KOMPETENZZENTRUM
SPURENSTOFFE-BW

Den Stoffen auf der Spur

Projektmappe
Baden-Württemberg

www.koms-bw.de

KOMPETENZZENTRUM
SPURENSTOFFE-BW

Den Stoffen auf der Spur

Wir über uns
Baden-Württemberg

www.koms-bw.de

Aufgaben & Ziele des KomS

- **Unterstützung für Betreiber von Kläranlagen** bei der Einführung und Betreuung von Technologien zur Spurenstoffelimination sowie bei deren Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle
- **Etablierung und Weiterentwicklung von Verfahren** zur Spurenstoffelimination
- **Wissenstransfer** zwischen allen Beteiligten im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung: Betreiber von Kläranlagen, Behörden, Ingenieurbüros, wissenschaftliche Fachkreise sowie der Industrie und Fachverbände
- **Förderung der technologischen Umsetzung** von Eliminationsverfahren
- **Aufklärung und Bewusstseinsbildung** zum Thema ›Spurenstoffe und deren Auswirkungen auf die Umwelt‹ auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse

Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg

Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg widmet sich dem Wissensaufbau und -transfer rund um das Thema Spurenstoffe und deren Elimination aus dem Abwasser. Es versteht sich darüber hinaus als Plattform für den Informations- und Erfahrungsaustausch bei der verfahrenstechnischen Umsetzung. Das KomS ist eine Kooperation zwischen der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg und wird gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg.

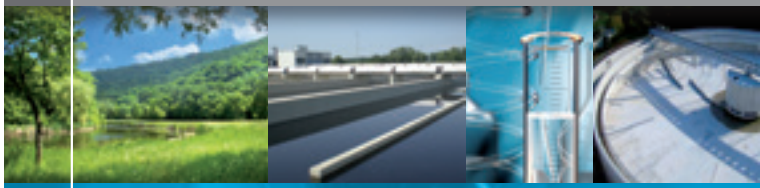
Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg
KomS – Wissenserarbeitung und -auswertung, Beratung und betriebliche Unterstützung durch die Universität Stuttgart und die Hochschule Biberach
c/o Universität Stuttgart
Leiterin: Dr. Ing. Marie Launay
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart
Telefon: 0711. 685-65420
Telefax: 0711. 685-63729
E-Mail: info@koms-bw.de

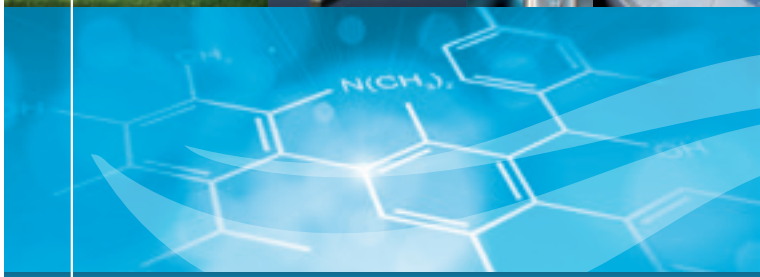
KomS – Kommunikation und Veranstaltungen im DWA-Landesverband
c/o DWA-Landesverband Baden-Württemberg
Tobias Reinhardt, Geschäftsführer
Rennstraße 8, 70499 Stuttgart
Telefon: 0711. 896631-0
Telefax: 0711. 896631-111
E-Mail: dwa@koms-bw.de
www.koms-bw.de

Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg ist keine juristische Person. Alle drei Kooperationspartner handeln jeweils in eigenem Namen und auf eigene Rechnung.

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Den Stoffen auf der Spur





Kompetenzzentrum Spurenstoffe – KomS Baden-Württemberg

Spurenstoffe und ihre Elimination aus dem Abwasser
Wissens- und Technologietransfer – Erfahrungsaustausch – Bewusstseinsbildung

KomS Baden-Württemberg – dreifach gut

DWA Landesverband Baden-Württemberg
Universität Stuttgart
HBC. Hochschule Biberach

Gefördert durch:
Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

www.koms-bw.de

Was ist der Hintergrund?

Eine **Vielzahl an synthetischen Rückständen** – aus Arzneimitteln, Haushaltschemikalien und Pflegemitteln, Nahrungsergänzungsstoffen u. a. – **belastet unser Abwasser**. Dank weiterentwickelter Analyseverfahren lassen sich diese Mikroverunreinigungen immer differenzierter nachweisen. Mit den üblichen technischen Abwasserreinigungsverfahren können manche Stoffe nicht gezielt und oft nur in geringem Umfang entfernt werden und gelangen so in die Umwelt. Dort werden sie nur sehr langsam bzw. gar nicht abgebaut. Die Auswirkungen solcher Spurenstoffe und daraus entstehender Wechselwirkungen auf Ökosysteme und Organismen sind derzeit nicht absehbar. Neben der Bewusstseinsbildung in der Öffentlichkeit für dieses Thema kommt deshalb, aufbauend auf dem Vorsorgegedanken, der **Spurenstoffentnahme aus dem Abwasser** eine entscheidende Bedeutung zu.

In Baden-Württemberg wurden auf Basis der Erkenntnisse aus halbtechnischen Untersuchungen bislang mehrere Kläranlagen mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Spurenstoffentnahme nachgerüstet. Zur Entfernung der Mikroverunreinigungen kommen dabei bislang Aktivkohleverfahren zur Anwendung, welche derzeit neben der Ozonung als geeignete Verfahren zur Spurenstoffelimination im Abwasser angesehen werden. Begleitend zu den ersten Erweiterungen der Kläranlagen und zur Unterstützung der Betreiber wurde im April 2012 das **Kompetenzzentrum Spurenstoffe – KomS – Baden-Württemberg** ins Leben gerufen.

Wie ist das Kompetenzzentrum aufgestellt?

Das **KomS** ist eine **Kooperation** zwischen drei unabhängigen Partnern: Die **Universität Stuttgart** und die **Hochschule Biberach** bringen ihre wissenschaftliche Kompetenz und ihr technologisches Wissen in die Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik sowie in die Dokumentation und Auswertung von Messergebnissen ein. Der **DWA-Landesverband Baden-Württemberg** übernimmt das breite Spektrum der Kommunikation, Fachveranstaltungen und -exkursionen sowie Fortbildungen in den Nachbarschaften.

Was bietet das KomS?

Das Kompetenzzentrum versteht sich als **Plattform zum Wissens- und Technologietransfer und zum Erfahrungsaustausch** rund um das Thema ›Spurenstoffe im Abwasser und Möglichkeiten zu deren Elimination‹. Es sieht sich selbst als Anlaufstelle und **Ansprechpartner auf allen Ebenen**: Mit den **Behörden** und der **Industrie** steht es ebenso im Kontakt wie mit **Ingenieurbüros** oder dem **Fachpersonal in den Klärbetrieben. Kommunen und Abwasserverbände** als Anlagenbetreiber **unterstützt das KomS mit folgenden Dienstleistungen**:

- Beratung vor Ort
- verfahrenstechnische&wissenschaftliche Hilfestellung
- Schulung des Fach- und Betriebspersonals
- Unterstützung bei der Öffentlichkeitsarbeit

Aus der Arbeit des KomS nicht wegzudenken ist die **Nachbarschaftsidee**, die auf Erfahrungsaustausch, Vernetzung und gemeinschaftliches Handeln abzielt. Nicht umsonst hat sie sich beim Betrieb von Kläranlagen seit über 40 Jahren bewährt.

Welche Rolle spielt das Land Baden-Württemberg?

Das Land Baden-Württemberg übernimmt bei der Spurenstoffelimination eine Vorreiterrolle und hat der Thematik, auch im Hinblick auf die damit verbundene umweltpolitische Dimension, von Anfang an sehr große Bedeutung beigemessen. So wurden vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg in den vergangenen Jahren diverse Vorhaben zur Entwicklung einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination aus dem Abwasser mit einer Gesamtsumme von mehr als zehn Millionen Euro finanziell gefördert. Für den Aufbau des Kompetenzzentrums Spurenstoffe Baden-Württemberg hat das Ministerium namenswerte Fördermittel bereitgestellt.

Welche Bedeutung hat das KomS?

Die Spurenstoffentnahme auf der Kläranlage als ›End-of-pipe‹ Technologie wird das Problem der zunehmenden Umweltbelastung durch Mikroverunreinigungen allein nicht lösen können – dazu bedarf es des Zusammenspiels mit weitergehenden Maßnahmen, wie der Sensibilisierung der Öffentlichkeit, der Industrie und der Verbraucher. Die Spurenstoffelimination weiter zu erforschen, die verfahrenstechnologischen Möglichkeiten zu optimieren und deren Implementierung in den Betrieb der Kläranlagen im Land zu begleiten und zu unterstützen hat sich das KomS zur Aufgabe gemacht.

Mit Aktivkohle gegen Spurenstoffe im Abwasser

KomS Baden-Württemberg: Plattform für Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch

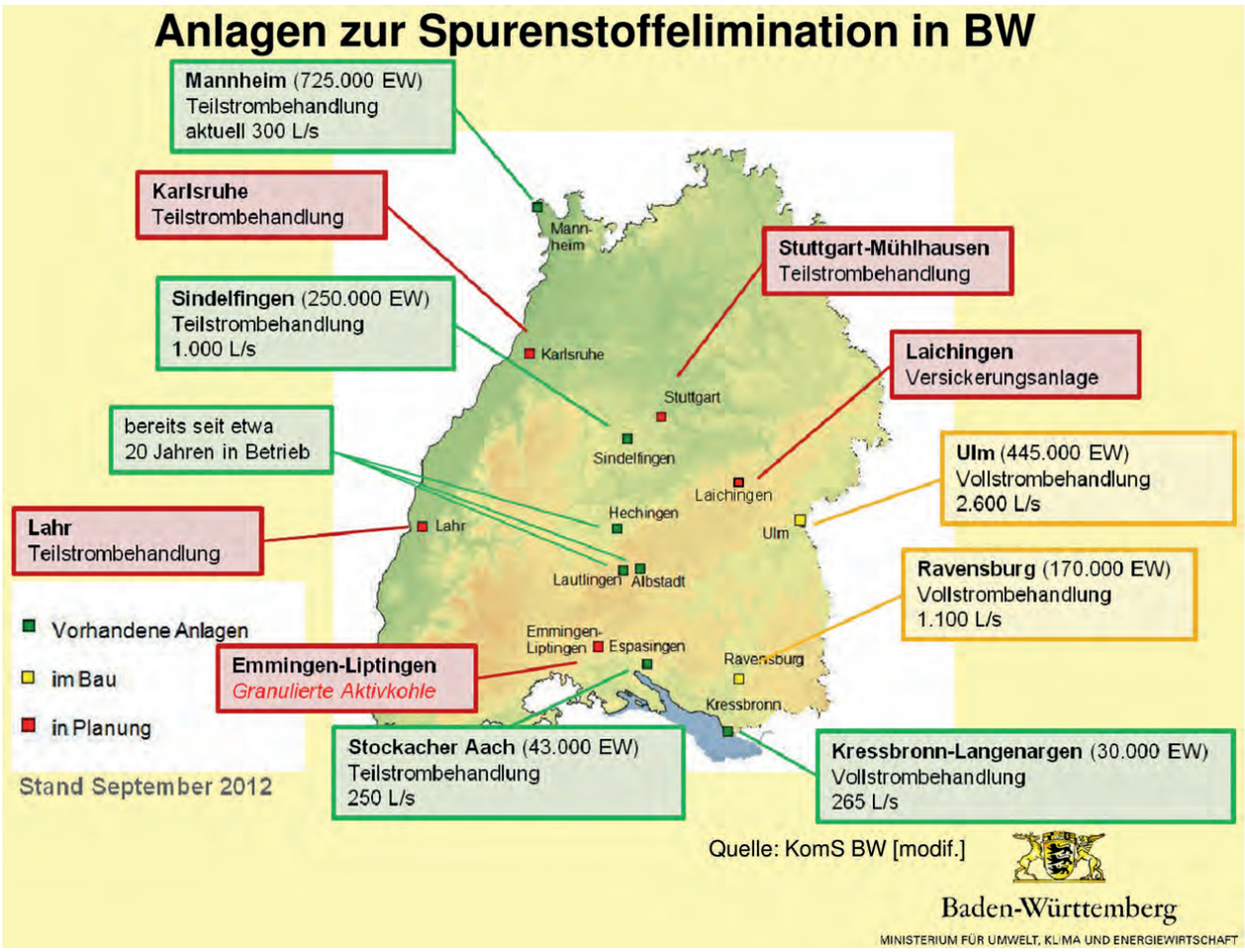
André Hildebrand, Steffen Metzger (Stuttgart) und Christiane Prögel-Goy (Wernau/Neckar)

Organische Spurenstoffe wie Hormone, Arzneimittelrückstände oder Substanzen aus Haushaltsmitteln belasten zunehmend unser Abwasser. Mit den herkömmlichen Verfahren zur Abwasserreinigung werden sie nicht gezielt entfernt und gelangen damit in die Umwelt. Vor diesem Hintergrund wurde das „Kompetenzzentrum Spurenstoffe“ (KomS) Baden-Württemberg ins Leben gerufen. Die Kooperation zwischen der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg, gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, widmet sich der Wissenszusammenführung und -weitergabe zum Thema der Spurenstoffentnahme aus dem Abwasser und ihrer verfahrenstechnischen Umsetzung.

