

Diskussionsbeiträge: Abwasser

Abschätzung des Beitrages kommunaler Kläranlagen an Schadstoffkonzentrationen in Oberflächengewässern

Stefan Gartiser

Korrespondenzadresse: Stefan Gartiser, Hydrotox GmbH, Bötzingen Str. 29, D-79111 Freiburg

Zusammenfassung

Eine Reihe von Produkten wie Waschmittel oder Humanpharmaka gelangen hauptsächlich über kommunale Abwässer in die Hydrosphäre. Die zu erwartenden Umweltkonzentrationen (PEC) solcher Stoffe werden von der Eliminationsleistung der Kläranlagen und den Verdünnungsverhältnissen in den Vorflutern bestimmt. In diesem Beitrag werden überschlägige Berechnungen zum Abwasseranteil in deutschen Fließgewässern vorgestellt und Ansätze für ein komplexeres Modell zur Berechnung der PEC unter Berücksichtigung des Abflußregimes (Hoch- und Niedrigwasserabflüsse) aufgezeigt.

Schlagwörter: Abfluß; Abwasser; EDTA; Fließgewässer; Gemfibrozil; Kläranlagen, kommunale; Modell; Niedrigwasserabfluß; Nikotin; PEC (Predicted Environmental Concentrations); Umweltkonzentrationen

Abstract

A number of products, such as washing agents or pharmaceuticals, enter the hydrosphere mainly with municipal wastewater. In this case the predicted environmental concentrations (PEC) of substances are largely determined by their elimination in municipal wastewater treatment plants and by the dilution ratio of wastewater in the rivers. In this article some rough estimates of the wastewater ratio in German rivers are presented and as a starting point for a more complex model for calculating the PEC more exactly, data on the fluctuation of river flow rates are shown.

Keywords: EDTA; environmental concentrations; flow rate; Gemfibrozil; low flow rate; model; Nicotine; PEC (Predicted Environmental Concentrations); river; sewage, municipal; wastewater

1 Einleitung

Die ökologische Risikobewertung von Xenobiotika in einem Umweltkompartiment beruht auf dem Vergleich zu erwartender Umweltkonzentrationen (Predicted Environmental Concentration, PEC) mit den Konzentrationen, bei denen Wirkungen auf Organismen ausgeschlossen werden (Predicted No Effect Concentration, PNEC). Prinzipiell führen zwei Wege zu einer Abschätzung der PEC: die Auswertung chemisch-analytischer Untersuchungen (Monitoring) oder die rechnerische Abschätzung auf Basis der freigesetzten Menge über die Auswertung von Produktionsdaten und Anwendungsbereichen unter Berücksichtigung von Eliminations- und Verdünnungsfaktoren. Das Monitoring erfaßt naturgemäß nur Stoffe, die bereits in die Umwelt gelangt sind und stößt im Spurenbereich und bei Metaboliten schnell an praktikable Grenzen. Eine vorausschauende Risikobewertung für neue Stoffe ist allein über eine rechnerische Ermittlung der PEC möglich.

Eine Reihe von Produkten wie Wasch- und Reinigungsmittel aber auch Humanpharmaka [1] gelangen nach dem Gebrauch nahezu vollständig in das Abwasser. In diesem Fall sind kommunale Kläranlagen die Schnittstelle zwischen den Anfallstellen und den Oberflächengewässern.

Sind die Eliminationsraten in kommunalen Kläranlagen sowie die Verdünnungsfaktoren des kommunalen Abwassers mit Oberflächenwasser bekannt, können die PEC anhand der von der EU vorgeschlagenen Formel [2] abgeschätzt werden:

$$\text{PEC [g/l]} = \frac{A \times (100-E)}{365 \times P \times V \times D \times 100}$$

wobei A der Verbrauch in kg/a
E die Elimination in %
P die Anzahl der Einwohner
V das Abwasservolumen pro Einwohner in m³/d (rd. 0,15 bis 0,2 m³/d)
und D der Verdünnungsfaktor mit Oberflächenwasser (durchschnittlich Faktor 10)
bedeuten.

Die Elimination in kommunalen Kläranlagen kann entweder durch Simulationstests in Laborkläranlagen (sowie hilfsweise im Zahn-Wellens-Test) oder durch geeignete Rechenmodelle [3] näherungsweise bestimmt werden. In Ermangelung detaillierter Daten wird das Verdünnungsverhältnis 1 : 10 für das kommunale Abwasser mit Oberflächenwasser in Mit-

teleuropa zugrunde gelegt [2]. Die in den Statistiken der Wasserwirtschaftsverwaltungen vorliegenden Daten über Abwasseranfall und Oberflächenabfluß wurden bisher nicht für die Differenzierung der Verdünnungsfaktoren in räumlicher und zeitlicher Hinsicht verwendet. Dieser Beitrag zeigt, wie die hydrologischen Abflußdaten und Statistiken für ein komplexes Modell zur Abschätzung des Abwasseranteils in Fließgewässern der BRD verwendet werden können. Anhand von Beispielsrechnungen zu Gemfibrozil, Nikotin und EDTA werden die so ermittelten PEC mit Monitoringdaten verglichen.

