Einleitungen, Emissionen und Verluste nach Art. 5 der RL 2008/105 EG (prioritäre Stoffe) hat die Bund/Länder ad hoc Arbeitsgruppe (AG) „Koordination der Bestandsaufnahme der Einleitungen, Emissionen und Verluste nach Art. 5 der RL 2008/105 EG (prioritäre Stoffe)“ nach Feststellung der fachlichen Notwendigkeit, die Beantragung eines DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) Vorhabens „Entwicklung eines Bilanzierungsinstruments für den Eintrag von Schadstoffen aus kommunalen Kläranlagen in Gewässer“ initiiert. Ausgehend von der aktuellen Datenlage ist das Ziel dieses Vorhabens, durch ein zeitlich begrenztes und gut koordiniertes Monitoringprogramm, belastbare Aussagen zu Abwasserkonzentrationen/ -frachten ausgewählter prioritärer Stoffe im Zu- und Ablauf und in Klärschlämmen der Kläranlagen zu erhalten. In der ersten Projektphase (Sommer 2013), welche die Methodenetablierung zum Ziel hatte, wurden bereits auf 3 Kläranlagen Messdaten gewonnen, welche in die Auswertung eingeflossen sind.

Bei den verbleibenden Stoffen wurden bei der weiteren Auswahl der zu verwendenden Messkampagnen (Datenkollektive) für die Ableitung der Emissionsfaktoren zwei grundlegende und zwei datenspezifische Kriterien angewendet:

- die Aktualität der Messergebnisse (es wurden nur Daten berücksichtigt, die ab dem Jahr 2006 erhoben wurden) muss gegeben sein,
- es soll ein möglichst großes Datenkollektiv vorhanden sein,
- die analytische Bestimmungsgrenze (BG) muss unterhalb der Umweltqualitätsnorm (UQN) (OGewV, 2011) liegen und
- mindestens 10 % der Messwerte einer Messkampagne müssen oberhalb der BG liegen.

Für die weitere Auswahl und die Auswertung der verfügbaren Daten wurden, um eine Gleichgewichtung aller verfügbaren Messungen zu erzielen, alle Einzelmessungen und falls verfügbar die dazugehörige Charakteristik der Kläranlagen in einer Datenbank zusammengefasst. Wenn auf Literaturquellen zurückgegriffen wurde bei der keine Einzelmesswerte vorlagen, wurde ersatzweise für die Messungen oberhalb der BG einmal das Maximum und für die übrigen Werte der Mittelwert in die Datenbank importiert. So wurde bspw. bei der Studie Clara et al. (2012) vorgegangen.

Schließlich wurde stoffspezifisch das gesamte Datenkollektiv in R (R Development Core Team, 2011) ausgewertet. Die oben genannten spezifischen Auswahlkriterien für die Monitoringdaten wurden in der folgenden Reihenfolge angewendet:

- 1) Ist die analytische Bestimmungsgrenze des Untersuchungsprogramms kleiner als die Umweltqualitätsnorm (UQN)³ (OGewV, 2011)?
 - a. JA: mit dem Datensatz wird weiter gearbeitet.
 - b. NEIN: der Datensatz wird nicht in der Auswertung berücksichtigt, da das Analyseverfahren als ungeeignet bewertet wird.
- 2) Sind mindestens 10 % der Messwerte des Untersuchungsprogramms > BG?
 - a. JA: mit dem Datensatz wird weiter gearbeitet.
 - b. NEIN: der Datensatz wird nicht in der Auswertung berücksichtigt, da der Datensatz hinsichtlich der Anforderungen der Aufgabenstellung ungeeignet bewertet wird.

³ Für Benzo(b)fluoranthen und Benzo(g,h,i)perylene wird die UQN für die Summe Benzo(b)fluoranthen & Benzo(k)fluoranthen bzw. Benzo(g,h,i)perylene & Indeno(1,2,3-cd)pyren verwendet.

