

Dr. Steffen Metzger, Imee O. Tjoeng, Annette Rößler und Gert Schwentner*

Kosten der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen – Erfahrungen aus Baden-Württemberg

Aufgrund der Entwicklung von immer feineren Analysemethoden kann heutzutage in den Gewässern eine Vielzahl an anthropogen bedingten Substanzen, wie beispielsweise Rückstände von Arzneimitteln, Röntgenkontrastmitteln oder Inhaltsstoffe aus Haushaltsreinigern, Lebensmitteln und Kosmetika, nachgewiesen werden¹. Da diese Substanzen in vergleichsweise geringen Konzentrationen, d.h. im Nano- bis Mikrogrammbereich, vorliegen, werden diese auch als Spurenstoffe bezeichnet. Von einigen dieser Stoffe ist bekannt, dass sie hormonelle oder toxische Eigenschaften besitzen. Nach jetzigem Kenntnisstand ist keine humantoxikologische Schädigung durch die Existenz der Spurenstoffe in den Gewässern gegeben. Allerdings belegen verschiedene Untersuchungen, dass Veränderungen im Organismus von aquatischen Lebewesen auf das Vorkommen von Spurenstoffen in den Gewässern zurückzuführen sind^{2,3}.

Kläranlagen als Eintragspfad

Ein Großteil der Spurenstoffe gelangt über die Kläranlagenabläufe in die Ge-

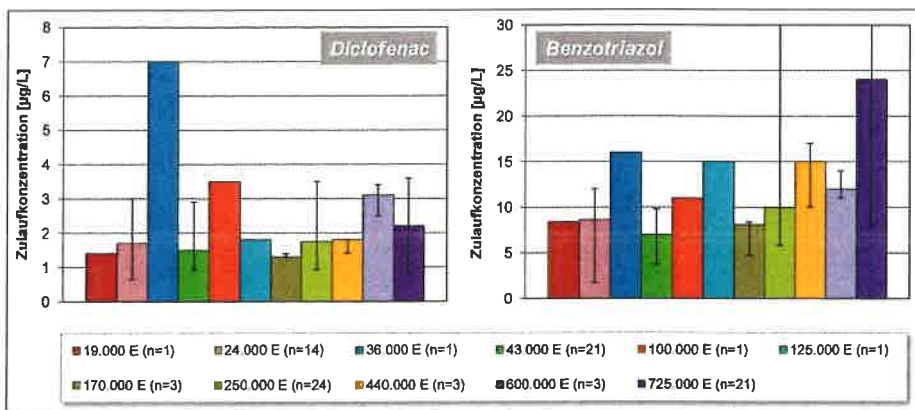


Abbildung 1 Konzentrationen von Diclofenac (Schmerzmittel) und Benzotriazol (Korrosionsschutzmittel) in der gelösten Phase im Zulauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg unterschiedlicher Größenordnung (mit Angabe von Min- und Max-Werten)

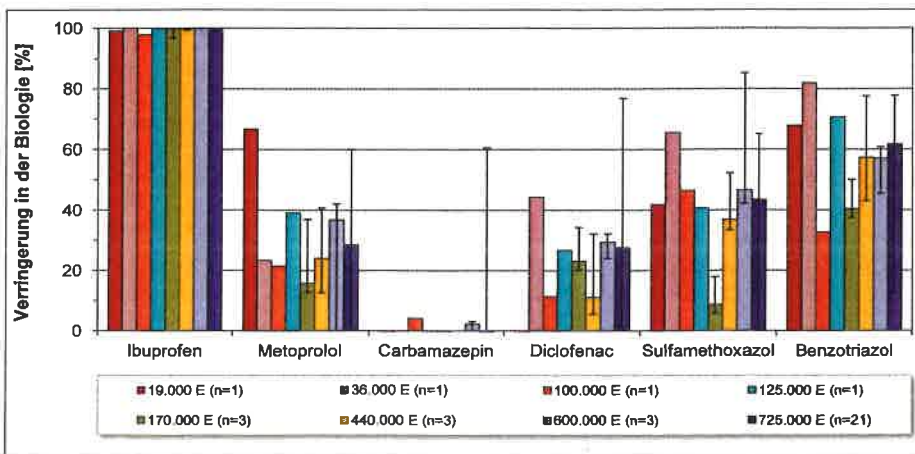
wässer. Da eine Vielzahl der in der Spurenstoffdiskussion angeführten Substanzen aus häuslicher Anwendung stammt, sind diese Stoffe im Abwasser aller kommunaler Kläranlagen, unabhängig ihrer Ausbaugröße, vorhanden (Abb. 1). Beispielsweise resultieren weit mehr als 80 Prozent der im Abwasser enthaltenen Arzneimittelrückstände aus der Anwendung in Haushalten⁴. Aber auch die industriellen und gewerb-

lichen Abwässer sind weitere Quellen für das Vorkommen von Spurenstoffen im Abwasser.