2 Datengrundlage und -verknüpfung

2.1 Abschätzung des Abwasseranteils in Fließgewässern

Das Statistische Bundesamt veröffentlicht im vierjährigen Abstand grundlegende Daten zur öffentlichen Abwasserbeseitigung [4]. Danach wurden im Jahr 1991, für das die aktuellste Auswertung vorliegt, rd. 8,5 Mrd. m³ Abwasser, entsprechend 270 m³/s, in insgesamt 9935 öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen gereinigt. Hiervon sind 45% häusliches Schmutzwasser, 39% Fremd- und Regenwasser sowie 16% gewerbliches Schmutzwasser (→ *Tabelle 1*). Die für die verschiedenen Einzugsgebiete dokumentierten Jahresabflüsse wurden umgerechnet und sind in *Tabelle 2* wiedergegeben.

Die Zuflüsse in die und die Abflüsse aus der BRD werden vom Statistischen Bundesamt unter Verwendung der Erhebungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde dokumentiert. Die aktuellsten Daten für das Jahr 1992 sind in *Tabelle 2* wiedergegeben [5]. Die Differenzen der Zu- und Abflüsse an den Landesgrenzen entsprechen den Nettoabflüssen vom Gebiet der BRD. Bei den deutschen Hauptfließgewässern (Donau, Elbe, Rhein) stammen demnach 40 bis 60% der Gesamtabflüsse aus dem benachbarten Ausland. Für die Oder (Grenzfluß) liegen noch keine Daten vor. Auch zum Anteil kommunaler Abwässer in den Zuflüssen kann derzeit keine Aussage getroffen werden. Insgesamt ist der Abwasseranteil in den Fließgewässern der niederschlagsreichen Alpenanrainerstaaten geringer als in Deutschland, so daß die Zuflüsse insgesamt zu einer Verdünnung des kommunalen Abwassers in den Fließgewässern führen. Die Nettoabflüsse von Donau, Rhein und Elbe vom Gebiet der BRD (→ *Tabelle 2*) geben jedoch erste Hinweise auf die Situation in den entsprechenden Nebenflüssen.

Summarisch beträgt der Abwasseranteil in den einzelnen Hauptflüssen ohne Berücksichtigung der Zuflüsse aus dem Ausland zwischen 5% in der Donau und 21% in der Maas. Auf das gesamte Gebiet der BRD bezogen ergibt sich ein durchschnittlicher Abwasseranteil von 10%, der exakt dem Verdünnungsfaktor der EU-Formel entspricht.

Tabelle 1: Abwassereinleitung aus kommunalen Kläranlagen im Jahr 1991 in Mio. m³

Einzugsgebiet	Donau	Rhein	Maas	Ems	Weser	Elbe	Küste/Issel	Oder	Summe
Abwasser insgesamt	1103,2	4582,9	212,5	216,3	784,5	1281,6	289,5	41,5	8512,0
davon Fremd- und Regenwasser	459,2	2192,3	86,0	65,6	268,5	219,9	59,8	3,2	3354,5
davon häusliches Schmutzwasser	420,5	1776,2	88,0	108,9	407,4	803,7	166,7	24,2	3795,6
davon gewerbliches Schmutzwasser	223,5	614,5	38,5	41,7	108,6	258,0	63,1	14,1	1362,0
An kommunale Kläranlagen angeschlossene Einwohner * 10 ³	7468,3	32559,2	1632,7	2188,7	7807,8	13367,5	3031,9	431,9	68488,0

Quelle: Statistisches Bundesamt Fachserie 19, Reihe 2., Febr. 1995 [4], verändert
Maas=Summe der Abwässer von Rur, Schwalm und Niers.