2.1.2 Auswertung der verfügbaren Datenbasis

Im Anschluss an die Auswahl der für die Ableitung der Emissionsfaktoren zu verwendenden Datenkollektive erfolgt die weitere Auswertung der Messergebnisse. In einem ersten Schritt erfolgte eine Ausreißerbetrachtung, d.h. eine Eliminierung von Ausreißern für alle verbleibenden Messwerte. Dabei wurde stoffspezifisch ein entsprechender Ausreißer-Grenzwert (GW) festgesetzt (s. Formel 2). Zur Ableitung des Grenzwertes wurden nur Messwerte > BG verwendet.

$$\text{Grenzwert} = 3. \text{ Quartil} + 1,5 \times \text{Quartilsabstand}$$

Formel 2: Eliminierung von Ausreißern

Der R-Code zur gesamten Auswertung (Auswahl der Datenkollektive und Eliminierung von Ausreißern) findet sich im Anhang 1.

Nach erster Sichtung der verfügbaren Datengrundlage, basierend auf dem beschriebenen Auswahlverfahren, konnte eine weitere Gruppe von Stoffen identifiziert werden, für die die Ableitung von Emissionsfaktoren aktuell nicht möglich ist. Gründe sind:

- Es liegen keine belastbaren Untersuchungen vor, d.h. durch die ungenügende Datenbasis ist eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien nicht gegeben und damit die Validität potentieller Emissionsfaktoren in Frage gestellt oder
- es liegen ausschließlich Messwerte unterhalb der jeweils verwendeten BG vor.

Zu dieser Gruppe gehören aktuell insgesamt die folgenden 16 Stoffe und -gruppen:

Endosulfan, Trifluralin, Hexachlorcyclohexan, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, C10-13 Chloralkane, Trichlorbenzole, Chlorfenvinphos, Chlorpyrifos, Pentachlorbenzol, Anthracen, Naphthalin, Benzo(a)pyren, Benzo(k)fluoranthene, bromierten Diphenylether (BDE - ohne BDE 47) und Indeno(123-cd)pyren.

Die Stoffe, für die alle Messwerte < BG sind, sind Endosulfan Summe, Trifluoralin, Hexachlorcyclohexan-Isomere (bis auf delta), Hexachlorbutadien, Trichlorbenzol, Alachlor, Pentachlorbenzol.

In der weiteren Datenauswertung wurde eine Gruppe von Stoffen identifiziert deren vorliegende Datengrundlagen eine Basis zur Abschätzung von Emissionsfaktoren bieten. Diese können aber mit einigen Unsicherheiten verbunden sein, da entweder eine geringe Anzahl an unabhängigen Quellen vorliegt oder die verschiedenen Quellen stark voneinander abweichende Ergebnisse angeben (großer Schwankungsbereich der Messwerte).

Gleichwohl werden für diese Stoffe Emissionsfaktoren abgeleitet mit dem Hinweis auf eine gewisse Unsicherheit; **Gruppe (Unsichere Datenbasis): Atrazin, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylen, Fluoranthren, Nonylphenol, Octylphenol, Pentachlorphenol, Simazin, Tributylzinn, BDE 47 und Trichlormethan.**

Eine letzte Gruppe von Stoffen verfügt über eine gesicherte Datenbasis zur Ableitung von Emissionsfaktoren; **Gruppe (Sichere Datenbasis): Diethylhexylphthalat (DEHP), Isoproturon und Diuron** zuzuordnen. Für diese Stoffe liegt sowohl eine breite Basis an Messwerten oberhalb der BG vor, die zudem in einen engen Wertebereich fallen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Emissionsfaktoren dieser drei prioritären Stoffe mit größerer Sicherheit als jene der anderen organischen prioritären Stoffe abgeleitet werden können.

In der grundsätzlichen methodischen Vorgehensweise wurde hinsichtlich der Konzentrationswerte die Mittelwertbildung gewählt. Hintergrund ist, dass dieser Ansatz für alle Stoffe bzw. Stoffgruppen angewendet werden kann. Auf eine Analyse der Mediane wurde in dieser Auswertung verzichtet, da die Häufigkeit der Befunde unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) die Verteilung der Messwerte stark beeinflusst. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ermittelten mittleren Konzentrationen und die Anzahl der Messwerte pro Stoff, die in die Auswertung einfließen.