Sedimentationsbecken der Adsorptionsstufe in der Kläranlage Kressbronn

Abwasser durchläuft hierzulande eine mechanische, eine biologische und eine chemische Klärstufe, bevor es in gereinigtem Zustand in Bäche, Flüsse und Seen geleitet und damit dem natürlichen Wasserkreislauf wieder zugeführt wird. Bestimmte organische Spurenstoffe, die häufig von Medikamenten oder Pflege- und Haushaltsmitteln stammen, lassen sich durch die gängigen Verfahren zur Abwasserreinigung nicht gezielt entfernen. Im konventionell gereinigten Abwasser werden diese „Wir können noch nicht absehen, welche Auswirkungen die im Abwasser verbleibenden Spurenstoffe und daraus entstehende Mixturen langfristig auf die Umwelt und verschiedene Organismen haben. Diese vom Menschen künstlich erzeugten Stoffe gehören aber nicht in unsere Gewässer. Im Sinne der Vorsorge ist es deshalb sinnvoll, sie gezielt und in größerem Umfang als bisher aus dem Abwasser zu entnehmen. Die Arbeiten im Ulmer Klärwerk und anderen Anlagen haben gezeigt, dass dies technisch machbar ist. Mehr noch, die Implementierung einer zusätzlichen Klärstufe unter Verwendung von Aktivkohle lässt sich sogar mit vertretbarem finanziellem Aufwand realisieren! Dem Kompetenzzentrum Spurenstoffe kommt dabei die wichtige Aufgabe zu, Anlagenbetreiber, die an diesem Verfahren interessiert sind, umfassend zu informieren und zu beraten, sie mit technologischem Know-how, wissenschaftlicher Begleitung und organisatorischer Hilfestellung zu unterstützen und zum Erfolg zu führen. So laufen im Kompetenzzentrum bei der Umsetzung und Weiterentwicklung des Verfahrens alle Fäden zusammen. Das erklärt auch seine Bedeutung als Forum für den Erfahrungsaustausch auf nationaler und internationaler Ebene, maßgeblich in der Zusammenarbeit mit Nordrhein-Westfalen und der Schweiz.“

Prof. Dr.-Ing. Helmut Kapp ist verantwortlich für das Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft an der Hochschule Biberach. In einem Pilotprojekt im Klärwerk Steinhäule in Ulm/Neu-Ulm konnte unter seiner Leitung bereits 2003 gezeigt werden, dass sich Spurenstoffe durch den Einsatz von Pulveraktivkohle in einem Adsorptionsverfahren weitgehend aus dem Abwasser eliminieren lassen – auch im großtechnischen Maßstab.



Übersicht: Anlagen zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg

Spurenstoffe meist nur in sehr geringen Konzentrationen (im Bereich ng/l oder mg/l) nachgewiesen. Dennoch ist präventives Handeln geboten: Versuche haben nämlich gezeigt, dass zum Beispiel schon geringste Konzentrationen an bestimmten Spurenstoffen im Wasser eine hormonelle Wirkung auf den Organismus von Fischen haben und bei den männlichen Exemplaren binnen weniger Wochen zu einer nachweislichen „Verweiblichung" führen. Indes werden die Mikroverunreinigungen, die mit dem gereinigten Abwasser in unser Ökosystem gelangen, nicht weniger; ein Teil der Spurenstoffe wird nur sehr langsam oder gar nicht abgebaut.

Organische Spurenstoffe – ein Thema, das der Aufklärung in der Öffentlichkeit bedarf

Die Palette der organischen Spurenstoffe, die über das Abwasser in die Umwelt gelangen, ist groß und umfasst neben Industriechemikalien und Pestiziden unter

Edwin Weiss, Bürgermeister der Gemeinde Kressbronn a. B., die als erste Gemeinde am Bodensee ihre Kläranlage mit einer zusätzlichen Klärstufe zur Spurenstoffelimination aufgerüstet hat, zieht positive Bilanz:

„Der Bodensee im Dreiländereck Deutschland, Österreich, Schweiz gilt als größter Trinkwasserspeicher Europas. Vor diesem Hintergrund hat hier das Thema Wasserqualität und Abwasserreinigung schon seit den 1960er-Jahren immer wieder hohe Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit erfahren. So überrascht auch das Interesse am Thema Spurenstoffe und an den technischen Möglichkeiten zu deren Elimination in unserer Region nicht. Eine neue Qualität in der Abwasserreinigung durch Ausfilterung von Spurenstoffen wird mit der Aufrüstung der Anlagen durch das Aktivkohle-Verfahren angestrebt. Mit der Kläranlage des Abwasserzweckverbands Kressbronn – Langenargen ging die erste Anlage dieser Art am Bodensee im Juli 2011 in Betrieb. Bemerkenswert ist, dass die damit verbundene spürbare Erhöhung des Abwasserpreises in der politischen Diskussion nie umstritten gewesen ist. Diese Tatsache spricht für das sensible Bewusstsein in Politik und Bürgerschaft diesem wichtigen Thema gegenüber, das letztlich nicht nur die Menschen am Bodensee, sondern langfristig unser gesamtes Ökosystem und uns alle betrifft."

Statement: *MR Dipl.-Ing. Hans Neifer vom Umweltministerium Baden-Württemberg verweist auf die hohe Bedeutung der Spurenstoffelimination aus dem Abwasser und die Vorreiterrolle, die das Land Baden-Württemberg dabei einnimmt:*

„Baden-Württemberg ist seit Jahren auf dem Feld der Spurenstoffreduktion aktiv. Erst vor kurzem hat das baden-württembergische Umweltministerium einen Bericht über die Belastung der Gewässer im Land mit sogenannten Spurenstoffen vorgelegt: Deutlich zeigt sich hierbei die Rolle der Abwasserbeseitigung. Aus Vorsorgegründen sollten Spurenstoffe, unabhängig von noch nicht bestehenden gesetzlichen Regelungen, auch nicht in kleinsten Mengen in unseren Flüssen und Gewässern vorkommen. Das Land fördert daher Kommunen, die ihre Kläranlagen zum Beispiel mit einer Aktivkohle-Adsorptionsanlage zur Elimination dieser Stoffe aufrüsten wollen. Bisher wurden ca. 18. Millionen Euro zur Verfügung gestellt. Dadurch nimmt das Land bei der großtechnischen Umsetzung solcher Anlagen zur Spurenstoffelimination – hinsichtlich der Anzahl der Anlagen und der angeschlossenen Einwohner – mittlerweile eine Vorreiterrolle ein. Dem Kompetenzzentrum Spurenstoffe kommt eine entscheidende Rolle als Vermittler von Wissen, insbesondere über den erfolgreichen Betrieb dieser und die Planung weiterer Anlagen, zu.“

anderem folgende Gruppen an Substanzen:

- Pharmazeutika, darunter Schmerzmittel und Antibiotika, Betablocker, Beruhigungsmittel, Arzneien zur Behandlung von Epilepsie oder Rheuma sowie Röntgen-Kontrastmittel – die Liste ließe sich in unüberschaubarer Länge fortsetzen.
- Substanzen aus Haushalts- und Pflegemitteln, darunter Duft- und Konservierungsstoffe, darüber hinaus auch Nahrungszusatzstoffe – dazu gehören synthetisch hergestellte Süßstoffe wie Cyclamat, Saccharin oder Acesulfam, die in der Umwelt nicht abgebaut werden.

Von einigen der Substanzen ist bekannt, dass sie in nicht absehbarer Weise in den Hormonhaushalt von Lebewesen eingreifen können, weshalb diese sogenannten endokrin wirksamen Stoffe (hierzu zählen beispielsweise Weichmacher aus Kunststoffen, Pestizidrückstände oder Substanzen aus Verhütungsmitteln) besonderer Beachtung bedürfen.

Durch unsachgemäße Entsorgung über Toiletten oder andere Sanitärabflüsse, vor allem aber auch mit menschlichen Ausscheidungen gelangt ein Großteil dieser Stoffe ins Abwasser. „Beim Thema Spurenstoffe ist es nicht damit getan, den Zeigefinger gegen die Industrie zu erheben – Haushalte und Endverbraucher gehören hier mit zu den Hauptverursachern“, kommentiert Prof. Dr.-Ing. *Helmut Kapp* von der Hochschule Biberach, der zu den Initiatoren des Kompetenzzentrums Spurenstoffe gehört.

Nach Ansicht der im KomS versammelten Fachleute ist Aufklärung im Kampf gegen das Problem der Spurenstoffe im Abwasser als begleitende Maßnahme von großer Bedeutung, stößt aber auch schnell an ihre Grenzen: „Auch wenn die Problematik in der Öffentlichkeit nach und nach mehr Aufmerksamkeit erfährt – wer könnte von Patienten, die auf Medikamente angewiesen sind, schon verlangen, dass sie unserer Umwelt zuliebe darauf verzichten?“ bringt es *Wolfgang Schanz*, Vorsitzender des DWA-Landesverbands Baden-Württemberg, am Beispiel Arzneimittel auf den Punkt.

Spurenstoffentnahme aus dem Abwasser: Pilotprojekt in Ulm schon 2003 erfolgreich

Als wirksam haben sich in den letzten zehn Jahren verfahrenstechnische Maßnahmen im Abwasserbereich erwiesen. Während in der Schweiz der Verwendung von Ozon zur chemischen Beseitigung von Spurenstoffen aus dem Abwasser ein hoher Stellenwert beigemessen wird, setzt Baden-Württemberg auf die Adsorption an Pulveraktivkohle, die dem gereinigten Abwasser in einer zusätzlichen Klärstufe zugeführt wird. Die Entnahme der mit den Mikroverunreinigungen angereicherten Aktivkohle kann mit dem Klärschlamm erfolgen.

Erstmals wurde dieses Verfahren anhand einer halbtechnischen Anlage mit Unterstützung des Umweltministeriums 2003 im Rahmen eines von der Hochschule Biberach im Klärwerk Steinhäule in Ulm/Neu-Ulm durchgeführten Pilotprojekts entwickelt und getestet. Eine vom Betreiber der Ulmer Anlage initiierte Untersuchung, bei der zunächst der chemische Sauerstoffbedarf – der CSB-Wert als ein Indikator für die Reinigungsleistung der Anlage, die noch verbessert werden sollte – im Fokus stand, führte damals auf die Fährte der organischen Spurenstoffe im Abwasser. Messungen identifizierten neben organischen Restverschmutzungen auch umweltrelevante Spurenstoffe im Abwasser.

Alexander Mauritz, Betriebsleiter Eigenbetrieb Stadtentwässerung Mannheim, erläutert die Bedeutung der Kläranlage Mannheim für die Praxistauglichkeit des Pulveraktivkohle-Verfahrens:

„In Mannheim haben wir die Erkenntnisse aus dem Ulmer Pilotprojekt erstmals in den großtechnischen Maßstab überführt. Die größte Herausforderung bei der praktischen Umsetzung des Verfahrens ist die Dosierung gewesen. Wie sehr wir uns dabei noch auf Neuland bewegt haben, zeigt die Tatsache, dass wir kein Ingenieurbüro finden konnten, das in der Lage gewesen wäre, für uns eine passende Ausschreibung zur Dosiertechnik zu machen. Unsere Techniker haben das dann selbst in die Hand genommen und die Technik entsprechend aufgerüstet bzw. umgebaut. Solche Erfahrungen sind natürlich Meilensteine für die Umsetzung in anderen Klärwerken! Bislang wird das Pulveraktivkohle-Verfahren in Mannheim übrigens nur auf einer von fünf Reinigungsstraßen angewandt. Das ermöglicht uns den direkten Vergleich mit dem Klärverfahren ohne Spurenstoffelimination. Will hinzugefügt sein, dass die Erweiterung unserer Anlage längst geplant ist: Schließlich soll das Verfahren am Ende auf den kompletten Volumenstrom angewandt werden. Wir hoffen, dass wir mit dem Ausbau ab 2014 in die Ausschreibungs- und Umsetzungsphase gehen können.“

Die Aufgabenfelder des Kompetenzzentrums Spurenstoffe

Vorreiter in Sachen Spurenstoffelimination: die Kläranlage in Mannheim

Die erste Anlage in Baden-Württemberg, die auf Basis der Erkenntnisse aus dem Ulmer Pilotprojekt für das Pulveraktivkohle-Verfahren umgerüstet wurde und bei der das Verfahren europaweit erstmals im großtechnischen Maßstab auf Praxistauglichkeit untersucht werden konnte, ist das Klärwerk in Mannheim gewesen. Die Tatsache, dass Mannheim unter rund 1000 Klärwerken im Land zu den 35 Anlagen gehört, die über eine Sandfilteranlage verfügen, vereinfachte die technische Umsetzung erheblich: Über den Sandfilter kann die mit den Spurenstoffen angereicherte, nach der Sedimentation noch verbliebene Aktivkohle ohne großen zusätzlichen Aufwand problemlos wieder ausgefiltert werden. Die zusätzliche Klärstufe zur Spurenstoffentnahme ging in Mannheim Mitte 2010 in Betrieb, wobei bislang ein Fünftel des gesamten Volumenstroms über die Adsorptionsstufe geleitet wird; der Ausbau der Mannheimer Kläranlage zur weitergehenden Spurenstoffelimination steht noch an.