Eine Analyse des Rohzulaufs der Kläranlage Mannheim hat beispielsweise ergeben, dass in der gelösten Abwasserphase von 224 analysierten Arzneimittelwirkstoffen 81 quantitativ nachweisbar waren. Darüber hinaus konnten im Rohabwasser 5 Röntgenkontrastmittel, 8 Pestizidrückstände, 8 Stoffe aus Produkten der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie sowie 13 Industriechemikalien detektiert werden.

Die bestehenden Reinigungsstufen der kommunalen Kläranlagen können einzelne Substanzen, wie zum Beispiel das Schmerzmittel Ibuprofen zu mehr als 90 Prozent entfernen (Abb. 2). Die meis-

Abbildung 2 Eliminierung von verschiedenen Spurenstoffen in Kläranlagen unterschiedlicher Größenordnung



* Dr. Steffen Metzger, Imee O. Tjoeng M. Eng., Dipl.-Ing. Annette Rößler sind Mitarbeiter/-innen im Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Dipl.-Ing. Gert Schwentner ist Mitarbeiter beim Zweckverband Kläranlage Böblingen-Sindelfingen.

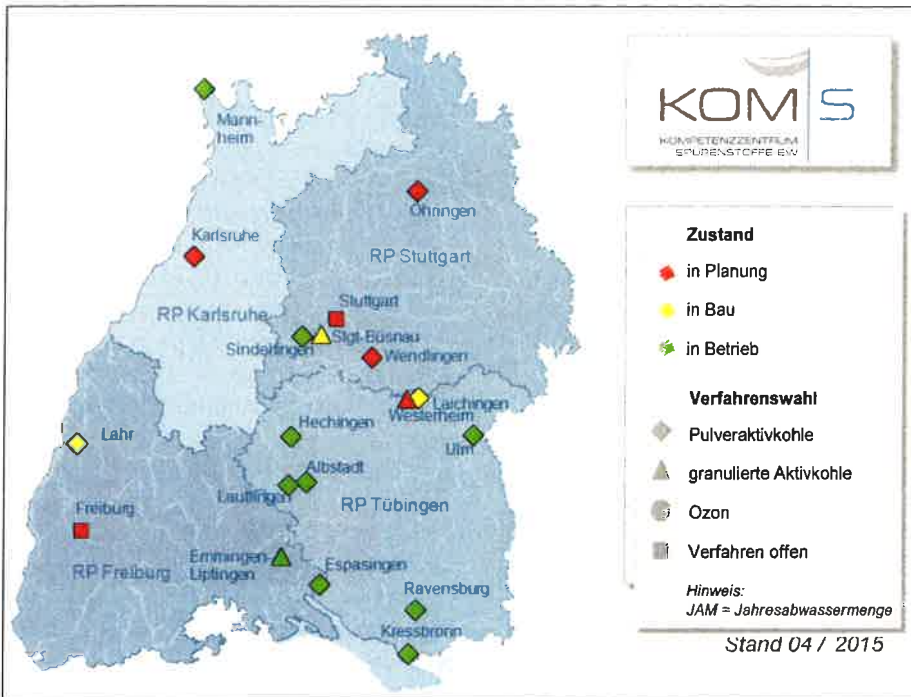
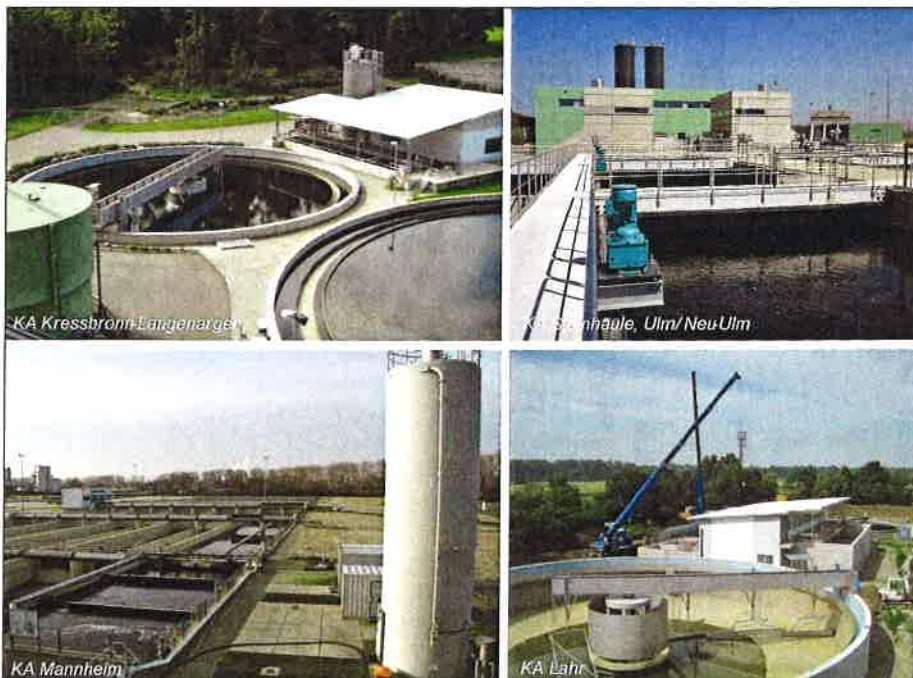