Tabelle 1: Mittlere Konzentration im Kläranlagenablauf

Stoff	Mittelwert [µg/l]	Min [µg/l]	Max [µg/l]	Anzahl Werte	Anzahl Werte > BG	GW* [µg/l]
Atrazin	0,03	0,0002	0,2220	312	170	0,2350
BDE 47	0,0002	0,0000	0,0010	222	39	0,0013
B (b)F	0,001	0,0005	0,0050	176	59	0,0060
B (g,h,i)P	0,0003	0,0003	0,0006	22	4	0,0006
DEHP	0,41	0,0500	1,2000	246	204	1,2813
Diuron	0,05	0,0003	0,1940	810	602	0,1990
Fluoranthen	0,004	0,0005	0,0120	183	164	0,0120
Isoproturon	0,03	0,0001	0,1560	759	524	0,1569
Nonylphenol⁴	0,16	0,0250	0,2790	111	75	0,2800
Octylphenol⁵	0,02	0,0050	0,0700	28	6	0,0900
Pentachlorphenol	0,005	0,0035	0,0280	101	14	0,0368
Simazin	0,03	0,0005	0,2060	607	266	0,2275
Tributylzinn	0,002	0,0001	0,0100	5	2	0,0149
Trichlormethan	0,09	0,0500	0,6000	152	37	0,6900

* GW = Grenzwert für Ausreißer

Für die prioritären Schwermetalle und EPA-PAK₁₆ werden keine mittleren Konzentrationen für das Bundesgebiet abgeleitet, sondern bundeslanddifferenziert die Stofffrachten berechnet (s. Methodenpapier Regionalisierte Pfadanalyse Bestandsaufnahme).

2.2 Frachtberechnung

Da sich der stoffspezifisch abgeleitete Emissionsfaktor auf Gesamtdeutschland bezieht, werden alle weiteren Abschätzungen/Berechnungen auf Basis deutschlandweiter Datengrundlagen (Datenkollektiv) durchgeführt. Bei den zu berechnenden Stoffeintragsfrachten (E) handelt es sich entsprechend um mittlere Stoffeinträge aus kommunalen Kläranlagen für Deutschland. Diese berechnen sich als Produkt aus der mittleren Kläranlagenablaufkonzentration (C) und der entsprechend eingeleiteten Abwassermenge (Q) (s. Formel 3).

⁴ CAS 25154-52-3 & CAS 84852-15-3

⁵ CAS 140-66-9

$$E = C \cdot Q$$

Formel 3: Stoffeintrag

Im Detail unterscheidet sich das methodische Vorgehen zur Berechnung der Stoffeintragsfrachten allerdings in wenigen Punkten zwischen Schwermetallen und PAK₁₆ einerseits und den anderen prioritären Stoffen andererseits.

Für Schwermetalle und PAK₁₆ wurden anhand bundeslandspezifischer mittlerer Kläranlagenablaufkonzentrationen (bundeslandweiter Wert) mit dem Modellinstrument MoRE⁶ (Modelling of Regionalized Emissions) über Jahresabwassermengen der Einzeljahre jährliche Eintragsfrachten für einen 3-Jahreszeitraum (2006 bis 2008) berechnet⁷. Daraus wurde durch Mittelwertbildung eine repräsentative Jahresfracht errechnet.

Für die anderen organischen Schadstoffe wurden mittlere, repräsentative Kläranlagenablaufkonzentrationen (deutschlandweiter Wert) verwendet (s. Kapitel 2.1). Für diese Stoffe wurden nicht jährliche, sondern mittlere Frachten über die mittlere Jahresabwassermenge für den 5-Jahreszeitraum 2004 bis 2008 berechnet (s. Tabelle 1).