Vom Land Baden-Württemberg gefördert: das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS)

Der Spurenstoffthematik und der damit verbundenen umweltpolitischen Dimension hat das Land Baden-Württemberg von Anfang an sehr große Bedeutung beigemessen. Der Ausbau von Kläranlagen um eine weitere Reinigungsstufe zur Spurenstoffentnahme, darunter beispielsweise die Kläranlagen Kressbronn am Bodensee und Sindelfingen, wurde daher in den vergangenen Jahren vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit einer Gesamtsumme von mehr als 18 Millionen Euro finanziell gefördert. Eine Fördersumme von 1,3 Millionen Euro, bemessen auf einen Zeitraum von fünf Jahren, wurde darüber hinaus vom Ministerium für das neue Kompetenzzentrum Spurenstoffe bereitgestellt. Als Plattform zum Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch rund um das „Thema Spurenstoffe im Abwasser und Möglichkeiten zu deren Elimination“ hat das KomS im April 2012 seine Arbeit aufgenommen.

Das KomS Baden-Württemberg – zentrale Aufgaben und Ziele

Die Stärke des KomS liegt in seiner Aufstellung als Kooperation zwischen der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg. Diese Konstellation ermöglicht die Wissensbündelung rund um das Thema Spurenstoffe und die Dokumentation wissenschaftlicher Ergebnisse ebenso wie die vernetzte Aufbereitung der gewonnenen Erkenntnisse und Daten und den praxisbezogenen Erfahrungsaustausch bei der Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik zur Spurenstoffelimination. Neben der Beratung vor Ort und technischem Support erhalten Klärwerksbetreiber durch das KomS bei der Implementierung von entsprechender Verfahrenstechnik organisatorische Unterstützung (zum Beispiel bei der Schulung des Betriebspersonals und in der Öffentlichkeitsarbeit). Als Forum für Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch will das Kompetenzzentrum neben den Kommunen als Anlagenbetreibern auch Ingenieurbüros, Behörden und die Industrie ansprechen.

Die zentralen Aufgaben und Ziele des Kompetenzzentrums Spurenstoffe sind in

Wolfgang Schanz, Vorsitzender des DWA-Landesverbands Baden-Württemberg, Tiefbauamtsleiter und Erster Betriebsleiter Eigenbetrieb Stadtentwässerung Stuttgart, betont die Bedeutung der Nachbarschaftsidee, die in der Arbeit des Kompetenzzentrums Spurenstoffe einen zentralen Ansatzpunkt darstellt:

„Die Maßnahmen zur Entnahme von Spurenstoffen in den Kläranlagen Ulm, Mannheim, Sindelfingen oder in Anlagen im Einzugsgebiet des Bodensees haben gezeigt, dass die Möglichkeiten in den Kläranlagen auf die jeweilige Situation und technische Konfiguration hin sehr unterschiedlich zu betrachten sind. Die bisherigen Erfolge sind vielversprechend, bedürfen aber der kontinuierlichen Weiterentwicklung. Umso mehr möchten wir die Kläranlagen-Betreiber ermutigen, sich der Frage zu stellen: ‚Was ist in meiner Anlage in punkto Spurenstoffelimination durch Verfahrensanpassungen oder zusätzliche Technik machbar und welche konkreten Maßnahmen sind dazu nötig?‘ Die Kommunen sind mit diesem Thema nicht allein gelassen – dazu haben wir, mit Unterstützung des Umweltministeriums, das Kompetenzzentrum Spurenstoffe gegründet. Es versteht sich als Plattform für den Wissensaustausch und Kontaktbörse gleichermaßen: Hier werden verschiedene Interessensgruppen zusammengeführt: aus Kommunen, Zweckverbänden, aus Forschung, Industrie und Verwaltung. Aus der Arbeit des Kompetenzzentrums nicht wegzudenken ist die Nachbarschaftsidee, die sich beim Betrieb von Kläranlagen seit über 40 Jahren bewährt hat: Sie zielt auf Erfahrungsaustausch, Vernetzung und gemeinschaftliches Handeln zwischen den Kommunen ab und ist damit eine wertvolle Grundlage zur effektiven Umsetzung und zur Weiterentwicklung von Möglichkeiten zur Entnahme von Spurenstoffen aus dem Abwasser.“

Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz, Lehrstuhlinhaberin am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Wasser-Recycling der Universität Stuttgart, erkennt in der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik zur Eliminierung von Spurenstoffen aus dem Abwasser auch für kleinere Anlagen mögliche Chancen:

„Mit dem in Baden-Württemberg angewandten Aktivkohle-Verfahren zur Spurenstoffelimination wurden bislang gute Erfolge erzielt. Wir dürfen beim Thema Spurenstoffe aber die Vielfalt der technischen Möglichkeiten und der Wirkungen auf unser Ökosystem als Ganzes – zum Beispiel die Frage, wie Spurenstoffe über andere Wege als die Kläranlage in unsere Umwelt gelangen – nicht aus dem Blickfeld verlieren. Auch lohnt es sich, auf etwaige Synergieeffekte zu achten, die es ermöglichen, mit den organischen Spurenstoffen gleichzeitig andere Substanzen wie Restkonzentrationen an Phosphor aus dem Abwasser zu eliminieren. An der Universität Stuttgart forschen wir daher sowohl an neuen Verfahrenstechniken als auch an der Verbesserung des Prozessverständnisses. Eine Hauptaufgabe des KomS sehe ich darin, praktische Erfahrungen und Forschungsergebnisse zu bündeln und Fachleuten sowie interessierten Laien in übersichtlicher und verständlicher Form zur Verfügung zu stellen. Wenn es uns gelingt, die Spurenstoffelimination durch technische Weiterentwicklung noch einfacher, effektiver und wirtschaftlicher zu machen, so werden künftig passgenaue Lösungen für unterschiedliche Randbedingungen zur Verfügung stehen und auch kleinere Anlagen die Chance haben, in die nötige Technik zu investieren.“

der folgenden Übersicht noch einmal zusammengefasst:

- allgemein verständliche Aufklärung und Bewusstseinsbildung zum Thema „Spurenstoffe und deren Auswirkungen auf die Umwelt“ auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse,
- Wissenstransfer zwischen der Wissenschaft und Betreibern von Kläranlagen, Behörden, Fachverbänden sowie der Industrie und Ingenieurbüros im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung,
- Unterstützung für Betreiber von Kläranlagen bei der Implementierung und Betreuung von Technologien zur Spurenstoffelimination, bei Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle,
- Beteiligung an der Etablierung und Weiterentwicklung von Verfahren zur Spurenstoffelimination,
- Förderung der Transparenz der in Baden-Württemberg entwickelten Technologie sowie der sich in der großtechnischen Umsetzung befindlichen Vorhaben.

Am 11. Juli 2013 findet im Rosengarten in Mannheim der Kongress „Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt“ statt. Weitere Informationen unter:

www.koms-bw.de/aktuelles

Autoren

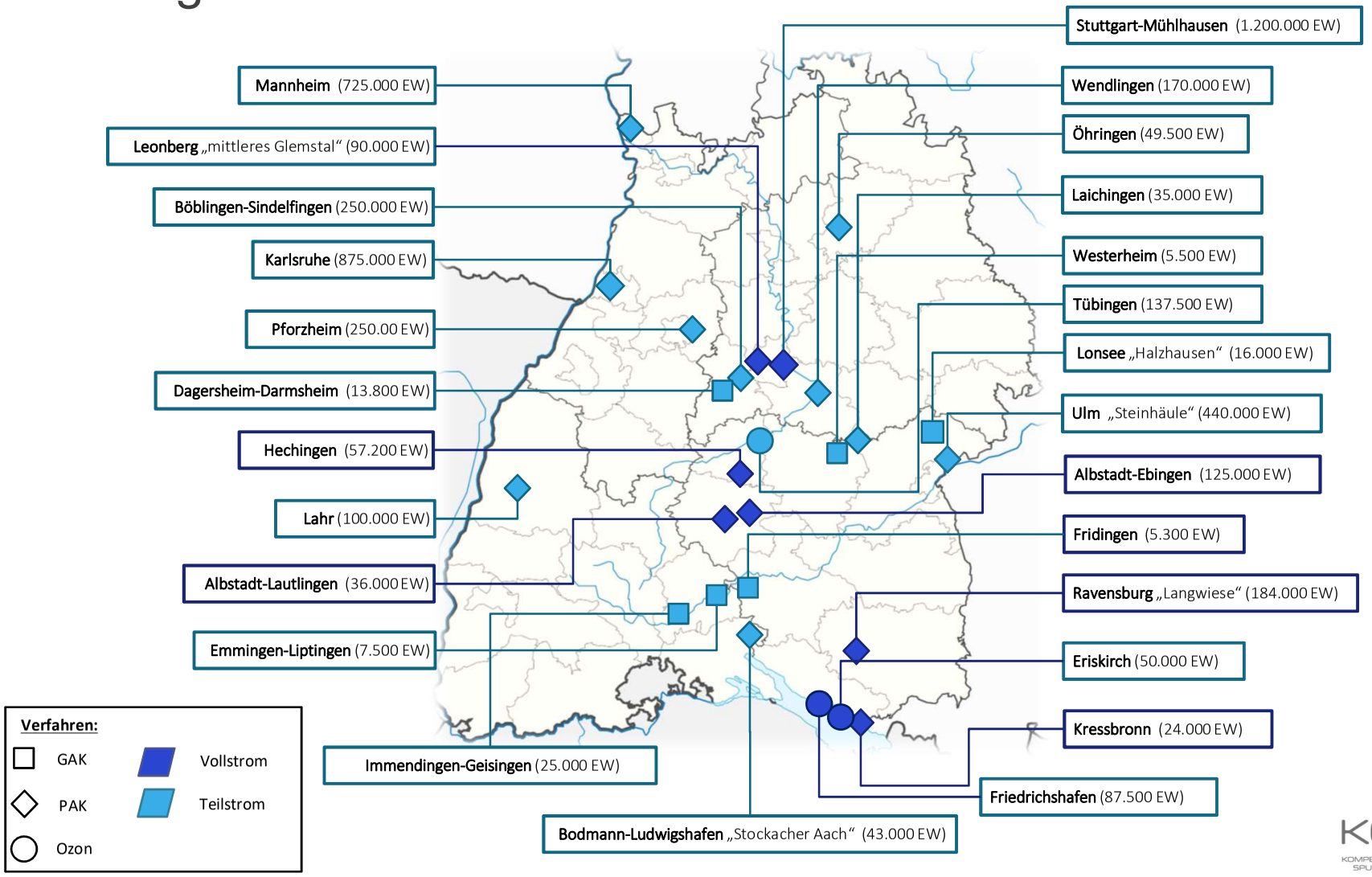
Dipl.-Vww. André Hildebrand
DWA-Landesverband Baden-Württemberg
Rennstraße 8, 70499 Stuttgart
E-Mail: dwa@koms-bw.de

Dr.-Ing. Steffen Metzger
Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart
E-Mail: info@koms-bw.de

Christiane Prögel-Goy
Wort- und Textbau
Robert-Bosch-Straße 6
73249 Wernau (Neckar)