Abbildung 3
 Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg

ten Spurenstoffe werden jedoch mit den bisherigen Reinigungsverfahren einer Kläranlage, auch wenn sie dem Stand der Technik entspricht, nicht oder nur unzureichend eliminiert⁵.

In den vergangenen Jahren wurde daher im deutschsprachigen Raum eine Vielzahl von Untersuchungen zur Entwicklung geeigneter Reinigungsverfahren durchgeführt, um Spurenstoffe gezielt aus

Abbildung 4:
 Realisierte Adsorptionsstufen in Baden-Württemberg



Abbildungen: KOMIS

dem Abwasser entfernen zu können⁶. Als technisch umsetzbar haben sich für diesen Anwendungsfall bislang adsorptive Verfahren mit Einsatz von granulierter oder pulverförmiger Aktivkohle als auch die Anwendung von Ozon erwiesen⁷. Beide Stoffe finden im Übrigen bereits seit Jahrzehnten zur Aufbereitung von Trinkwasser Verwendung.

Umsetzung neuer Reinigungsverfahren in Baden-Württemberg

Bislang existieren keine gesetzlichen Vorgaben, die den Betrieb einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination zwingend erfordern. In Baden-Württemberg wurden in jüngster Zeit im Konsens zwischen Betreiber und Behörde dennoch mehrere Kläranlagen unterschiedlicher Größenordnung um eine zusätzliche Stufe zur Spurenstoffelimination erweitert. Weitere Anlagen befinden sich aktuell im Bau oder in der Planung. Nach Erweiterung aller in Abbildung 3 gezeigten Kläranlagen wird zukünftig etwa 20 Prozent des in Baden-Württemberg gereinigten Abwassers gezielt auf Spurenstoffe behandelt⁸.

Bei den meisten Kläranlagen in Baden-Württemberg wird derzeit Pulveraktivkohle zur Elimination der Spurenstoffe eingesetzt. Das zugehörige Verfahren wurde im Zeitraum 2004 bis 2010 von der Hochschule Biberach in Zusammenarbeit mit dem Zweckverband Klärwerk Steinhäule, Ulm, entwickelt. Hierbei wird dem biologisch gereinigten Abwasser Pulveraktivkohle in einem der Nachklärung nachgeschalteten Kontaktreaktor zudosiert. Unter Zuhilfenahme von Polymeren und Fällmittel wird die Aktivkohle im anschließenden Sedimentationsbecken abgesetzt und zur besseren Ausnutzung wieder in den Kontaktreaktor zurückgeführt. Die Aktivkohle verbleibt so mehrere Tage in dieser so genannten Adsorptionsstufe, bevor sie ausgeschleust und zur weiteren Beladung der biologischen Stufe zugegeben wird. Dort wird sie in die Flocken des belebten Schlamms eingebaut und letzten Endes zusammen mit dem Überschussschlamm aus dem System entfernt. Die unzureichende Abtrennung der Pulveraktivkohle