Um den Einfluss der unterschiedlichen Zeitbezüge zu analysieren, wurden die mittleren Jahresabwassermengen für die beiden Zeiträume verglichen. Da diese in Gebieten mit Mischkanalisation auch vom Niederschlagsgeschehen abhängen, kommt es zu einer Abweichung von 5 %.

Um die jährlichen Schwankungen des Niederschlagsgeschehens zu glätten und mittlere Verhältnisse abzubilden, wurden die Emissionsfaktoren einheitlich mit einem 5-jährigen Mittelwert der Jahresabwassermenge berechnet.

2.3 Aktivitätsraten

Für die Ableitung von Emissionsfaktoren sind in Abhängigkeit von räumlich differenzierten Eingangsdaten wesentliche Aktivitätsraten (Bezugsgrößen) abzuleiten, die in einer Relation zu den modellierten Stoffeinträgen stehen (s. Kapitel 2.). Eine Aktivitätsrate ist so zu wählen, dass sie einfach, nach Möglichkeit mindestens jährlich, aktualisiert werden kann (bspw. statistische Daten).

⁶ Eine Beschreibung des verwendeten Modellinstrumentes MoRE findet sich unter <http://isww.iwg.kit.edu/MoRE.php>.

⁷ Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil für die Berechnungen vor 2006 ältere Konzentrationswerte mit höheren Bestimmungsgrenzen verwendet werden und die Aktualisierung für die Jahre 2009-2010 noch nicht abgeschlossen ist.

Mögliche Aktivitätsraten sind in diesem Fall:

- Anzahl der Einwohner in Deutschland
- Anzahl der Einwohner, die an Kläranlagen angeschlossen sind
- in kommunalen Kläranlagen (Deutschland) behandelte Einwohnerequivalente (EGW)
- an kommunalen Kläranlagen angeschlossene Einwohnerwerte (EW)

Durch die Division der modellierten Stoffeinträge mit den Aktivitätsraten werden die stoffspezifischen Emissionsfaktoren für Emissionen aus kommunalen Kläranlagen berechnet (s. Tabelle 2).

Der Datensatz zu den Einwohnerequivalenten und den Einwohnerwerten bezieht sich auf das Jahr 2007. Die Werte für das Bundesgebiet betragen laut FDZ (2012) 46.397.900 EGW bzw. 124.509.902 EW.

Die Aktivitätsraten „Anzahl der Einwohner in Deutschland“ und „Anzahl der Einwohner, die an Kläranlagen angeschlossen sind“, werden mit dem Modellsystem MoRE als 5-jähriges Mittel der Jahre 2004 bis 2008 berechnet. Die Herkunft und die Aufbereitungsmethode dieser Daten ist in Fuchs et al. (2010) beschrieben. Tabelle 2 fasst die berechneten Zahlenwerte zusammen. Der Vergleich des 3-jährigen mit dem 5-jährigen Mittelwert der Aktivitätsraten zeigt, dass die Abweichungen bei den Einwohnern vernachlässigbar klein sind (< 0,5 %).

Tabelle 2: Ableitung der mittleren Aktivitätsraten und Jahresabwassermengen

Jahr	Einwohner gesamt [E]	an Kläranlage angeschlossene Einwohner [E]	Jahresabwasser menge [m³]
2004	82.351.867	77.518.444	9.410.034.000
2005	82.322.427	77.505.115	9.006.535.455
2006	81.876.500	76.796.243	9.836.382.325
2007	81.788.006	77.660.876	10.666.229.196
2008	81.788.006	77.660.876	11.043.862.657
5 jähriges Mittel 2004-2008	82.025.361	77.428.311	9.992.608.727
3 jähriges Mittel 2006-2008	81.817.504	77.372.665	10.515.491.393
Abweichung 5 jähriges und 3 jähriges Mittel	0,25 %	0,07 %	-5,23 %

2.4 Ableitung der Emissionsfaktoren

Auf Basis der in Kapitel 2.1 bis 2.3 beschriebenen Datengrundlagen und Vorgehensweisen werden nun stoffspezifisch, sofern eine ausreichende Datenbasis zur Ableitung mittlerer repräsentativer Kläranlagenablaufkonzentrationen verfügbar ist, Emissionsfaktoren abgeleitet.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass diese Emissionsfaktoren mittlere Verhältnisse im Hinblick auf ihren Gültigkeitsbereich widerspiegeln.