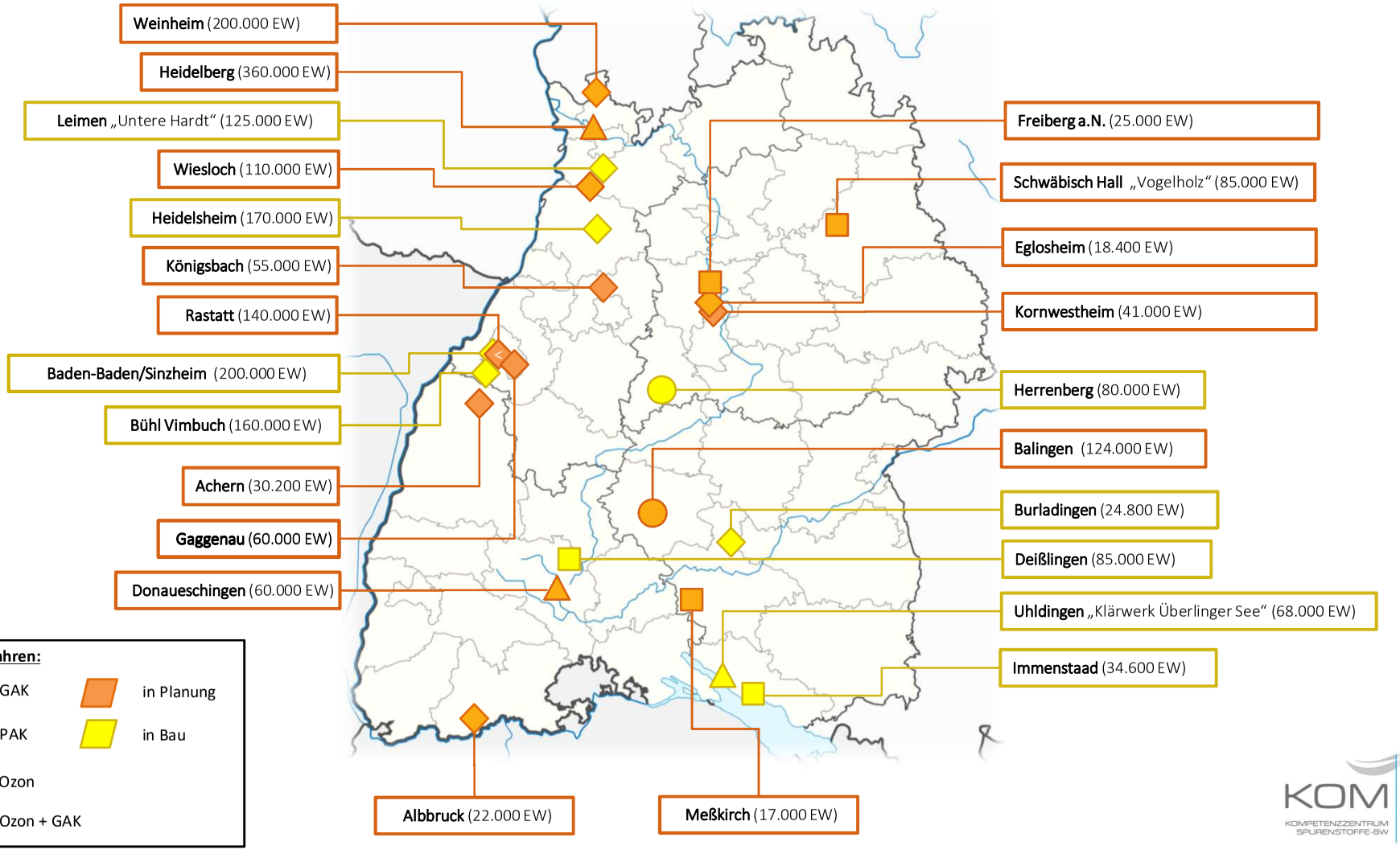
Kläranlagenausbau in Baden-Württemberg – Aktueller Stand

26 Anlagen in Betrieb – Stand Juni 2022



Kläranlagenausbau in Baden-Württemberg – Aktueller Stand

24 Anlagen in Planung oder Bau – Stand Juni 2022



KOMPETENZZENTRUM
SPURENSTOFFE-BW

Den Stoffen auf der Spur

Steckbriefe
Baden-Württemberg

www.koms-bw.de

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Albstadt-Ebingen**

Veranlassung und Ziele

Auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen wird bereits seit 1992 Pulveraktivkohle zur weitergehenden Abwasserreinigung eingesetzt. Die Anwendung erfolgte zunächst mit dem Ziel der Entfärbung des Abwassers aufgrund der Einleitung hoher Farbfrachten aus der Textilveredelungsindustrie, welche allein durch die mechanisch-biologische Abwasserbehandlung nicht entfernt werden konnten und zeitweise zu starken Verfärbungen des Gewässers Schmiecha führten.
Gleichzeitig findet durch die angewandte Verfahrenstechnik bereits seit deren Inbetriebnahme eine Entnahme von Spurenstoffen statt. Messtechnisch nachweisbar wurde diese allerdings erst aufgrund der in den letzten Jahren erfolgten Entwicklung von immer feineren Messmethoden zur quantitativen Bestimmung von Spurenstoffen in sehr niedrigen Konzentrationsbereichen.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

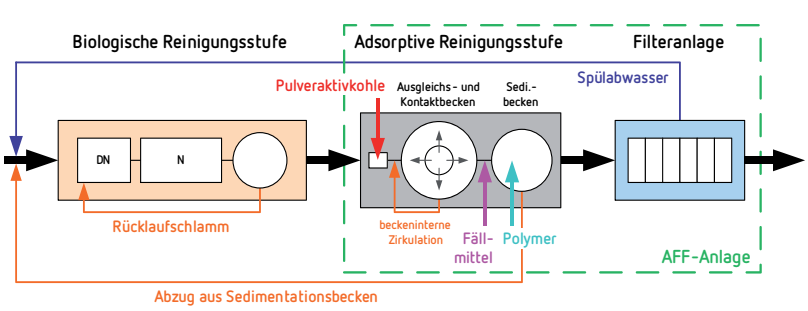


Abb. 1 Einbindung der AFF-Anlage in den bisherigen Verfahrensprozess

Auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen wird das von der Universität Stuttgart entwickelte AFF-Verfahren eingesetzt, welches durch eine Kombination von Aktivkohleadsorption, chemischer Flockung und Filtration gekennzeichnet ist.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	125.000 E
Belastung*	58.100 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	980 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	12,7 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Geröllfang, Feinrechen, Sandfang, Vorklärbecken mit Fettfang
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage

* Mittelwert der Jahre 2010 bis 2012; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt primär nach der biologischen Reinigung in einer separaten Verfahrensstufe, bestehend aus einem Ausgleichs- und Kontaktbecken sowie einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1 und Abb. 2). Die Einrichtung der Verfahrenstechnik erfolgte nach entsprechender Umgestaltung und Umrüstung in bereits bestehenden, nicht mehr genutzten Becken, einem Accelator und einem Cyclator.
Das mit Pulveraktivkohle versetzte Abwasser gelangt über einen Düker zunächst in den inneren Bereich des Ausgleichs- und Kontaktbecken, bevor es durch mehrere Öffnungen im oberen Teil der eingebauten Trennwand in den äußeren Bereich fließt. Optional kann ein Teilstrom wieder in den inneren Bereich zurückgefördert werden, der übrige Volumenstrom gelangt anschließend in das Sedimentationsbecken. Der dort im äußeren Bereich abgesetzte ›Kohleschlamm‹ wird zur weiteren Beladung des Adsorbens in den Zulauf der biologischen Stufe zurückgeführt (➔ Abb. 3).

Bestandteil der für den Vollstrom ausgelegten AFF-Anlage ist zudem der Sandfilter, welcher zum damaligen Zeitpunkt neu errichtet werden musste. Ausgeführt ist dieser als Zweischichtfilter mit Stützschicht (0,25 m Kies, 0,60 m Quarzsand, 0,90 m Hydroanthrazit).

Abb. 2 Sedimentationsbecken (ehemaliger Cyclator)

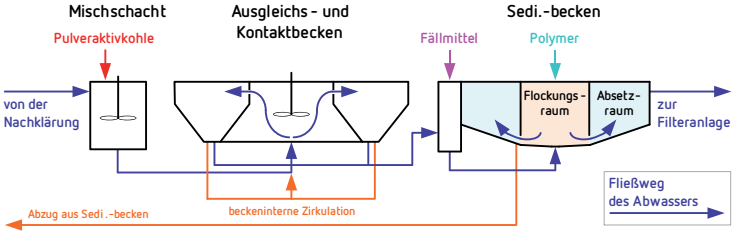


Abb. 3 Fließweg des Abwassers innerhalb der adsorptiven Reinigungsstufe

Auslegung der adsorptiven Reinigungsstufe der AFF-Anlage

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 980$ L/s

Ausgleichs- und Kontaktbecken

Gesamtvolumen	$V_{AuK.} = 4.630$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, AuK.} = 1{,}3$ h

Sedimentationsbecken

Gesamtvolumen	$V_{Sedi} = 2.200$ m³
Volumen des Absetzraumes	$V_{Absetz.} = 1.750$ m³
Oberfläche des Absetzraumes	$A_{Absetz.} = 525$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 37$ min
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Absetz.} = 6{,}7$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Hanisch, B.; Menzel, U. (1997):
Weitergehende Textilabwasserreinigung mittels Adsorption, Flockung und Filtration im kommunalen Klärwerk Albstadt. Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (Gesch.Z.: II 1.1-20441-1/3), Universität Stuttgart.

Menzel, U. (1997):
Optimierter Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination organischer Reststoffe aus Kläranlagenabläufen. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 143.

Metzger, J.W.; Spengler, P.; Körner, W.; Bolz, U. (2000):
Schwer abbaubare Substanzen mit estrogenartiger Wirkung in Abwasser: Identifizierung, Quantifizierung und Abschätzung des Gefährdungspotentials durch die Kombination von HPLC/MS und in-vitro-Biotest (E-Screen-Assay). Abschlussbericht (Teil 1) im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg.

Kontaktdaten Betreiber

Stadtverwaltung Albstadt
Amt für Bauen und Service, Abt. Kläranlagen
Am Markt 2, 72461 Albstadt
Herr Krause (+49-7431-160 3651)

Verfasser

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Stand 06.2014

KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Böblingen-Sindelfingen**

Veranlassung und Ziele

Die Kläranlage Böblingen-Sindelfingen leitet ihr gereinigtes Abwasser in ein vergleichsweise abflussarmes Gewässer, die Schwippe, ein. Je nach Abflusssituation liegt der Anteil des Kläranlagenablaufs im Gewässer bei mehr als 80 Prozent. Um die Gewässergüte der Schwippe nachhaltig zu verbessern, wurde die Kläranlage bereits 2007 um einen Flockungsfilter zur Verringerung des Eintrags von partikulären Stoffen sowie von Phosphor erweitert. Seit Oktober 2011 betreibt der Zweckverband Kläranlage Böblingen-Sindelfingen zudem eine Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen.
Die Umsetzung beider Maßnahmen erfolgte auf freiwilliger Basis.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

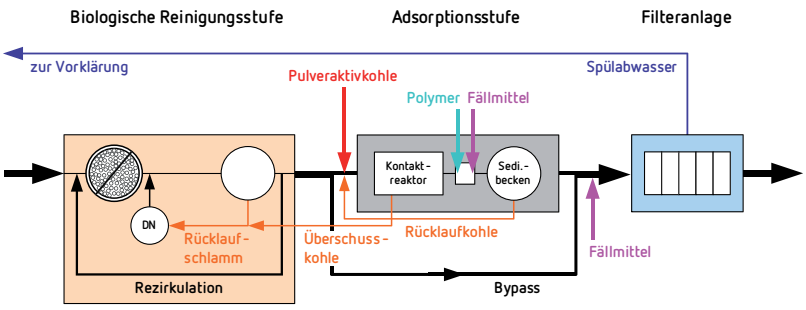


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess

Die Spurenstoffelimination erfolgt auf der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen durch den Einsatz von Pulveraktivkohle.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	250.000 E
Belastung*	141.200 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	2.000 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	14,5 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Feinrechen, Sand- und Fettfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Tropfkörperanlage mit nachgeschalteter Denitrifikation
Filteranlage	Zweischichtfilter mit Stützschicht (0,20 m Basalt, 0,40 m Quarzsand, 1,40 m Anthrazit)

* Mittelwert der Jahre 2010 bis 2012; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt hierbei im Wesentlichen nach der biologischen Behandlung und vor der bestehenden Filtration in einer Adsorptionsstufe, bestehend aus einem Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Zur besseren Einmischung der für die Abtrennung der Pulverkohle erforderlichen Hilfsstoffe (Polymer und Fällmittel) ist zwischen dem Kontaktreaktor und dem Sedimentationsbecken ein Einmisch- (V = 12 m³) und ein Aggregationsbecken (V = 120 m³) vorhanden. Aufgrund beengter Platzverhältnisse wurde die Adsorptionsstufe als kompaktes Bauwerk erstellt mit einem außen liegenden, ringförmigen Kontaktreaktor und einem innen liegenden Sedimentationsbecken (➔ Abb. 2).

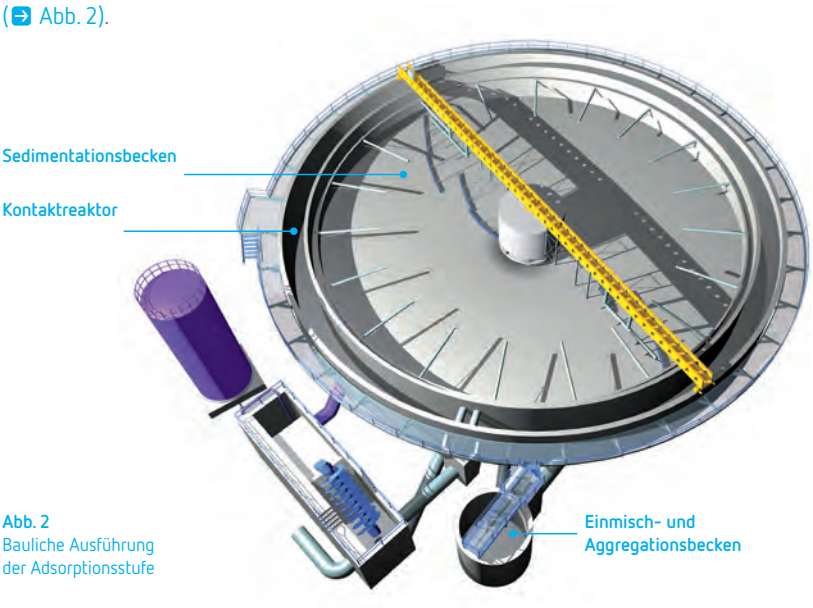


Abb. 2
Bauliche Ausführung
der Adsorptionsstufe

Zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens wird die teilbeladene Pulveraktivkohle als ›Überschusskohle‹ zusammen mit dem Rücklaufschlamm der biologischen Reinigungsstufe in das Denitrifikationsbecken zurückgeführt.