Tabelle 2: Abflußbilanz der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 1991

	Donau	Rhein	Maas	Ems	Weser	Elbe	Küstel/Issel	Oder	Summe
mittlerer Zufluß in die BRD in m ³ /s	579	1225				253		nicht bekannt	2057
mittlerer Abfluß aus der BRD in m ³ /s	1346	2043	32	111	347	610	201	11	4701
Abfluß vom Gebiet der BRD in m ³ /s	767	818	32	111	347	357	201	11	2644
Gesamteinleitung aus kommunalen Kläranlagen in m ³ /s	35	145	7	7	25	41	9	1	270
Anteil Abwasser am MQ inkl. der Zuflüsse in die BRD	3%	7%				7%		nicht bekannt	6%
Anteil Abwasser am MQ vom Gebiet der BRD	5%	18%	21%	6%	7%	11%	5%	12%	10%

Quellen: Statistisches Bundesamt Fachserie 19: Umweltökonomische Gesamtrechnungen, August 1994 [5]
Statistisches Bundesamt Fachserie 19, Reihe 2., Febr. 1995 [4], umgerechnet
MQ = mittlerer Abfluß im Jahr 1992, bezogen auf das Gesamteinzugsgebiet des jeweiligen Flußgebietes

2.2 Berücksichtigung des Abflußregimes

Die oben berechneten Verdünnungsfaktoren entsprechen den Verhältnissen bei mittlerem Abfluß (MQ). Die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse und das Auftreten von Hoch- und Niedrigwasserperioden (= Abflußregime) finden hierbei keine Berücksichtigung. Die Abflüsse werden an bestimmten Gewässerpegeln kontinuierlich gemessen, ausgewertet und die Daten in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern veröffentlicht [6]. Aus langjährigen Zeitreihen lassen sich neben den mittleren Abflüssen (MQ) weitere Abflußkennwerte wie der mittlere jährliche Niedrigwasserabfluß (MNQ) und der mittlere jährliche Hochwasserabfluß (MHQ) ablesen. Der MNQ bzw. der MHQ entspricht den niedrigsten bzw. höchsten Tageswerten, die im langjährigen Durchschnitt einmal pro Jahr zu erwarten sind.

In Tabelle 3 sind die Kennwerte einiger Pegel der Hauptfließgewässer wiedergegeben. (Hierbei sind Zuflüsse aus dem Ausland naturgemäß enthalten.) Die Auswahl der Pegel erfolgte so, daß der größt mögliche Teil der jeweiligen Einzugsgebiete erfaßt wird (→ Abb. 1)¹. Aus den mittleren Dauerlinien (Summenkurven, die angeben an wieviel Tagen im Jahr bestimmte Abflußwerte unterschritten werden) können weitere Kennwerte extrapoliert werden: der Median (Abfluß der an 183 Tagen im Jahr bzw. an 50% der Tage unterschritten wird) sowie das 10%-Perzentil (Abfluß, der an 37 Tagen im Jahr unterschritten wird). In Abbildung 2 sind am Beispiel des Rhein-Pegels Rees die Zusammenhänge dargestellt.