Angewendet auf einzelne Kläranlagen können die Einträge sowohl deutlich über als auch unterschätzt werden. In der Gesamtbetrachtung des räumlichen Gültigkeitsbereiches wird allerdings davon ausgegangen, dass eine Annäherung an die reale Eintragungssituation abgebildet wird.

3. Ergebnisse

Tabelle 3 listet die abgeleiteten Emissionsfaktoren für den Ablauf kommunaler Kläranlagen auf.

Tabelle 3: Emissionsfaktoren für den Ablauf kommunaler Kläranlagen für prioritäre Stoffe

Stoff	Emissionsfaktor Einwohner gesamt [mg/(E-a)]	Emissionsfaktor an KA angeschl. Einwohner [mg/(E-a)]	Emissionsfaktor Einwohner- gleichwerte [mg/(EGW-a)]	Emissionsfaktor Einwohnerwert [mg/EW-a)]
Atrazin	3,7	3,9	6,5	2,4
BDE 47	0,02	0,03	0,04	0,02
Benzo(b)fluoranthen	0,1	0,1	0,2	0,1
Benzo(g,h,i)perylen	0,04	0,04	0,06	0,02
DEHP	50	53	88	33
Diuron	6	6	11	4
Fluoranthen	0,5	0,5	0,9	0,3
Isoproturon	4	4	6	2
Nonylphenol	19	21	34	13
Octylphenol	2	3	4	2
Pentachlorphenol	0,6	0,6	1	0,4
Simazin	4	4	6	2
Tributylzinn	0,2	0,3	0,4	0,2
Trichlormethan	11	12	19	7
Cadmium	7	8	13	5
Quecksilber	0,2	0,21	0,36	0,1
Blei	24	25	42	16
Nickel	472	501	835	311
PAK16	13	14	23	9

Kontakt

Dr.-Ing. Stephan Fuchs (stephan.fuchs@kit.edu)

Dipl.-Geoökol. Snezhina Dimitrova (snezhina.dimitrova@kit.edu)

Dipl.-Geoökol. Steffen Kittlaus (kittlaus@kit.edu)

Literaturverzeichnis

- Bachor, A.; Schumann, A.; Röpke, A.; Scharf, E.-M.; Dethloff, M.; Nakari, T. et al. (2011): COHIBA WP3, National Report. German Results. Agency for Environment, Nature Conservation and Geology Mecklenburg-Vorpommern. Güstrow. Online verfügbar unter www.cohiba-project.net/publications.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2013): Datensätze der Schweiz zu Konzentrationen von Kläranlagenläufen. Auszug aus Datenbank. Unter Mitarbeit von N. Munz.
- Clara, M.; Denner, M.; Gans, O.; Scharf, S.; Windhofer, G.; Zessner, M. (2009): Emissionen organischer und anorganischer Stoffe aus kommunalen Kläranlagen. Wien: Umweltbundesamt. (Report / Umweltbundesamt, REP-0247).
- Clara, M.; Windhofer, G.; Weilgony, P.; Gans, O.; Denner, M.; Chovanec, A.; Zessner, M. (2012): Identification of relevant micropollutants in Austrian municipal wastewater and their behaviour during wastewater treatment. In: *Chemosphere* 87 (11), S. 1265–1272. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.01.033.
- Datensätze der Bundesländer zu Konzentrationen von Kläranlagenläufen aus der amtlichen Überwachung sowie aus Sondermessprogrammen. Ad hoc B/L-Arbeitsgruppe "Bestandsaufnahme der Emissionen, Einleitungen und Verluste zur Richtlinie 2008/105/EG (Prioritäre Stoffe)".
- EU KOM (2012): Technical Guidance on the preparation of an inventory of emissions, discharges and losses of priority or priority hazardous substances.
- European Parliament (EP); Council of the European Union: Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy. Directive on EQS in the field of water policy.
- Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (FDZ) (2012): Statistische Daten zur Wassereigenversorgung, Abwasserbehandlung und -beseitigung. Online verfügbar unter <http://www.forschungsdatenzentrum.de/>.
- Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D. et al. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 45/10).
- Grünebaum, T. (2011): Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen. Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Essen. Online verfügbar unter