Die Adsorptionsstufe kann, als Teilstrombehandlung konzipiert, mit einer maximalen Abwassermenge von 1.000 L/s beaufschlagt werden. Mit dieser Auslegung auf lediglich 50 Prozent des maximalen Mischwasserzuflusses wird jedoch rund 90 Prozent der gesamten jährlichen Abwassermenge auch adsorptiv behandelt.

Kontaktdaten Betreiber

Zweckverband Kläranlage Böblingen-Sindelfingen
Entenseestraße 1, 71063 Sindelfingen
Herr Schwentner (+49-7031-94 502), Herr Tenczer (+49-7031-79365 47)

Verfasser

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Stand 07.2014

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 1.000$ L/s

Kontaktreaktor

Volumen	$V_{KR} = 1.800$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 30$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 7.200$ m³
Oberfläche	$A_{Sedi.} = 1.800$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 2,0$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.} = 2,0$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Biebersdorf, N.; Kaub, J. M.; Hollensteiner, H.; Schwentner, G. (2012):
Erweiterung des Klärwerks Böblingen-Sindelfingen um eine Adsorptionsstufe. Vortrag beim Symposium ›Aktivkohle im Klärwerksbetrieb‹ am 5. Juli 2012 in Sindelfingen. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

Kapp, H. (2012):
Einfahrbetrieb der adsorptiven Abwasserbehandlung auf dem Klärwerk Böblingen-Sindelfingen – Betriebserfahrungen und Betriebsergebnisse (unveröffentlicht).

Rößler, A. (2012):
Reinigungsleistung der Adsorptionsstufe – Erste Ergebnisse. Vortrag beim Symposium ›Aktivkohle im Klärwerksbetrieb‹ am 5. Juli 2012 in Sindelfingen. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

Schwentner, G.; Kremp, W.; Mauritz, A.; Hein, A.; Metzger, S.; Rößler, A. (2013):
Kosten der weitergehenden Abwasserreinigung mit PAK. wwt wasserwirtschaft wassertechnik, 5/2013, S. 28-31.

Schwentner, G.; Kremp, W.; Mauritz, A.; Hein, A.; Metzger, S.; Rößler, A. (2013):
Spurenstoffelimination in den Klärwerken. wwt wasserwirtschaft wassertechnik, 4/2013, S. 36-41.

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Hechingen**

Veranlassung und Ziele

Auf der Kläranlage Hechingen wird bereits seit 1999 Pulveraktivkohle zur weitergehenden Abwasserreinigung eingesetzt. Zunächst erfolgte die Anwendung sowohl mit dem Ziel der Entfärbung des Abwassers aufgrund der Einleitung von Farbfrachten aus der Textilveredelungsindustrie als auch mit dem Ziel der Reinigung von unbehandelt eingeleiteten Deponiesickerwässern einer Kreismülldeponie.

Aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklungen in der Textilindustrie ist die Notwendigkeit einer Entfärbung des Abwassers nicht mehr gegeben. Ebenso werden die für die Kreismülldeponie geltenden Ablaufgrenzwerte zwischenzeitlich eingehalten. Aus Gründen des Verschlechterungsverbots erfolgt die Pulveraktivkohleanwendung daher inzwischen mit dem Ziel einer generellen Verringerung von Spurenstoffen.

Die Reinigungsleistung durch die angewandte Verfahrenstechnik wird primär anhand der beiden Summenparameter CSB und AOX festgemacht. Aufgrund der in den letzten Jahren erfolgten Entwicklung von immer feineren Messmethoden zur quantitativen Bestimmung einzelner Spurenstoffkonzentrationen wurde deren Verringerung zwischenzeitlich ebenfalls nachgewiesen.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Auf der Kläranlage Hechingen wird das von der Universität Stuttgart entwickelte AFF-Verfahren eingesetzt, welches durch eine Kombination von **A**ktivkohleadsorption, chemischer **F**lockung und **F**iltration gekennzeichnet ist.

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt primär nach der biologischen Reinigung in einer 2-straßigen separaten Verfahrensstufe, bestehend aus jeweils einem Kontaktbecken, welches wiederum in drei unterschiedlich große Einzelbecken unterteilt ist, und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1).

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	57.200 E
Belastung*	35.200 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	400 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	4 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Grob- und Feinrechen, Sand- und Fettfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage

* Mittelwert der Jahre 2013 bis 2015; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Der Ablauf der Nachklärung wird zunächst über ein Rohwasserbecken auf die beiden Straßen aufgeteilt und vor Eintritt in das Kontaktbecken mit frischer Pulveraktivkohle versetzt. Nach Durchfließen des ›Reaktionsbeckens‹ (jeweils V = 200 m³) wird dem Abwasser im ›Entstabilisierungsbecken‹ (jeweils V = 13 m³) zunächst Fällmittel und anschließend im ›Flockungsbecken‹ (jeweils V = 110 m³) Flockungshilfsmittel in Form von Polymeren zugegeben, um den Kohleschlamm im Sedimentationsbecken abtrennen zu können. Das Sedimentationsbecken ist jedoch nicht als klassisches Absetzbecken ausgeführt, sondern aufgrund seiner geringen Größe zusätzlich mit Lamellenabscheidern ausgerüstet, um so eine Vergrößerung der wirksamen Oberfläche zu erzielen. Zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens wird die teilbeladene Pulveraktivkohle als ›Überschusskohle‹ in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt.

Bestandteil der für den Vollstrom ausgelegten AFF-Anlage ist zudem der Sandfilter, welcher zum damaligen Zeitpunkt neu errichtet werden musste. Ausgeführt ist dieser als Zweischichtfilter, wobei die Filtermaterialien nach einem Hochwasserschadensfall im Jahr 2008 ersetzt wurden. Aktuell besteht das Filterbett aus 0,75 m Filtersand und 1,0 m Hydroanthrazit.

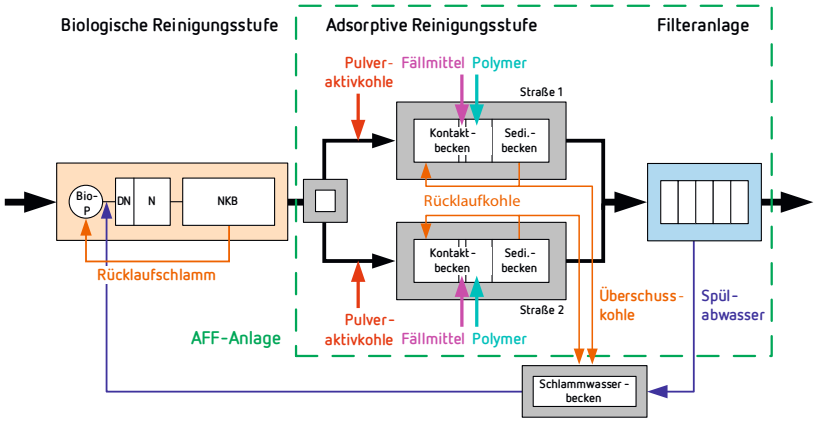


Abb. 1 Anordnung und Aufbau der AFF-Anlage

Auslegung der adsorptiven Reinigungsstufe der AFF-Anlage

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 400$ L/s

Kontaktbecken

Gesamtvolumen	$V_{KB} = 2 \times 323$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KB} = 27$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 2 \times 230$ m³
Tatsächliche Oberfläche	$A_{Sedi.} = 2 \times 49$ m²
Wirksame Oberfläche	$A_{wirksam, L} = 2 \times 485$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 19$ min
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi., L} = 1,5$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Hauck, T.; Kapp, H. (2006):
Untersuchungen zur Optimierung des Aktivkohleeinsatzes in der AFF-Anlage der Kläranlage Hechingen. Untersuchungsbericht im Auftrag des Landratsamt Zollernalbkreis (unveröffentlicht).

Kontaktdaten Betreiber
Stadtverwaltung Hechingen
Eigenbetrieb Entsorgung
Alte Rottenburger Straße 5, 72379 Hechingen
Herr Arndt (+49-7471-9365 63)

Verfasser
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Stand 06.2017

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Kressbronn-Langenargen**

Veranlassung und Ziele

Der Zweckverband Abwasserreinigung Kressbronn-Langenargen betreibt auf seiner Kläranlage, welche ihr gereinigtes Abwasser direkt in den Bodensee einleitet, seit Juli 2011 eine zusätzliche Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen. Der Bau einer solchen Anlage wurde auf freiwilliger Basis aus Gründen des vorsorgenden Gewässerschutzes beschlossen, insbesondere auch im Hinblick auf die Bedeutung des Bodensees zur Trinkwasserversorgung.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

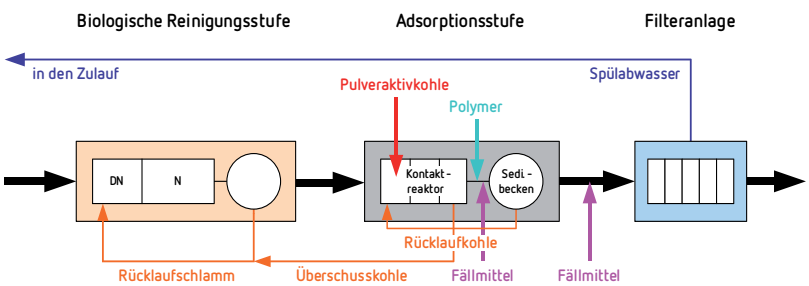


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess

Zur Spurenstoffelimination wird auf der Kläranlage Kressbronn-Langenargen Pulveraktivkohle eingesetzt.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	24.000 E
Belastung*	25.600 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	252 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	2,3 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Grobrechen, Sand- und Fettfang, Feinrechen, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage
Filteranlage	Zweischichtfilter (0,65 m Quarzsand, 0,65 m Anthrazitkohle)

* Mittelwert der Jahre 2010 bis 2012; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt hierbei im Wesentlichen nach der biologischen Behandlung und vor der bestehenden Filtration in einer 1-straßigen Adsorptionsstufe, bestehend aus einem als 3er Kaskade ausgeführten Kontaktreaktor und einem runden Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens wird die teilbeladene Pulveraktivkohle als ›Überschusskohle‹ in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt.

Der Ausbau der Anlage erfolgte für den Vollstrom. Die maximal in der Adsorptionsstufe behandelbare Wassermenge beträgt einschließlich des in den Zulauf der Kläranlage zurückgeförderten Spülabwassers 265 L/s.

Kontaktdaten Betreiber

Zweckverband Abwasserreinigung Kressbronn-Langenargen
Im Eichert 3, 88079 Kressbronn
Herr Müller bzw. Herr Brielmayer (+49-7543-9617 0)

Verfasser

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 265$ L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	3
Volumen je Becken	$V_{Becken} = 184$ m³
Gesamtvolumen	$V_{KR} = 552$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 35$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 2.540$ m³
Oberfläche	$A_{Sedi.} = 615$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 2,6$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.} = 1,6$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Rölle, R.; Kuch, B. (2011):
Die Aktivkohlebehandlungsstufe auf der Kläranlage Kressbronn. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2011 (58) Nr. 11, S. 1038-1049.

Rölle, R.; Weißert, R. (2013):
Effizienz und Kosten bei der Spurenstoffentnahme durch Aktivkohle. Vortrag bei der DWA-Landesverbandstagung Baden-Württemberg am 18. Oktober 2013 in Friedrichshafen. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

Rößler, A.; Metzger, S. (2013):
Einfahrbetrieb der adsorptiven Reinigungsstufe auf der Kläranlage Kressbronn-Langenargen - Bestandsaufnahme und Erarbeitung eines Optimierungskonzepts (unveröffentlicht).

Stand 06.2014

KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Lahr**

Veranlassung und Ziele

Die Kläranlage Lahr leitet ihr gereinigtes Abwasser in den Schutter-Entlastungskanal ein, der als „künstliches" Gewässer der Hochwasserentlastung dient und dessen Wasserqualität bei Trockenwetter maßgeblich durch den Ablauf der Kläranlage bestimmt wird. Im Zuge der Neuerteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis hat der Abwasserverband Raumschaft Lahr, als Alternative zum Bau einer mehreren Kilometer langen Abwasserleitung zum Rhein, die Errichtung einer zusätzlichen adsorptiven Reinigungsstufe auf seiner Kläranlage beschlossen, um zukünftig die Abwasserreinigung signifikant zu verbessern. Der Entscheidung vorausgegangen waren halbtechnische Untersuchungen in den Jahren 2010/2011, die gezeigt hatten, dass mit dieser Verfahrenstechnik insbesondere die Konzentrationen von Spurenstoffen in einem hohen Umfang reduziert werden können.