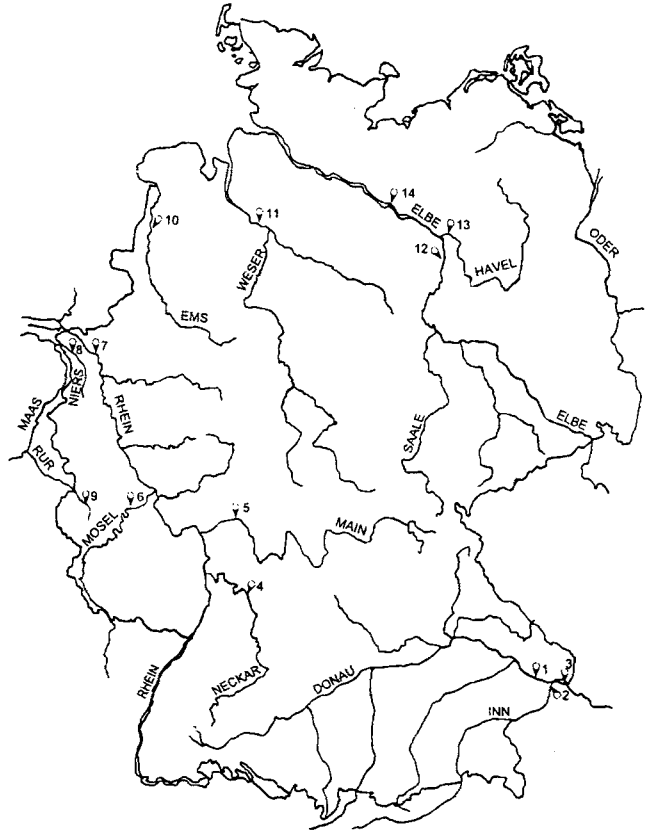


Abb. 1: Ausgewählte Abflußpegel deutscher Fließgewässer

Tabelle 3: Hauptwerte wichtiger Abflußpegel der Bundesrepublik Deutschland

Flußgebiet	Fluß	Pegel	Nr.	Zeitraum	MNQ	m3/s				in % von MQ			
						10% Perz.	Median	MQ	MHQ	MNQ	10% Perz.	Median	MHQ
Donau	Donau oberhalb Inn	Höfkirchen	1	1901/91	302	338	566	637	1870	47	53	89	294
	Inn	Passau Ingling	2	1921/91	269	326	619	735	2960	37	44	84	403
	Donau unterhalb Inn	Achleiten	3	1901/91	597	725	1300	1420	4150	42	51	92	292
Rhein	Neckar	Rockenau	4	1951/95	37	44	99	135	1200	27	33	73	889
	Main	Frankfurt	5	1966/93	60	69	138	187	939	32	37	74	502
	Mosel	Cochem	6	1931/91	60	75	195	311	2030	19	24	63	653
Maas	Rhein	Rees	7	1931/91	1030	1146	1990	2270	6570	45	50	88	289
	Niers	Goch	8	1951/91	3	4	7	8	21,8	43	52	86	282
	Rur	Stah	9	1961/91	13	14	18	22	88,5	57	63	80	397
Ems		Versen	10	1941/94	16	20	55	80	376	19	25	69	471
Weser		Intschede	11	1941/94	125	129	250	325	1250	38	40	77	385
Elbe	Saale	Calbe-Grizehne	12	1932/91	45	46	88	115	382	39	40	77	332
	Havel	Havelberg-Stadt	13	1981/93	20	31	101	105	220	19	30	96	210
	Elbe	Neu Darchau	14	1928/95	274	291	591	714	1870	38	41	83	262
									Mittel	36	42	81	404

Quellen: Gewässerkundliche Jahrbücher (siehe Text)

¹ Die Werte der Tabelle 2 können nicht direkt mit den Abflüssen aus dem gesamten Einzugsgebiet (→ Tabelle 1) verglichen werden, da sich die Pegel wegen der Rückstauproblematik oberhalb der Mündungsbereiche befinden. Über eine Flächengewichtung der Einzugsgebiete oder über die Verhältniszahlen von MQ zu MNQ bzw. MQ zu MHQ lassen sich die Abflüsse extrapolieren.

Unter ökologischen Gesichtspunkten ist der mittlere Abfluß (MQ) nicht der wichtigste Wert, um das Abflußverhalten zu beschreiben. Der MQ wird im Jahresgang aufgrund der links-schiefen Verteilung der Abflüsse meist unterschritten. Die Mediane bzw. die Abflüsse, die an 50% der Tage unterschrit-