Abbildung: Friedrich Stampf, Fotoagentur

Abbildung 5
Kläranlage Böblingen-Sindelfingen⁹

le durch die Sedimentation erfordert es allerdings, dass als letzter Verfahrensschritt eine Filteranlage zur Sicherstellung eines nahezu feststofffreien Kläranlagenablaufs anzuordnen ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich für diese Aufgabenstellung sowohl konventionelle Sandfilter als auch ein Tuchfilter eignen. Abbildung 4 zeigt einige dieser neu realisierten Reinigungsstufen in Baden-Württemberg.

Bei einigen Anlagen wurde die adsorptive Reinigungsstufe nicht für die Behandlung der maximalen Zuflusswas-

sermenge bei Regenwetter ausgelegt, wie zum Beispiel auf der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen (Abb. 5), bei welcher der Regenwetterzufluss (2.000 L/s) im Vergleich zum Trockenwetterzufluss (600 L/s) besonders hoch ist. Da die Größe der Adsorptionsstufe und damit die Investitionskosten von dem zu behandelnden Abwasserstrom bestimmt wird, erfolgte hier die Bemessung der Adsorptionsstufe aus wirtschaftlichen Gründen nur für einen Abwasserstrom von 1.000 L/s. Demzufolge fließt bei Zulaufmengen von mehr als 1.000 L/s ein Teil des biologisch be-

handelten Abwassers direkt der Filteranlage des Klärwerks zu. Auswertungen haben ergeben, dass in allen Kläranlagen, bei denen die Stufe zur Spurenstoffelimination mindestens für die Behandlung des maximalen Trockenwetterzuflusses ausgelegt wurde, trotzdem rund 85 Prozent der jährlich der Kläranlage zufließenden Abwassermenge gezielt mit Aktivkohle behandelt wird.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Kenndaten der nachfolgend betrachteten Kläranlagen wie auch über die Realisierung der adsorptiven Verfahrenstechnik.

Reinigungsleistung

Analysen zeigen, dass mit einer Einsatzmenge von 10 mg/L Pulveraktivkohle die Konzentrationen der meisten Arzneimittelwirkstoffe wie zum Beispiel Metoprolol, Carbamazepin oder auch Diclofenac im heutigen Kläranlagenablauf zu etwa 80 Prozent vermindert werden können (Abb. 6). Ähnliche hohe Entfernungsraten ergeben sich für Benzotriazol. Lediglich Sulfamethoxazol wird mit der Verfahrenstechnik in einem weitaus geringeren Umfang eliminiert.

Auch wenn mit dem in Baden-Württemberg angewandten adsorptiven Verfahren nicht alle Spurenstoffe in hohem

Tabelle 1
Kenndaten der betrachteten Kläranlagen

Kläranlage	Kressbronn-Langenargen	Stockacher Aach	Lahr	Langwiese	Böblingen-Sindelfingen	Mannheim
Ausbaugröße	24.000 E	43.000 E	100.000 E	184.000 E	250.000 E	725.000 E
Belastung*	25.600 E	56.300 E	69.000 E	200.300 E	141.200 E	517.700 E
biologisch behandelte Jahresabwassermenge	2.300.000 m³	5.700.000 m³	6.100.000 m³	16.000.000 m³	14.500.000 m³	30.000.000 m³
Jahresschmutzwassermenge	1.520.000 m³	3.450.000 m³	3.800.000 m³	9.750.000 m³	8.900.000 m³	21.220.000 m³
gebührenfähige Abwassermenge	900.000 m³	1.500.000 m³	2.600.000 m³	5.200.000 m³	7.000.000 m³	21.000.000 m³
maximaler Zufluss bei Regenwetter	252 L/s	450 L/s	650 L/s	1.100 L/s	2.000 L/s	4.000 L/s
Adsorptionsstufe						
Q _{max, Ads-stufe}	252 L/s	250 L/s	350 L/s	1.100 L/s	1.000 L/s	300 L/s 1.500 L/s
Jahr der Inbetriebnahme	2011	2012	2014	2013	2011	2010 2015
Ausführung	Neubau	Neubau	Neubau	Neubau	Neubau	Benutzung bestehender Becken
Volumen Kontaktreaktor	552 m³	852 m³	1.030 m³	3.750 m³	1.800 m³	740 m³ 3.700 m³
Volumen Sedimentationsbecken	2.540 m³	924 m³	3.550 m³	8.500 m³	7.200 m³	2.350 m³ 11.750 m³