Der Probebetrieb der neuen Reinigungsstufe wurde Ende Juni 2015 aufgenommen.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

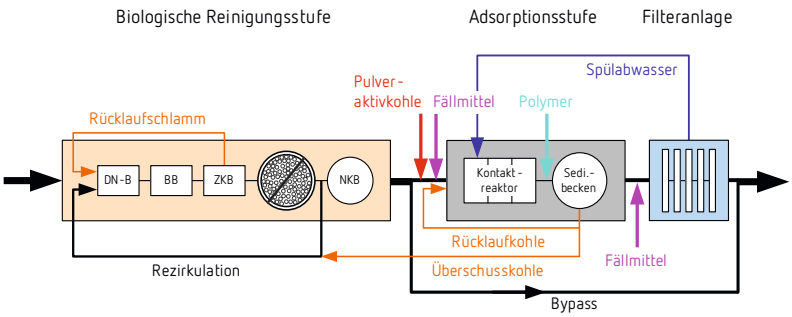


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage in den bisherigen Verfahrensprozess

Die Spurenstoffelimination erfolgt auf der Kläranlage Lahr durch die Anwendung von Pulveraktivkohle.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	100.000 E
Belastung*	70.100 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	650 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	7 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Feinrechen, Sand- und Fettfang
Biologische Stufe	Zweistufige Anlage bestehend aus Hochlastbelebung und Tropfkörpern

* Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt im Wesentlichen nach der biologischen Reinigung in der Adsorptionsstufe, bestehend aus einem als 3er Kaskade ausgeführten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Die Ausschleusung der teilbeladenen Pulveraktivkohle aus der Adsorptionsstufe erfolgt in Form des Abzugs von ›Überschusskohle‹, die zur weiteren Ausnutzung dem Rezirkulationsstrom der biologischen Stufe zugegeben wird und über diesen letztlich in den Zulauf des Denitrifikationsbeckens gelangt.

Die für die Feststoffabtrennung benötigte Filteranlage wurde ebenfalls neu errichtet. Ausgeführt ist diese als Tuchfilter (➔ Abb. 2). Damit ist die Kläranlage Lahr die erste Anlage, die nach der Adsorptionsstufe einen Tuchfilter anstelle eines klassischen Zweischichtfilters einsetzt. Die generelle Eignung der Tuchfiltration für den hier vorliegenden Anwendungsfall wurde durch halbtechnische Vorversuche auf der Kläranlage Lahr bereits bestätigt.

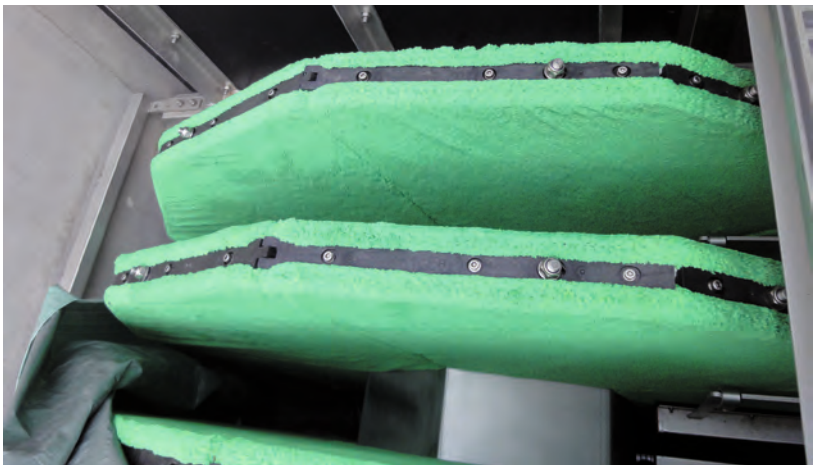


Abb. 2 Tuchfilterscheiben vor der Inbetriebnahme

Sowohl die Adsorptionsstufe als auch die Filteranlage wurden für die Behandlung eines Teilstroms konzipiert. Beide Verfahrensstufen können maximal mit einer Abwassermenge von 350 L/s beaufschlagt werden. Mit dieser Auslegung auf lediglich rund 55 Prozent des maximalen Mischwasserzuflusses wird jedoch etwa 90 Prozent der gesamten jährlichen Abwassermenge auch adsorptiv sowie in der Filteranlage behandelt.

Kontaktdaten Betreiber

Abwasserverband Raumschaft Lahr
Limbruchweg 14, 77933 Lahr
Herr Dr. Anders (+49-7821-922899 11)
gereon.anders@av-lahr.de

Verfasser

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.}$ = 350 L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	3
Volumen je Becken	V_{Becken} = 326 m³
Gesamtvolumen	V_{KR} = 978 m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR}$ = 47 min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.}$ = 3.550 m³
Oberfläche	$A_{Sedi.}$ = 900 m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.}$ = 2,8 h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.}$ = 1,4 m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Kapp, H. (2010):
Weitergehende Entnahme von organischen Schadstoffen im Abwasser des Klärwerks Lahr mit Hilfe von Pulveraktivkohle. Untersuchungsbericht im Auftrag des Abwasserverbands Raumschaft Lahr (unveröffentlicht).

Kapp, H. (2011):
Feststoffabtrennung nach der Adsorptionsstufe mit Hilfe der Tuchfiltration im Klärwerk Lahr. Untersuchungsbericht im Auftrag des Abwasserverbands Raumschaft Lahr (unveröffentlicht).

Anders, G. (2014):
Umsetzung der 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage Lahr. Vortrag beim KomS-Technologieforum Spurenstoffe am 17. Juli 2014 in Neu-Ulm. Veröffentlicht im Tagungsband.

Stand 08.2015

KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Laichingen**

Veranlassung und Ziele

Die Kläranlage Laichingen liegt im Karstgebiet der Schwäbischen Alb. Da in erreichbarer Nähe der Kläranlage kein Fließgewässer vorhanden ist, in welches das gereinigte Abwasser eingeleitet werden könnte, wird es über ein Speicher- und Sickerbecken gezielt im Karst versickert. Das Abwasser kann somit relativ schnell ins Karstgrundwasser gelangen und über weite Strecken transportiert werden. Um eine weitestgehende Reinigung des Abwassers, gerade auch im Hinblick auf die Bedeutung des Grundwassers zur Trinkwassergewinnung, sicherzustellen, wurde im Zuge der Verlängerung der wasserrechtlichen Einleiteerlaubnis daher der Bau einer zusätzlichen Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen gefordert. Gleichzeitig soll mit der neuen Verfahrenstechnik sowohl der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen als auch der CSB-Ablaufwert signifikant verringert werden.
Der Probebetrieb der neuen Reinigungsstufe wurde im November 2015 aufgenommen.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

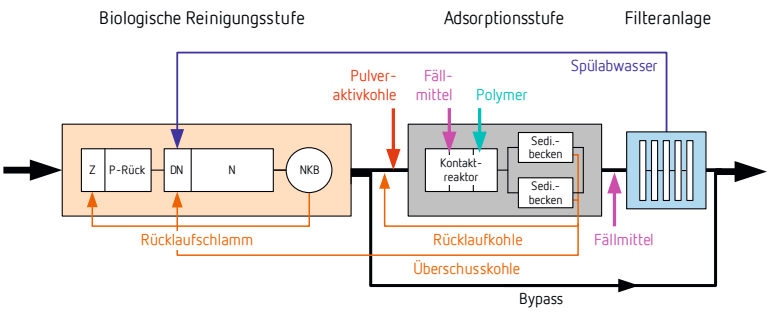


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage in den bisherigen Verfahrensprozess

Zur Spurenstoffelimination wird auf der Kläranlage Laichingen Pulveraktivkohle eingesetzt.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	35.000 E
Belastung*	29.600 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	195 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	1,2 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Grobrechen, Sand- und Fettfang, Feinrechen
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisierung

* Mittelwert der Jahre 2012 bis 2014; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt im Wesentlichen nach der biologischen Reinigung in der Adsorptionsstufe, bestehend aus einem als 3er Kaskade ausgeführten Kontaktreaktor und zwei nachgeschalteten, parallel betriebenen Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Die Ausschleusung der teilbeladenen Pulveraktivkohle aus der Adsorptionsstufe erfolgt in Form des Abzugs von „Überschusskohle", die zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens in das Denitrifikationsbecken gefördert wird.

Die für die Feststoffabtrennung benötigte Filteranlage wurde ebenfalls neu errichtet. Ausgeführt ist diese als Tuchfilter.

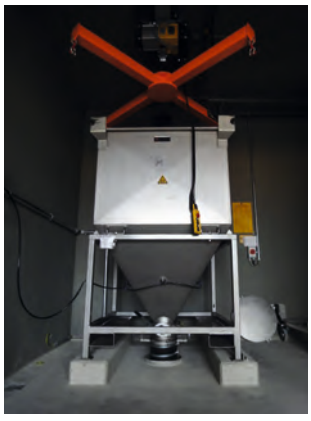


Abb. 2
Wechselcontainer für die Bevorratung der Pulveraktivkohle

Eine Besonderheit der Kläranlage Laichingen stellt die Art der Pulveraktivkohlebevorratung dar. Diese erfolgt nicht, wie sonst üblich, in einem Silo, sondern in Wechselcontainern (➔ Abb. 2), welche jeweils ein Volumen von ca. 2 m³ aufweisen.

Sowohl die Adsorptionsstufe als auch die Filteranlage wurden für den Regelbetrieb als Teilstrombehandlung konzipiert. Bei der gewählten Bemessungsmenge von 100 L/s werden rund 90 Prozent der gesamten jährlichen Abwassermenge unmittelbar in der Adsorptionsstufe sowie in der Filteranlage behandelt. Im Hinblick auf die rein hydraulische Leistungsfähigkeit wurde jedoch gefordert, dass die Anlage mit dem gesamten Mischwasserzufluss von 195 L/s beaufschlagt werden kann. Aus diesem Grund wurden die Sedimentationsbecken zur Vergrößerung der wirksamen Oberfläche zusätzlich mit Lamellenabscheidern ausgerüstet.

Kontaktdaten Betreiber
Stadtverwaltung Laichingen
Tiefbauamt
Bahnhofstr. 26, 89150 Laichingen
Herr Thiede (+49-7333-5725)

Verfasser
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 100$ L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	3
Volumen je Becken	$V_{Becken} = 90$ m³
Gesamtvolumen	$V_{KR} = 270$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 45$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 2 \times 365$ m³
Tatsächliche Oberfläche	$A_{Sedi.} = 2 \times 87$ m²
Wirksame Oberfläche	$A_{wirksam, L} = 2 \times 173$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 2{,}0$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.} = 1{,}0$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Baur, S. (2014):
Planung der 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage Laichingen. Vortrag beim Expertenforum Kläranlage am 27. November 2014 in Stuttgart, veranstaltet vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg. Veröffentlicht im Tagungsband.

Stand 02.2016

KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Langwiese**

Veranlassung und Ziele

Die Kläranlage Langwiese leitet ihr gereinigtes Abwasser über die Schussen in den Bodensee ein. Aufgrund der dichten Besiedelung und der starken industriellen wie auch landwirtschaftlichen Nutzung im Einzugsgebiet der Schussen, gehört sie zu den am stärksten mit Spurenstoffen belasteten Bodenseezuflüssen. Aus Gründen des vorsorgenden Gewässerschutzes, insbesondere auch im Hinblick auf die Bedeutung des Bodensees zur Trinkwasserversorgung, hat sich der Abwasserzweckverband Mariatal, Ravensburg, daher auf freiwilliger Basis zum Bau einer zusätzlichen Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen entschlossen. Die Inbetriebnahme der neuen Reinigungsstufe erfolgte im Oktober 2013.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

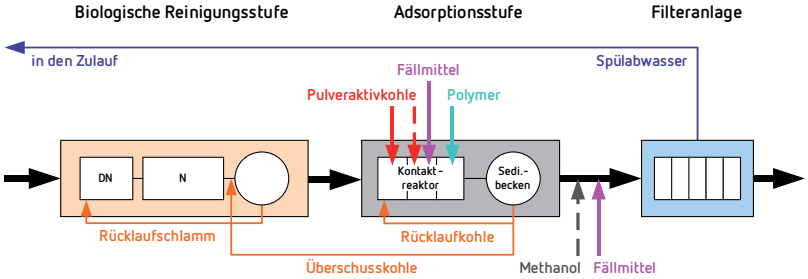


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess

Die Spurenstoffelimination erfolgt auf der Kläranlage Langwiese durch die Anwendung von Pulveraktivkohle.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	184.000 E
Belastung*	200.300 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	1.100 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	16 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Feinrechen, Sand- und Fettfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage
Filteranlage	Zweischichtfilter (0,70 m Quarzsand, 1,00 m Anthrazit) mit Restdenitrifikation

* Mittelwert der Jahre 2010 bis 2012; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt hierbei im Wesentlichen nach der biologischen Behandlung und vor der bestehenden Filtration in einer 1-straßigen Adsorptionsstufe, bestehend aus einem als 3er Kaskade ausgeführten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten, runden Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens wird die teilbeladene Pulveraktivkohle als ›Überschusskohle‹ in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt.

Der Ausbau der Adsorptionsstufe in der Kläranlage Langwiese erfolgte für den Vollstrom. Damit ist diese Anlage, bezogen auf den maximal adsorptiv behandelbaren Volumenstrom, aktuell die größte ihrer Art in Deutschland.