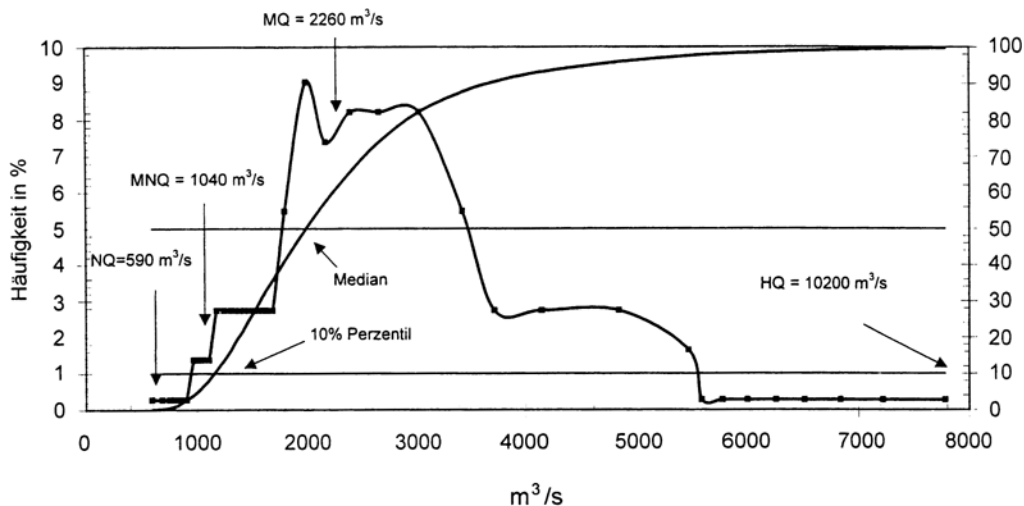


Abb. 2: Hydrologische Hauptwerte Rhein-Pegel-Rees

ten werden, betragen größenordnungsmäßig 70-90% der Wassermenge der entsprechenden MQ (\rightarrow Tabelle 2). Für die aquatischen Organismen sind jedoch die PEC, die bei Niedrigwasserabflüssen auftreten, von Bedeutung. Das Technical Guidance Document der EU für die Risikoabschätzung von Stoffen schreibt daher vor, daß auch die 10%-Perzentile der Abflüsse in den Berechnungen berücksichtigt werden sollen [7]. Die im langjährigen Durchschnitt einmal pro Jahr zu erwartenden Niedrigwasserabflüsse (MNQ) reichen von 19% (Mosel mit geringem Grundwasserspeicher des im Rheinischen Schiefergebirge eingeschnittenen Flusses) und 57% (Rur mit geregelter Abfluß und höherem Grundwasserabfluß aus Braunkohletagebau). Da der Abwasserabfluß aus kommunalen Kläranlagen als weitgehend konstant angenommen werden kann, verdoppeln bis verfünffachen sich somit die PEC der über Kläranlagen eingetragenen Stoffgruppen. Die 10%-Perzentile der Abflüsse liegen um 10 - 30% über den entsprechenden MNQ.

In einigen Fließgewässern besteht der Hauptteil des Niedrigwasserabflusses aus gereinigtem kommunalem Abwasser: Der Abwasseranteil des Neckars (24 m³/s Abwasser, umgerechnet nach [4]) entspricht 64% des MNQ von 37 m³/s; beim Main stammen rd. 40% des MNQ aus kommunalen Kläranlagen (25 m³/s, umgerechnet nach [4]). Generell besteht die Tendenz, daß Abflußschwankungen in Nebenflüssen und kleineren Fließgewässern stärker ausgeprägt sind.

3 Beispielrechnungen

3.1 Gemfibrozil

Der Gesamtverbrauch des Lipidsenkers Gemfibrozil in der Bundesrepublik Deutschland wird mit 16 Mio. verordnete Tagesdosen (ohne Krankenhäuser) angegeben [8]. Bei einer Tagesdosis von 1,2 g gelangen demnach 19,2 t pro Jahr über Patientenausscheidungen in das kommunale Abwasser. Etwa 70% werden unverändert ausgeschieden, 30% in metaboli-

zierter Form [9]. Über die in den jeweiligen Flußsystemen an kommunale Kläranlagen angeschlossene Einwohnerzahl errechnen sich ohne Berücksichtigung von Eliminationsfaktoren Gemfibrozilkonzentrationen im Zulauf der Kläranlagen von 1,9 bis 2,9 mg/l. Demgegenüber wurden von Stumpf et al. (1996) im Ablauf von 39 kommunalen Kläranlagen rd. 0,3 µg/l (Median) bestimmt [10]. Dem entspricht eine prognostizierte Elimination von 80 - 90%. Diese Größenordnung wird durch eigene Untersuchungen zur CSB-Elimination von Gemfibrozil im Zahn-Wellens-Test bestätigt: Dort hydrolysierte das schwer wasserlösliche Gemfibrozil innerhalb von zwei Tagen unter den Testbedingungen und wurde dann innerhalb von 7 Tagen zu 90% und innerhalb von 14 Tagen zu 98% abgebaut [11].

Die prognostizierten Konzentrationen in Fließgewässern schwanken bei Annahme einer 90%igen Elimination in kommunalen Kläranlagen zwischen 5 ng/l (Donau) bis 45 ng/l (Maas), bezogen auf den MQ. Die gemessenen Konzentrationen in verschiedenen Fließgewässern lagen meist unter der Bestimmungsgrenze von 5 ng/l (Rhein vom Bodensee bis zur holländischen Grenze, Neckar, Nidda, Mosel), in Gewässern mit hohem Abwasseranteil werden jedoch Werte über 100 ng/l erreicht (Ruhr bei Essen, Fulda bei Melsungen) [10]. In der Größenordnung stimmen die analytisch bestimmten Konzentrationen in Fließgewässern mit den Schätzwerten überein.