http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Arzneimittelr_Abschlussbericht.pdf
zuletzt geprüft am 18.01.2013.

Herbst, H.; Hilbig, R. (2012): Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost. Machbarkeitsstudie. Hg. v. InfraStruktur Neuss AöR. Köln. Online verfügbar unter http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_Machbarkeit.pdf
zuletzt geprüft am 18.01.2013.

Lambert, B.; Fuchs, S.; Sacher, F. (2013): Entwicklung eines Bilanzierungsinstrumentes für den Eintrag von Schadstoffen aus kommunalen Kläranlagen in Gewässer. Forschungsvorhaben finanziert durch die DBU und die Bundesländer. Vorläufige Ergebnisse des Sondermessprogramms zu Stoffkonzentrationen im Ablauf kommunaler Kläranlagen. Karlsruhe.

OGewV (2011). Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV), vom 22. Juli 2011.

R Development Core Team (2011) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Wien: R Foundation for Statistical Computing, 2011. <http://www.R-project.org/>.

RL 2008/105/EG (2008). Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, vom 16. Dezember 2008.

Anhang

Anhang 1: Skript zur Auswertung der Stoffdatenbank

Mit dem folgenden Skript wurde in R (R Development Core Team, 2011) die Datenbank mit allen Untersuchungen ausgewertet um repräsentative Konzentrationen zur Berechnung der Emissionsfaktoren abzuleiten.

```
## Einlesen des Datenbankauszugs
Datenbankauszug <- read.csv2(file="Input\\2013_11_05_Datenbankauszug.csv",encoding="Latin-1",sep=";",dec=","na.strings="#NV")
# Werte aus den Jahren 2008/2009 zu denen kein genaues Messdatum vorlag wurde das Datum 01.01.1908 zugewiesen um sie für saisonlae Auswertungen ausschließen zu können.

## Einlesen der Liste mit den zu betrachtenden Stoffen und der zugehörigen UQN
UQN <- read.csv2(file="Input\\UQN.csv",encoding="Latin-1",sep=";",dec=","na.strings="#NV")

## Formatieren und Filtern des Datenbankauszugs für die Analyse
Input <- transform(Datenbankauszug, row.names=ID_Messwert, Datum=as.Date(Datum,"%d.%m.%Y"), MW=Messwert, BG=Bestimmungsgrenze)
Input <- subset(Input, Direkteinleiter=="WAHR") # Auswahl der Direkteinleiter
Input <- subset(Input, Quelle=="kommunale Einleitung") # Auswahl kommunaler Kläranlagen
Input <- subset(Input, Quelle_Probenahme=="Ablauf") # Auswahl der Messwerte im KA-Ablauf
Input <- subset(Input, Datum>="2006-01-01"|Datum=="1908-01-01") # Auswahl der Untersuchungen ab 2006
Input <- droplevels(Input[c(4,7,13:14,17:29,31,33:35)])
Input <- transform(Input, Wert=ifelse(Bezug_MW_BG=="FALSCH",MW,BG/2)) # Berechnung der halben BG für Werte < BG

for (j in c(1:18)) { # Schleife welche die Stoffe n:m in UQN nacheinander abarbeitet

## Auswahl der Substanz
Subst <- levels(UQN[["Stoff"]])[j]
StoffUQN <- subset(UQN,Stoff==Subst)[,"UQN"] # Auswahl der stoffspezifischen UQN
Stoffdaten <- subset(Input, Parameter==Subst)

## Prüfung ob die BG der Kampagne < UQN ist
Stoffdaten <- transform(Stoffdaten, Pruefung_BG=ifelse(Bezug_MW_BG=="WAHR"&BG>=StoffUQN,Herkunft,""),ung_Kampagne=0)
ungeeignete_Kampagnen <- as.numeric(levels(Stoffdaten$Pruefung_BG))
for(i in c(1:length(ungeeignete_Kampagnen)))
{Stoffdaten <- transform(Stoffdaten, ung_Kampagne=(ifelse(as.numeric(Herkunft)==ungeeignete_Kampagnen[i],as.numeric(Herkunft),ung_Kampagne))
)
i=i+1}
Stoffdaten <- subset(Stoffdaten, is.na(ung_Kampagne))
```