SchussenAktiv*plus*

Im wissenschaftlichen Projekt ›SchussenAktiv*plus*‹ wird untersucht, inwiefern sich der Gehalt an Spurenstoffen und Keimen im Bodenseezufluss Schussen durch weitergehende Maßnahmen an Kläranlagen und Regenüberlaufbecken unterschiedlicher Größe reduzieren lässt und welche Auswirkungen sich hierdurch konkret für die Gewässerorganismen wie beispielsweise Fische, wirbellose Tiere oder Pflanzen ergeben. Im Rahmen des Projekts werden noch bis Ende 2014 u.a. die Auswirkungen der verbesserten Ablaufqualität der Kläranlage Langwiese aufgrund der in Betrieb genommenen Adsorptionsstufe bewertet. Die Ergebnisse des Monitorings zur Erfassung des Gewässerzustands vor Umsetzung der neuen Verfahrenstechnik sind in einem Abschlussbericht zusammengefasst. Dieser steht unter www.schussenaktivplus.de/de/publikationen zum Download bereit.

Kontaktdaten Betreiber
Abwasserzweckverband Mariatal
Klärwerk Langwiese
Langwiese 1, 88213 Ravensburg
Herr Härdtner (+49-751-76943 14)

Klärwerk Langwiese

Verfasser
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 1.100$ L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	3
Volumen je Becken	$V_{Becken} = 1.250$ m³
Gesamtvolumen	$V_{KR} = 3.750$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 57$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 8.500$ m³
Oberfläche	$A_{Sedi.} = 2.040$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 2,1$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.} = 1,9$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Baur, S. (2011):
Realisierung der hydraulisch größten Aktivkohleadsorptionsanlage in Baden-Württemberg. Vortrag beim Seminar ›Elimination von Mikroschadstoffen in Abwässern‹ am 31. März 2011 in Ulm, veranstaltet von der Bezirksgruppe Ulm des BWK-Landesverbands Baden-Württemberg.

Jedele, K. (2013):
Abwasser- und verfahrenstechnische Ansätze zur Spurenstoffelimination im Einzugsgebiet Bodensee. Vortrag bei der DWA-Landesverbandstagung Baden-Württemberg am 18. Oktober 2013 in Friedrichshafen. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

Stand 06.2014

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Mannheim**

Veranlassung und Ziele

In der Kläranlage Mannheim erfolgte im Sommer 2010 erstmals die Umsetzung der von der Hochschule Biberach in Zusammenarbeit mit dem Zweckverband Klärwerk Steinhäule entwickelten adsorptiven Verfahrenstechnik zur Elimination von Spurenstoffen im großtechnischen Maßstab. Zum damaligen Zeitpunkt für ein Fünftel der zukünftig vorgesehenen Ausbaugröße realisiert, wurden zunächst über mehrere Jahre Betriebserfahrungen mit der neuen Technik erlangt. Nach Abschluss der zwischenzeitlich erfolgten Erweiterungsmaßnahmen wurde die adsorptive Reinigungsstufe im Juli 2016 offiziell in Betrieb genommen.

Das Ziel der Stadtentwässerung Mannheim ist es, mit dieser Maßnahme, welche auf freiwilliger Basis erfolgt, den Frachteintrag von Spurenstoffen in den Rhein signifikant zu verringern und gleichzeitig die noch im Abwasser vorhandene gelöste Restorganik weiter abzusenken.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

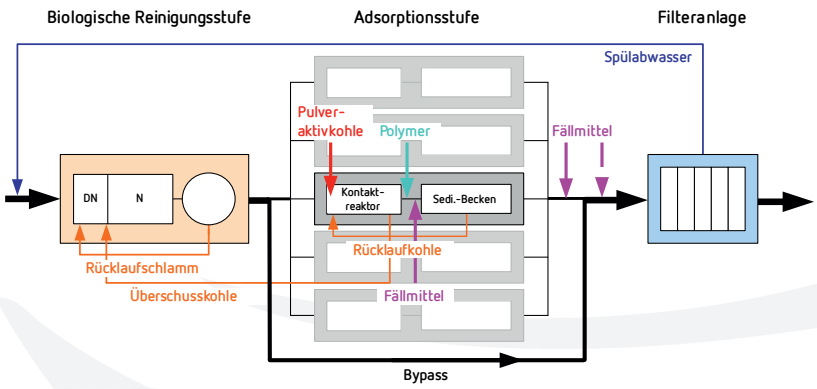


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess

Zur Spurenstoffelimination wird auf der Kläranlage Mannheim Pulveraktivkohle eingesetzt.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	725.000 E
Belastung*	576.300 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	4.000 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	32 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Grob- und Feinrechen, Sandfang, Fettfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage
Filteranlage	Zweischichtfilter mit Stützschicht (0,25 m Kies, 0,55 m Quarzsand, 1,00 m Blähschiefer)

* Mittelwert der Jahre 2013 bis 2015; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt hierbei im Wesentlichen nach der biologischen Behandlung und vor der bestehenden Filtration in einer Adsorptionsstufe, die unter Umnutzung von vorhandenen Becken der Regenwasserbehandlung realisiert wurde und aus insgesamt 5 Straßen besteht. Die Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess kann → Abb.1 entnommen werden. Sämtliche Straßen, bestehend aus jeweils einem Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken, wurden hierbei baugleich ausgeführt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die jeweiligen Dosierstellen für die Hilfsstoffe wie auch die Führung der Rücklaufkohle in der Abbildung allerdings nur für eine Straße dargestellt. Der parallele Betrieb sämtlicher Straßen sowie die Umsetzung der Dosiertechnik im Bereich der Adsorptionsstufe ermöglicht es generell, sowohl unterschiedliche Produkte an Hilfsstoffen als auch verschiedene Dosiermengen in einem direkten Vergleich zu untersuchen.

Die Adsorptionsstufe kann, als Teilstrombehandlung konzipiert, mit einer maximalen Abwassermenge von 1.500 L/s beaufschlagt werden. Bei darüber hinausgehenden Abwassermengen wird ein Teil des Abwassers nach der Nachklärung abgeschlagen und an der Adsorptionsstufe vorbei direkt zum Filter geführt. Um einen weitestgehenden Feststoffrückhalt im Filterbett sicherzustellen, wird dem Ablauf der Adsorptionsstufe nochmals Fällmittel zugegeben. Sollten die einzuhaltenden Phosphor-Werte im Ablauf des Klärwerks dies erfordern, ist in Fällen der Bypassführung zudem eine zusätzliche Nachfällung im Verteilbauwerk des Filters möglich. Im Rahmen der Implementierung der adsorptiven Reinigungsstufe wurde das bislang vorhandene Filtermaterial durch 70 cm Quarzsand und 50 cm Hydroanthrazit ersetzt.

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 1.500$ L/s

Kontaktreaktor

Volumen	$V_{KR} = 5 \times 740$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 40$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 5 \times 2.350$ m³
Oberfläche	$A_{Sedi.} = 5 \times 945$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 2,2$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.} = 1,1$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Hein, A. (2012):
Dosierung von Pulveraktivkohle am Beispiel der Kläranlage Mannheim. Vortrag beim Symposium ›Aktivkohle im Klärwerksbetrieb‹ am 5. Juli 2012 in Sindelfingen. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

Metzger, S.; Rößler, A.; Kapp, H. (2013):
Machbarkeitsstudie zum Vorhaben ›Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung‹ (unveröffentlicht).

Metzger, S.; Rößler, A.; Kapp, H. (2012):
Spurenstoffbericht. Abschlussbericht zu dem im Auftrag des Regierungspräsidiums Karlsruhe durchgeführten Forschungsvorhaben zu Untersuchungen der Elimination von Spurenschadstoffen in der PAC-Anlage der Kläranlage Mannheim. www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Adsorptionsstufe_Spurenstoffbericht.pdf (Stand: 28.06.2016).

Rößler, A.; Metzger, S. (2016):
Application of SAC_{254} measurement for the assessment of micropollutant removal in the adsorptive treatment stage of a municipal wastewater treatment plant. Water Practice & Technology 11 (2), 503-515.

Schwentner, G.; Kremp, W.; Mauritz, A.; Hein, A.; Metzger, S.; Rößler, A. (2013):
Spurenstoffelimination in den Klärwerken.
wwt wasserwirtschaft wassertechnik, 4/2013, S. 36-41.

Kontaktdaten Betreiber
Stadtentwässerung Mannheim
Käfertaler Str. 265, 68167 Mannheim

EBS MANNHEIM Stadtentwässerung

www.mannheim.de/stadt-gestalten/stadtentwaesserung-mannheim
Herr Hein (+49-621-293 5120), Herr Minich (+49-621-293 5119)

Verfasser
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Stand 07.2016

KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Öhringen**

Veranlassung und Ziele

Die Kläranlage Öhringen, welche von der Stadt Öhringen gemeinsam mit den Gemeinden Pfedelbach und Zweiflingen als Sammelkläranlage betrieben wird, leitet ihr gereinigtes Abwasser in die Ohrn ein. Je nach Abflusssituation liegt der Anteil des Kläranlagenablaufs im Gewässer bei über 50 Prozent. Um die Gewässergüte der Ohrn nachhaltig zu verbessern, wurde die Kläranlage bereits 2012 um einen Flockungsfilter erweitert.

Mit der im März 2017 in Betrieb genommenen adsorptiven Reinigungsstufe soll primär die Spurenstoffbelastung der Ohrn vermindert und somit deren Gewässergüte weiter verbessert werden. Darüber hinaus ist es aber auch das Ziel den CSB-Ablaufwert weiter abzusenken, um auf langfristige Sicht den Schwellenwert zu unterschreiten und somit für diesen Parameter die Befreiung von der Abwasserabgabe zu erlangen.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die Spurenstoffelimination erfolgt auf der Kläranlage Öhringen durch den Einsatz von Pulveraktivkohle.

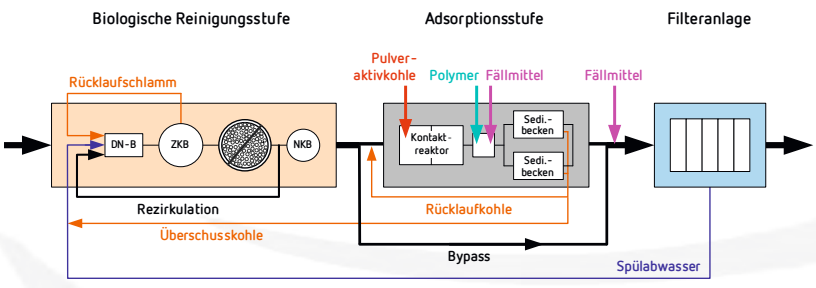


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	49.500 E
Belastung*	46.100 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	500 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	6,0 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Feinrechen, Sand- und Fettfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Zweistufige Anlage bestehend aus Hochlastbelebung und Tropfkörpern
Filteranlage	Zweischichtfilter mit Stützschicht (0,20 m Kies, 0,40 m Sand, ca. 1,00 m Hydroanthrazit)

* Mittelwert der Jahre 2014 bis 2016; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt hierbei im Wesentlichen nach der biologischen Behandlung und vor der bestehenden Filtration in einer Adsorptionsstufe, bestehend aus einem Kontaktreaktor und zwei nachgeschalteten, parallel betriebenen Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Der Kontaktreaktor besteht aus zwei in Reihe geschalteten Becken. Prinzipiell ist auch ein paralleler Betrieb beider Becken möglich. Die Einmischung der für die Abtrennung der Pulveraktivkohle erforderlichen Hilfsstoffe (Polymer und Fällmittel) erfolgt in einem separaten Verteilerbauwerk zwischen dem Kontaktreaktor und den Sedimentationsbecken. ➔ Abb. 2 zeigt ein Luftbild der Anlage.

Abb. 2 Luftbild von Adsorptionsstufe und Filter
(Fotografie: Rolf Mugele)

Zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens wird die teilbeladene Pulveraktivkohle als ›Überschusskohle‹ über die Spülabwasserleitung des Sandfilters in das Denitrifikationsbecken zurückgeführt. Alternativ können beide Volumenströme auch in den Zulauf der Vorklärung gefördert werden.

Die Adsorptionsstufe kann, als Teilstrombehandlung konzipiert, mit einer maximalen Abwassermenge von 270 L/s beaufschlagt werden. Mit dieser Auslegung auf knapp 55 Prozent des maximalen Mischwasserzuflusses wird rund 90 Prozent der gesamten jährlichen Abwassermenge auch adsorptiv behandelt.

Kontaktdaten Betreiber

Sammelkläranlage Öhringen
Talwiesenweg 7, 74613 Öhringen
Herr Holtermann (+49-7941-9263-0)

Große Kreisstadt Öhringen

PFEDELBACH

Zweiflingen

Verfasser

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 270$ L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	2
Volumen je Becken	$V_{Becken} = 260$ m³
Gesamtvolumen	$V_{KR} = 520$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 32$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 2 \times 960$ m³
Oberfläche	$A_{Sedi.} = 2 \times 229$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 2{,}0$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.} = 2{,}1$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Geiger, H. (2016):
Der Öhringer Weg zur Spurenstoffeliminierung.
DIE GEMEINDE – Zeitschrift für die Städten und Gemeinden, Organ des Gemeindetags Baden-Württemberg, Eigenverlag, Stuttgart (139) 11/2016, S. 521 – 527.