3.2 Nikotin

Der Zigarettenkonsum in der Bundesrepublik Deutschland beträgt rd. 1700 Zigaretten (bzw. 1,2 kg Tabak) pro Person und Jahr [12]. Tabak enthält rd. 1,5% wasserlösliches Nikotin. Bis zu 10% der aufgenommenen Nikotinmenge bzw. 0,1 mg/Zigarette wird unmetabolisiert mit dem Urin ausgeschieden. Schätzungsweise 2,5% der abgerauchten Zigarettenstummel gelangen über die Kanalisation in die Kläranlage und tragen rd. 2-3 mg Nikotin je Zigarettenstummel ein

[12]. Wiederum errechnet sich aus diesen Vorgaben ein Eintrag von rd. 19 t/a bzw. eine mittlere Nikotinkonzentration im Zulauf kommunaler Kläranlagen von rd. 2,5 µg/l. Ohne Berücksichtigung von Eliminationsfaktoren sind in den Oberflächengewässern Konzentrationen von rd. 50 ng/l (Donau), 140 ng/l (Rhein) bis 447 ng/l (Maas) bezogen auf den MQ zu erwarten. Die wenigen – aus den Niederlanden stammenden – Meßwerte belegen, daß Nikotin in einigen Oberflächengewässern nachgewiesen werden kann [13]. Die Mittelwerte lagen bei rd. 15 ng/l (Rhein bei Lobith) [14] bzw. bei rd. 80 ng/l (Meuse) [15]. Demnach beträgt die Elimination in kommunalen Kläranlagen mindestens 90%. Die verhältnismäßig hohen Nikotin-Einträge erklären, warum Nikotin trotz der leichten biologischen Abbaubarkeit (im Closed Bottle Test 82% in 28 d, vgl. [12]) in Oberflächengewässern nachweisbar ist.

3.3 EDTA

Der Komplexbildner EDTA wird in konventionellen Kläranlagen weder abgebaut noch adsorbiert er im größeren Umfang an den Belebtschlamm [16,17]. Die Produktionsmenge in der BRD wird für das Jahr 1994 mit rd. 4350 t/a angegeben, hiervon werden rd. 23% oder 1000 t/a in (gewerblichen) Wasch- und Reinigungsmitteln, 33% in der Fotobranche und der Rest überwiegend in der Galvanotechnik, und Zellstoffindustrie eingesetzt [28]². Unter der Annahme, daß insbesondere der in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzte Anteil für kommunale Kläranlagen relevant ist, errechnen sich wiederum Konzentrationen von rd. 130 mg/l im Zulauf kommunaler Kläranlagen und ohne Berücksichtigung von Eliminationsfaktoren Konzentrationen von 2,6 µg/l (Donau), 7,3 mg/l (Rhein) bis 24 mg/l (Maas) bezogen auf den MQ. Die gemessenen mittleren EDTA-Konzentrationen werden für das Jahr 1993 mit 11-12 µg/l (Donau bei Leipheim, Rhein bei Düsseldorf), 21 µg/l (Neckar bei Heilbronn, Main bei Bischoffsheim) bis 34 µg/l (Saar bei Saarbrücken) angegeben [20].

In der Größenordnung könnten das in Reinigungsmitteln eingesetzte EDTA die Konzentrationen in Oberflächengewässern erklären. Der für Oberflächengewässer relevante Anteil aus der Foto-, Galvano- und Zellstoffindustrie kann nicht abgeschätzt werden.

Aus den Beispielen wird deutlich, daß eine Abschätzung der PEC über die Verbrauchsmengen, die Eliminationsfaktoren und die Abflußverhältnisse in der Größenordnung die analytischen Meßwerte erklären können, insbesondere wenn man die hohe Variabilität der Abflüsse, die hier nicht mit berücksichtigt wurde, mit einbezieht. Durch einen Vergleich

der bilanzierten und gemessenen Konzentrationen können die Daten auf ihre Plausibilität hin überprüft werden. Als wichtigste Unbekannte ist zur Zeit noch der Anteil kommunaler Abwässer in den Zuflüssen aus dem Ausland zu klären.

4 Ausblick

Bei vielen der in Oberflächengewässern in höheren Konzentrationen nachgewiesenen Umweltchemikalien handelte es sich zunächst um Zufallsbefunde. So wurden Lipidsenker auf Basis der Clofibrinsäure im Rahmen der Routineprüfung auf Pflanzenschutzmittel erstmals im Berliner Flußwasser nachgewiesen [21,22]. Gleiches gilt für synthetische Moschusduftstoffe, die seit 1981 in Umweltproben nachgewiesen wurden [23]. Aufgrund der Verdünnungsverhältnisse sind meist aufwendige Analysemethoden zu entwickeln, mit denen diese Stoffe im Spurenbereich in Oberflächengewässern nachgewiesen werden können. Diese können unmöglich für alle relevanten Verbindungen etabliert und in die Routinemessungen integriert werden. Eine Berechnung der PEC über die EU-Formel unter Einbeziehung der Abflußstatistiken ermöglicht eine erste Abschätzung der PEC über die Produktions- bzw. Verbrauchsdaten.