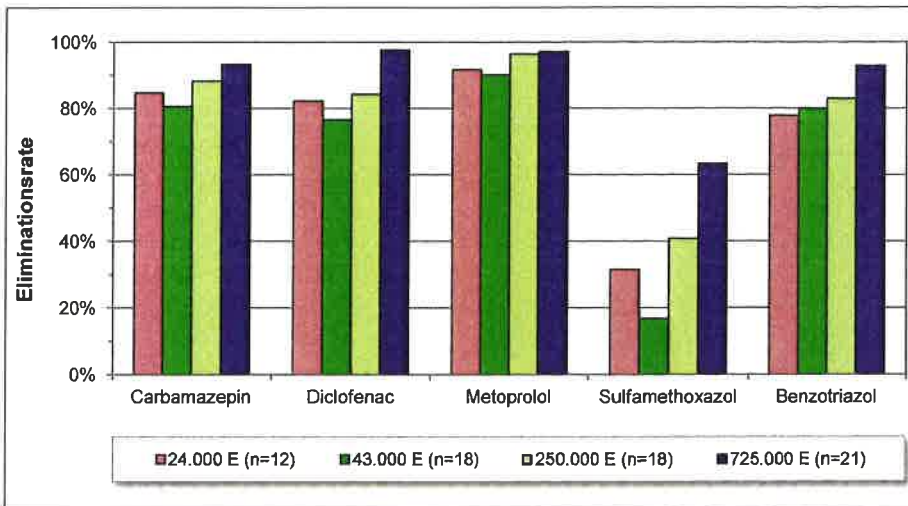


Abbildung 6
Entnahme ausgewählter Spurenstoffe in der Adsorptionsstufe bei einer Pulveraktivkohledosierung von 10 mg/L

nik neben der Spurenstoffentfernung weitere Reinigungseffekte erlangt werden können: So führt der Einsatz von Pulveraktivkohle zu einer Minderung der gelösten Restorganik von rund 30 bis 40 Prozent. Die verfahrensbedingte Notwendigkeit der Fällmittelzugabe innerhalb der Adsorptionsstufe sowie vor dem anschließenden Filter bedingt eine zusätzliche P-Eliminierung, so dass im Kläranlagenablauf typischerweise P_{ges} Werte von unter 0,3 mg/L vorliegen. Die Notwendigkeit einer weitestgehenden Feststoffabtrennung führt unweigerlich zu einer Verminderung des Eintrags von Partikeln und somit von partikulär bedingten Stoffen wie beispielsweise Schwermetallen in die Gewässer.

Umfang entfernt werden können, so zeigen Messungen, dass bereits mit 10 mg/L Pulveraktivkohle die estrogene Wirkung des Abwassers gegenüber der herkömmlichen Kläranlagenablaufqua-

lität im Mittel um über 80 Prozent vermindert wird.

Des Weiteren gilt es zu beachten, dass mit der angewandten Verfahrenstech-

Kosten der verbesserten Reinigungsleistung

Für die Realisierung einer Adsorptionsstufe sind neben zusätzlichen Beckenvolumina und klärtechnischen Einrichtun-