Methodisches Vorgehen zur Abschätzung stoffspezifischer Emissionsfaktoren für den Ablauf kommunaler Kläranlagen

```
## Test auf 10% der Messwerte einer Kampagne > BG
Stoffdaten <- transform(Stoffdaten,
gr_BG=ifelse(Bezug_MW_BG=="FALSCH",1,0),kl_BG=ifelse(Bezug_MW_BG=="WAHR",1,0))
gr_BG <- tapply(Stoffdaten$gr_BG, Stoffdaten$Herkunft, sum)
kl_BG <- tapply(Stoffdaten$kl_BG, Stoffdaten$Herkunft, sum)
Test <- data.frame(gr_BG,kl_BG)
Test <- transform(Test, Anteil=(gr_BG)/(gr_BG+kl_BG), Herkunft=row.names(Test))
Test <- transform(Test, Anteil=(gr_BG)/(gr_BG+kl_BG))
Test <- subset(Test, Anteil<0.1)
if(length(Test$Herkunft)>0){
for(k in c(1:length(Test$Herkunft))){
Stoffdaten <-subset(Stoffdaten, Herkunft!=Test$Herkunft[k])
k=k+1}}

## Eliminieren von Ausreißern
Stoffdaten_pos <- subset(Stoffdaten, Bezug_MW_BG=="FALSCH")
Grenzkriterium <- quantile(Stoffdaten_pos$Wert,0.75)+IQR(Stoffdaten_pos$Wert)*1.5
Stoffdaten <- subset(Stoffdaten, Wert<=Grenzkriterium)

## Ausgabe der für die Ableitung des Emissionsfaktors verwendeten Messwerte
write.csv2(Stoffdaten, file = paste("Stoffdaten",Subst,".csv"), eol = "\n", na = "NA", row.names =
FALSE)

## Berechnung der Kennzahlen
if(j==1){
Ergebnis <-data.frame(Subst, mean(Stoffdaten$Wert), sd(Stoffdaten$Wert)/mean(Stoffdaten$Wert),
median(Stoffdaten$Wert), min(Stoffdaten$Wert), max(Stoffdaten$Wert), max(Stoffdaten$BG),
length(Stoffdaten$Wert), length(which(Stoffdaten$Bezug_MW_BG=="FALSCH")), Grenzkriterium)
} else{
Ergebnis_n <-data.frame(Subst, mean(Stoffdaten$Wert), sd(Stoffdaten$Wert)/mean(Stoffdaten$Wert),
median(Stoffdaten$Wert), min(Stoffdaten$Wert), max(Stoffdaten$Wert), max(Stoffdaten$BG),
length(Stoffdaten$Wert), length(which(Stoffdaten$Bezug_MW_BG=="FALSCH")), Grenzkriterium)
Ergebnis <-rbind(Ergebnis, Ergebnis_n)}
j=j+1}

## Formatierung und Ausgabe der Ergebnistabelle
names(Ergebnis)<-c("Stoff","Mittelwert","Variationskoeff.,"Median","Min","Max","Max.
Bestimmungsgrenze","Anzahl (N)","Anzahl > BG","Grenzwert für Ausreißer")
write.csv2(Ergebnis, file = "Ergebnistabelle.csv", eol = "\n", na = "NA", row.names = FALSE)
```