Der Vergleich des Abwasseranfalls mit den Oberflächenabflüssen verdeutlicht, daß unsere Gewässer einer starken Nutzung und Bewirtschaftung unterliegen: Die Einträge über kommunale Kläranlagen, die rd. 270 m³/s gereinigtes Abwasser in die Vorfluter ableiten, dürfen nicht vernachlässigt werden. Aus der direkteinleitenden Industrie gelangen zusätzlich 56 m³/s vorbehandeltes Industrieabwasser und rd. 216 m³/s unbehandeltes Abwasser (überwiegend Kühlwasser) in die Fließgewässer [5].

Die hohe Aktualität des Themas wird durch das von Seiten der chemischen Industrie initiierte GREATER-Programm (Geography-referenced regional exposure assessment tool for European rivers) unterstrichen. Hier soll unter Einbeziehung der Abflußdaten sowie der Verteilungs- und Abbauprozesse ein räumliches und zeitliches Modell zur Berechnung von Konzentrationen anthropogener Chemikalien in Fließgewässern erstellt werden [24].

Danksagung

Frau E. URICH sei herzlich für die Darstellung der Gewässerpegel (Abbildung 1), Herrn Dr. SCHRÖDER (Henkel KGaA) sowie Herrn Dr. KUMMERER (Institut für Umweltmedizin und Krankenhaus-hygiene) für kritische Anmerkungen zum Manuskript gedankt.

Abflußkennwerte (Tagesmittel) in m³/s

- NQ: niedrigster an einem Pegel über eine längere Zeitspanne beobachteter Abflußwert.
- MNQ: mittlerer Niedrigwasserabfluß, der im langjährigen Durchschnitt einmal pro Jahr zu erwarten ist.
- 10%-Perz.: Abfluß, der im langjährigen Durchschnitt an 37 Tagen eines Jahres unterschritten wird.

² Es liegen jedoch widersprüchliche Verbrauchsdaten vor. So wurde der EDTA-Verbrauch in Reinigungsmitteln für das Jahr 1993 durch das Umweltbundesamt noch auf 2348 t geschätzt [18], die in der Photoindustrie eingesetzte Menge wird für 1991 mit rd. 337 t und für 1997 mit rd. 235 t angegeben [19].

Median: Abfluß, der im langjährigen Durchschnitt an 183 Tagen eines Jahres unterschritten wird (=50%-Perzentil).
 MQ: mittlerer Abfluß bzw. über eine längere Zeitspanne gemittelter Abfluß.
 MHQ: mittlerer Hochwasserabfluß, der im langjährigen Durchschnitt einmal pro Jahr zu erwarten ist.
 HQ: höchster an einem Pegel über eine längere Zeitspanne beobachteter Abflußwert.