Tabelle 2
Kosten der Adsorptionsstufe

Gliederung der Kosten	Dimension	Adsorptionsstufe der Kläranlage					
		Kressbronn-Langenargen	Stockacher Aach	Lahr	Langwiese	Böblingen-Sindelfingen	Mannheim
gebührenfähige Abwassermenge	m³/a	900.000	1.500.000	2.600.000	5.200.000	7.000.000	21.000.000
behandelte Abwassermenge Kläranlage	m³/a	2.300.000	5.700.000	6.100.000	16.000.000	14.500.000	30.000.000
behandelte Abwassermenge Adsorptionsstufe	m³/a	900.000	4.800.000	5.185.000	16.000.000	12.200.000	25.500.000
Herstellungskosten	€	3.020.000	3.360.000	5.630.000	9.973.000	4.300.000	6.771.000
Fördermittel	€	1.730.000	2.016.000	2.160.000	4.851.000	2.100.000	1.354.000
Kapitalkosten	€/a	81.006	80.220	234.417	298.695	119.883	425.358
Betriebsmittelkosten	€/a	45.311	94.562	102.147	315.207	240.345	502.360
Personalkosten	€/a	25.000	25.000	50.000	32.500	32.500	50.000
Stromkosten	€/a	20.400	26.600	45.400	52.000	41.200	200.000
Entsorgungskosten	€/a	11.040	23.040	24.888	76.800	58.560	122.400
Analysekosten	€/a	6.000	6.000	6.000	12.000	12.000	12.000
Instandhaltungskosten	€/a	15.100	16.800	28.150	49.865	21.500	33.855
Abwasserabgabe	€/a	/. 29.000	/. 55.000	/. 115.000	/. 36.500	/. 28.000	/. 153.000
Betriebskosten	€/a	93.851	137.002	141.585	501.872	378.105	767.615
Gesamtkosten:	€/a	174.857	217.222	376.002	800.566	497.988	1.192.973
Gebührenerhöhung:	€/m³	0,19	0,14	0,14	0,15	0,07	0,06
spez. Gesamtkosten je Einwohner:	€/a	7,77	5,79	5,78	6,16	2,85	2,27

gen wie Pumpwerke und Räumler auch Dosieranlagen für Aktivkohle und Fällungs-/Flockungsmittel erforderlich. Die Höhe der Investitionskosten ist in erster Linie von der Auslegungsgröße der Adsorptionsstufe (z.B. behandelte Wassermenge, Vollstrom/Teilstrom) und von den jeweiligen örtlichen Verhältnissen (z.B. Anbindung an vorhandene Anlage, Baugrund, Nutzung bestehender Anlagenteile) abhängig. Die Investitionskosten fließen nicht unmittelbar, sondern als Kapitalkosten, zusammengesetzt aus Zins und Abschreibung, in die Abwassergebührenkalkulation ein. Gewährte Fördermittel vermindern die Kreditaufnahme und somit die Zinslast. Da die Investitionen in voller Höhe in die Abschreibung eingehen, werden die Fördermittel über die Abschreibungsdauer aufgelöst, d.h. gebührenmindernd in Abzug gebracht.

In Tabelle 2 sind neben den Kapitalkosten auch die Betriebskosten für die Spurenstoffelimination von sechs verschiedenen Kläranlagen in Baden-Württemberg zusammengestellt. Bei diesen Anlagen ist die Stufe zur Spurenstoffelimination bereits in Betrieb bzw. im Bau. Die Tabelle enthält nur die Kosten für die Adsorptionsstufe. Die Kosten der erforderlichen Filteranlagen sind in der Kalkulation nicht enthalten, da diese auf den meisten der betrachteten Kläranlagen bereits vorhanden waren.

Die Betriebskosten der Adsorptionsstufe setzen sich aus mehreren Einzelposten zusammen (Tab. 2). Den größten Anteil haben die Beschaffungskosten der Aktivkohle (Betriebsmittelkosten). Alle anderen Kostenarten, wie zum Beispiel Personalkosten, Energiekosten, Entsorgungskosten usw. liegen deutlich darunter. Fortdauernde Einsparungen ergeben sich bei der Abwasserabgabe durch die Verbesserung der Reinigungsleistung.

Aus den aufsummierten Kapital- und Betriebskosten und der gebührenfähigen Abwassermenge wurde die auf die Adsorptionsstufe entfallende Gebührenerhöhung berechnet. Diese bewegt sich in Abhängigkeit der Auslegungs-

größe der Adsorptionsstufe zwischen 0,06 €/m³ und 0,19 €/m³. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Trinkwasserverbrauch von rund 40 m³ je Einwohner resultiert daraus für die gezielte Spurenstoffelimination, unter Berücksichtigung der gewährten Fördermittel, eine jährliche Mehrbelastung eines Einwohners zwischen 2,27 und 7,77 Euro.

Fazit

Kläranlagen sind ein Haupteintragspfad für die in den Gewässern vorgefundenen Spurenstoffe, da die meisten dieser Substanzen, trotz des hierzulande hohen Niveaus der Abwasserreinigung, nicht oder nur unzureichend aus dem Abwasser entfernt werden. Veränderungen im Organismus von aquatischen Lebewesen wurden bereits in mehreren wissenschaftlichen Untersuchungen nachgewiesen. Durch den Einbau einer Adsorptionsstufe sind Kläranlagen in der Lage, eine Vielzahl von Spurenstoffen weitgehend zurückzuhalten.

Die dabei entstehenden Mehrkosten bewegen sich, soweit ein Filter bereits vorhanden ist, zwischen rund 2,30 und knapp 8 Euro je Einwohner und Jahr. Gemessen an den mittleren jährlichen Gesamtkosten der Abwasserbeseitigung von 143 Euro je Einwohner¹⁰ führt der Betrieb einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination in den dargestellten Beispielen zu einem Gebührenanstieg von weniger als 5 Prozent. Der Bau eines Filters schlägt darüber hinaus mit einem jährlichen Gebührenanstieg in Höhe von zirka 10 Euro zu Buche.

Die Spurenstoffproblematik in den Gewässern wird von der Bevölkerung vermehrt mit einem spürbaren Unbehagen wahrgenommen. Die Erkenntnis wächst, dass, trotz der noch nicht in allen Facetten erforschten Spurenstoffproblematik die Realisierung eines Verfahrens zur Spurenstoffelimination eine lohnende Investition in den vorsorgenden Gewässerschutz und in unsere Zukunft ist. ■

Fußnoten

- 1 LUBW, 2014: Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/243039/> (abgerufen am: 06. Mai 2015).
- 2 Triebkorn, R., 2012: Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen: Monitoring vor Inbetriebnahme der Adsorptionsstufe auf der Kläranlage Langwiese. Abschlussbericht an das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, UVM-Vorhaben-Nr. 306/2010. Tübingen.
- 3 Knörzer, B., Pfluger, P., Wasserrab, B. & Dietrich, D. R., 2000: Entwicklung und Validierung von in vitro Prüfsystemen zum Nachweis von endokrin wirksamen Fremdstoffen: Chemisch-analytische Überprüfung und biologischer Nachweis von potenziell endokrin wirksamen Stoffen in ausgewählten Kläranlagenausläufen bzw. Vorflutern Baden-Württembergs. Zwischenbericht des BWPLUS-Programms.
- 4 Jekel, M., 2010: Verminderung von organischen Spurenstoffen im Abwasserbereich zur Gewässerentlastung. Vortrag im Rahmen des Symposiums Aktivkohle, veranstaltet von dem DWA Landesverband Baden-Württemberg am 23./24. Juni 2010 in Mannheim. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.
- 5 Vgl. Fußnote 1 und DWA-Themenband: Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen, T3/2015
- 6 Metzger, S. (2010): Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Dissertation an der TU Berlin. Oldenbourg Industrieverlag GmbH.
Abegglen, C., Escher, B., Hollender, J., Koepke, S., Ort, C., Peter, A., Siegrist, H., von Gunten, U., Zimmermann, S., Koch, M., Niederhauser, P., Schäfer, M., Braun, C., Gälli, R., Junghans, M., Brocker, S., Moser, R., Rensch, D., 2009: Ozonung von gereinigtem Abwasser – Schlussbericht Pilotversuch Regensodfr. Eawag, AWEL, BAFU, BMG, Hunziker Betatech.
Böhler, M., Zwickenpflug, B., Grasse, M., Behl, M., Neuenschwander, S., Siegrist, H., Dorusch, F., Hollender, J., Sinnet, B., Ternes, T., Fink, G., Liebi, C., Wullschleger, W., 2011: Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon. Abschlussbericht. Eawag, Dübendorf.
- 7 Abegglen, C., Siegrist, H., 2012: Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214.
- 8 Maier, U., 2015: Spurenstoffe – Handlungskonzept in Baden-Württemberg. Vortrag im Rahmen der Abschlussveranstaltung des BMBF-Verbundprojekts SchussenAktivplus am 22./23. April 2015 in Langenargen.
- 9 Bildquelle: Friedrich Stampe, Fotoagentur.
- 10 DWA: Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung, Ausgabe 2014, http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/StOeP/DWA_Wirtschaftsdaten_2014.pdf (abgerufen am: 06. Mai 2015).