5 Literatur

- [1] RÖMBKE, J., KNACKER, T.L., STAHLSCHEIDT-ALLNER, P. (1996): Umweltprobleme durch Arzneimittel; Forschungsbericht 106 04 121 an das Umweltbundesamt, UBA-Texte 60/96, Berlin
- [2] EU Draft Guideline III/5504/94: Assessment of potential risks to the environment for human use: Phase I environmental risk assessment; Ad hoc working party on environmental risk assessments for non GMO containing medical products, Draft
- [3] FEIJTEL, T., VITS, H., MURRAY-SMITH, R., VAN WIJK, R., SCHRÖDER, R., BIRCH, R., TEN BERGE, W. (1996): Fate of LAS in activated sludge wastewater treatment plants: a model verification study. *Chemosphere*, 32, S. 1413-1426
- [4] Statistisches Bundesamt (1995): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1991; Fachserie 19, Reihe 2.1, Wiesbaden
- [5] Statistisches Bundesamt (1994): Umweltökonomische Gesamtrechnungen – Basisdaten und ausgewählte Ergebnisse; Fachserie 19, Reihe 4, Wiesbaden
- [6] Deutsche Gewässerkundliche Jahrbücher (DGJ):
 - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): DGJ Rheingebiet Teil I (Hoch- und Oberrhein) 1995; Karlsruhe, Dez. 1996
 - Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): DGJ Rheingebiet Teil II (Main) 1993; München, Oktober 1997
 - Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): DGJ Rheingebiet, Teil III (Mittel- und Niederrhein mit deutschem Issel- und Maasgebiet) 1991; Essen, Januar 1996
 - Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): DGJ Donaugebiet 1991; München, Juli 1997
 - Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (Hrsg.): DGJ Weser- und Emsgebiet 1994; Hildesheim, 1997
 - Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt: DGJ Elbegebiet, Teil I (Von der Grenze bis zur Havelmündung) 1991; Halle, Juni 1996
 - Landesumweltamt Brandenburg: DGJ Elbegebiet, Teil II (Havel mit deutschem Odergebiet) 1993; Postdam, September 1996
 - Wirtschaftsbehörde der Freien Hansestadt Hamburg, Abt. Strom- und Hafengebäude (Hrsg.): DGJ Elbegebiet Teil III (Untere Elbe ab der Havelmündung) 1995; Hamburg, Dezember 1997
- [7] Technical Guidance Documents in Support of the Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Chemicals and the Commission Regulation (EC) 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances (1996)
- [8] SCHWABE, U., PAFFRATH, D. (1995): Arzneimittel-Report 95; Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- [9] SCHOLZ, H., SCHWABE, U. (Hrsg.) (1994): Taschenbuch der Arzneibehandlung; G. Thieme Verlag, Stuttgart
- [10] STUMPF, M., TERNES, T.A., HABERER, K., SEEL, P., BAUMANN, W. (1996): Nachweis von Arzneimittelrückständen in Kläranlagen und Fließgewässern; *Vom Wasser*, 86, S. 291-303
- [11] Hydrotex GmbH: Abbaubarkeit von Gemfibrozil im Zahn-Wellens-Test. Untersuchungsbericht im Auftrag der Gödecke AG; Freiburg (30.8.1996)
- [12] GARTISER, S., WILLMUND, R. (1996): Untersuchungen zum Verhalten von Tabakextrakt, Zigarettenstummeln und Nikotin in Kläranlagen; *Korrespondenz-Abwasser*, 11/96, S. 1991-1998
- [13] VAN GENDEREN, J., NOIJ, H.M., LEERDAM, J.A. (1994): Bestandsaufnahme und toxikologische Bewertung von organischen Mikroverunreinigungen; RIWA-Arbeitsgemeinschaft der Rhein- und Maaswasserwerke. Amsterdam
- [14] NOORDSIJ, A., VAN GENDEREN, A. (1991): De Rijn in Nederland, een analytisch-chemisch en toxicologisch onderzoek van het oppervlaktewater; KIWA-Rapport SWE 90.030, Nieuwegein
- [15] VAN LEERDAM, J.A. (1992): Onderzoek organische microverontreinigingen in spaarbekkens van het Watergewinningsbedrijf Brabantse Biesbosch in 1991. Rapport SWO 92.256; Nieuwegein (KIWA)
- [16] VAN GINKEL, C.G., VANDERBROUCKE, K.L., STROO, C.A. (1997): Biological removal of EDTA in conventional activated sludge plants operated under alkaline conditions; *Bioresource Technology* 59 (2-3), S. 151-155
- [17] ALLARD, A.-S., RENBERG, L., NEILSON, A.H. (1996): Absence of ¹⁴CO₂ evolution from ¹⁴C-labelled EDTA and DTPA and the sediment/water partition ratio; *Chemosphere* 33, S. 577-583
- [18] Umweltbundesamt (Hrsg.) (1995): Jahresbericht 1994; Jahresbericht
- [19] ANONYM (1998): Selbstverpflichtung für verbesserten Gewässerschutz der Fotobranche. *Umwelt Nr. 3*, S. 116-117
- [20] Hessische Landesanstalt für Umwelt (Hrsg.) (1997): Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe 1991-96; *Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz Heft 233*
- [21] HEBERER, T. (1995): Identifizierung und Quantifizierung von Pestizidrückständen und Umweltkontaminanten in Grund- und Oberflächengewässern mittels Kapillargaschromatographie-Massenspektroskopie; *Wissenschaft&Technik Verlag Berlin*
- [22] STAN, H.-J., HEBERER, T., LINKERHÄGNER, M. (1994): Vorkommen von Clofibrinsäure im aquatischen System – Führt die therapeutische Anwendung zu einer Belastung von Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser? *Vom Wasser* 83, S. 57-68
- [23] RIMKUS, G., BRUNN, H. (1996): Synthetische Moschusduftstoffe – Anwendung, Anreicherung in der Umwelt und Toxikologie; *Ernährungs-Umschau* 43, S. 442-449 u. 44, S. 4-9
- [24] FEIJTEL, T., BOEIJE, G., MATTHIES, M., YOUNG, A., MORRIS, G., GANDOLFI, C., HANSEN, B., FOX, K., HOLT, M., KOCH, V., SCHRÖDER, R., CASSANI, G., SCHOWANTEK, D., ROSENBLUM, J., NIESSEN, H. (1997): Development of a geography-referenced regional exposure assessment tool for European rivers – GREAT-ER; *Chemosphere* 34, S. 2351-2373

Eingegangen am: 10.07.1998
 Akzeptiert am: 24.08.1998