Stand 06.2017

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der Kläranlage Steinhäule

Veranlassung und Ziele

Beim Zweckverband Klärwerk Steinhäule, dem u. a. die Städte Ulm und Neu-Ulm angehören, beschäftigt man sich bereits seit über 10 Jahren mit der Thematik einer verbesserten Abwasserreinigung. Ziel der in Zusammenarbeit mit der Hochschule Biberach durchgeführten Untersuchungen war es zunächst, eine geeignete Verfahrensvariante zu finden, mit welcher im Ablauf der Kläranlage der CSB-Schwellenwert von 20 mg/L dauerhaft unterschritten werden kann, um somit für diesen Parameter eine Befreiung von der Abwasserabgabe zu erlangen. In mehrjährigen Forschungsarbeiten wurde die sog. „Adsorptionsstufe" entwickelt, in welcher durch Einsatz von Pulveraktivkohle nicht nur die gelöste Restorganik verringert, sondern auch eine Vielzahl von Spurenstoffen in einem hohen Umfang aus dem Abwasser eliminiert wird.
Die offizielle Inbetriebnahme der zwischenzeitlich in den großtechnischen Maßstab überführten Adsorptionsstufe erfolgte im Februar 2015.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

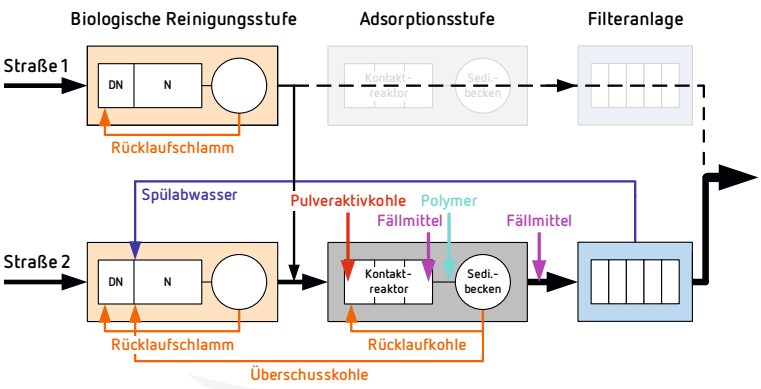


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess

Die Spurenstoffelimination erfolgt auf der Kläranlage Steinhäule durch die Anwendung von Pulveraktivkohle.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	445.000 E
Belastung*	347.200 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	2.600 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	39 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Sand- und Fettfang, Feinrechen, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage

* Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt im Wesentlichen nach der biologischen Reinigung in der Adsorptionsstufe, bestehend aus einem als 3er Kaskade ausgeführten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Die für die Feststoffabtrennung benötigte Filteranlage wurde ebenfalls neu errichtet. Ausgeführt ist diese als Zweischichtfilter (75 cm Quarzsand, 75 cm Hydroanthrazit).

Die Besonderheit der Kläranlage Steinhäule, sämtliche Reinigungsstufen 2-straßig auszuführen, wurde im Rahmen der Implementierung der neuen adsorptiven Verfahrenstechnik beibehalten. Aufgrund der Verrechnungsmöglichkeit mit der Gebühr für die Abwasserabgabe erfolgt der Ausbau jedoch stufenweise. In Betrieb befindet sich bislang der der biologischen Stufe der Straße 2 nachgeschaltete Anlagenteil. Um aber bereits heute möglichst viel Abwasser adsorptiv behandeln zu können, wird, je nach vorliegender Abwassermenge, ein mehr oder minder großer Anteil des Volumenstroms der Straße 1 dem Zulauf der Adsorptionsstufe zugeführt und ebenfalls adsorptiv sowie anschließend im Filter gereinigt ($Q_{max, ads.}$ = 1.600 L/s). Die Inbetriebnahme der zweiten Straße ist für das Jahr 2020 vorgesehen.

Durch die verfahrenstechnische Notwendigkeit einer Fällmittelzugabe im Bereich der Adsorptionsstufe sowie vor dem Filter wird nach dem Ausbau der Kläranlage für den Vollstrom nicht nur die Unterschreitung des Schwellenwerts für den CSB sondern auch für den Gesamtphosphor (P_{ges} < 0,1 mg/L) angestrebt.

Kontaktdaten Betreiber

Zweckverband Klärwerk Steinhäule
Reinzstraße 1, 89233 Neu-Ulm
www.zvk-steinhaeule.de
Herr G. Hiller (+49-731-97972 90),
Herr C. Hiller (+49-731-97972 137)

ZVK
Zweckverband
Klärwerk Steinhäule

Verfasser

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Auslegung des bislang realisierten Teils der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.}$ = 1.600 L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	3
Volumen je Becken	V_{Becken} = 1.090 m³
Gesamtvolumen	V_{KR} = 3.270 m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR}$ = 34 min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.}$ = 11.470 m³
Oberfläche	$A_{Sedi.}$ = 2.825 m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.}$ = 2,0 h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.}$ = 2,0 m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Hiller, G. (2011):
Einsatz von Pulveraktivkohle auf der Kläranlage Steinhäule. Vortrag bei der 44. Essener Tagung vom 23. bis 25. März 2011 in Aachen, veranstaltet von der Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. Veröffentlicht im Tagungsband.

Stand 08.2015

KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Stockacher Aach**

Veranlassung und Ziele

Der Abwasserverband Stockacher Aach betreibt auf seiner Kläranlage, welche ihr gereinigtes Abwasser über die Stockacher Aach in den Bodensee einleitet, seit September 2011 eine zusätzliche Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen. Der Bau einer solchen Anlage wurde auf freiwilliger Basis aus Gründen des vorsorgenden Gewässerschutzes beschlossen, insbesondere auch im Hinblick auf die Bedeutung des Bodensees zur Trinkwasserversorgung.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

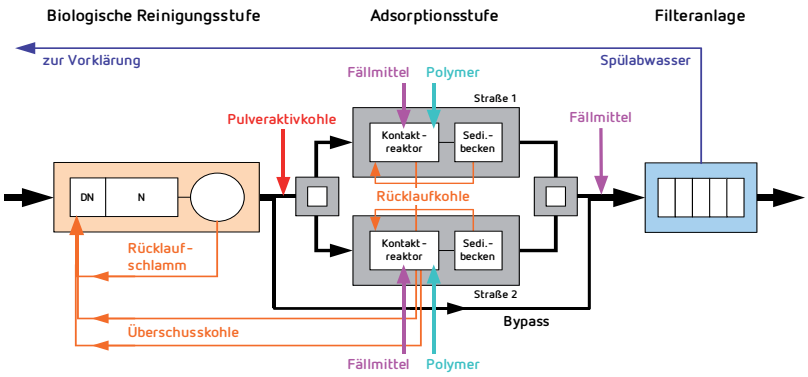


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess

Zur Spurenstoffelimination wird auf der Kläranlage Stockacher Aach Pulveraktivkohle eingesetzt.

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	43.000 E
Belastung*	56.300 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	450 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	5,7 Mio. m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Grobrechen, Sand- und Fettfang, Feinrechen, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage
Filteranlage	Zweischichtfilter (0,60 m Quarzsand, 0,80 m Anthrazit)

* Mittelwert der Jahre 2010 bis 2012; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt hierbei im Wesentlichen nach der biologischen Behandlung und vor der bestehenden Filtration in einer 2-straßigen Adsorptionsstufe, bestehend aus jeweils einem als 2er Kaskade ausgeführten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Da aufgrund beengter Platzverhältnisse ein flächensparendes Konzept umgesetzt werden musste, erfolgt auf der Kläranlage Stockacher Aach die Abtrennung des ›Kohleschlamms‹ nicht in klassischen Absetzbecken, sondern mit Hilfe von Lamellenabscheidern (➔ Abb. 2). Zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens wird die teilbeladene Pulveraktivkohle als ›Überschusskohle‹ in die Denitrifikationszone des Belebungsbeckens zurückgeführt.

Die Adsorptionsstufe kann, als Teilstrombehandlung konzipiert, mit einer maximalen Abwassermenge von 250 L/s beaufschlagt werden. Mit der Auslegung auf lediglich rund 55 Prozent des maximalen Mischwasserzuflusses wird jedoch etwa 90 Prozent der gesamten jährlichen Abwassermenge auch adsorptiv behandelt.

Abb. 2 Lamellenabscheider im Sedimentationsbecken

Kontaktdaten Betreiber
Abwasserverband Stockacher Aach
Adenauerstraße 4, 78333 Stockach
Herr Bucksch (+49-7773-5368)

Verfasser
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 250$ L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	2 x 2
Volumen je Becken	$V_{Becken} = 213$ m³
Gesamtvolumen	$V_{KR} = 2 \times 426$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 57$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 2 \times 462$ m³
Tatsächliche Oberfläche	$A_{Sedi.} = 2 \times 102$ m²
Wirksame Oberfläche	$A_{wirksam, L} = 2 \times 552$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 1{,}0$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi., L} = 0{,}82$ m/h

Veröffentlichungen und Dokumente

Rölle, R.; Weißert, R. (2013):
Effizienz und Kosten bei der Spurenstoffentnahme durch Aktivkohle. Vortrag bei der DWA-Landesverbandstagung Baden-Württemberg am 18. Oktober 2013 in Friedrichshafen. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

Rößler, A.; Metzger, S. (2013):
Einfahrbetrieb der adsorptiven Reinigungsstufe auf der Kläranlage Stockacher Aach - Bestandsaufnahme und Erarbeitung eines Optimierungskonzepts (unveröffentlicht).

Stand 06.2014

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf dem Gruppenklärwerk Wendlingen am Neckar

Veranlassung und Ziele

Das Gruppenklärwerk Wendlingen am Neckar (GKW) befindet sich in einem hoch industrialisierten und dicht besiedelten Einzugsgebiet. Daher haben sich im Dezember 2013 die Verbandsmitglieder dafür entschieden zur Verminderung von schädlichen Auswirkungen auf die aquatische Umwelt eine weitergehende Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination einzuführen.

Mit der im April 2018 in Betrieb genommenen adsorptiven Reinigungsstufe soll primär die Spurenstoffbelastung des Neckars vermindert werden. Darüber hinaus ist es aber auch das Ziel des Zweckverbands Gruppenklärwerk Wendlingen am Neckar die noch im Abwasser vorhandene gelöste Restorganik weiter abzusenken.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die Spurenstoffelimination erfolgt auf dem GKW durch die Anwendung von Pulveraktivkohle.

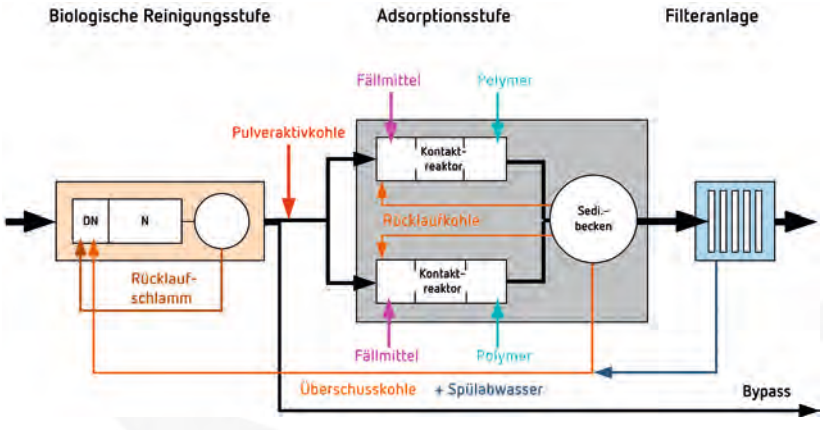


Abb. 1 Einbindung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage in den bisherigen Verfahrensprozess

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	170.213 E
Belastung	ca. 130.000 E

Zuflussmengen

Mischwasserzufluss	1.428 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	ca. 16,5 Mio m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Feinrechen, Sand- und Fettfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage
P-Elimination	Simultanfällung

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die Spurenstoffelimination auf dem GKW erfolgt durch den Einsatz von Pulveraktivkohle mit anschließender Tuchfiltration. Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt hierbei im Wesentlichen nach der biologischen Behandlung in einer Adsorptionsstufe, bestehend aus zwei Kontaktreaktoren aus jeweils drei in Reihe geschalteten Becken und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken (➔ Abb. 1). Zur weiteren Ausnutzung des Adsorbens wird die teilbeladene Pulveraktivkohle als „Überschusskohle" als auch das Spülabwasser des Tuchfilters in einer gemeinsamen Leitung in die Denitrifikationszone des Belebungsbeckens zurückgeführt.

Die Anlage ist ausgelegt für die Behandlung eines Teilstroms von bis zu 700 L/s. Mit dieser Auslegung auf 49 Prozent des maximalen Mischwasserzuflusses wird rund 88 Prozent der gesamten jährlichen Abwassermenge auch adsorptiv behandelt. Durch die hochwassersichere Höhenlage liegt der Ablauf des Tuchfilters rund fünf Meter über dem mittleren Neckarwasserniveau. Diese Fallhöhe nutzt das GKW, um durch eine Wasserkraftturbine Strom zu erzeugen. Jährlich erzeugt die Wasserkraftturbine rund 120.000 kWh Strom, womit etwa 25 Prozent des Strombedarfs der Verfahrenseinheit „Adsorptionsstufe und Tuchfilter" gedeckt werden können.

Auslegung der Adsorptionsstufe

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 700$ L/s

Kontaktreaktor

Anzahl der Becken	2 x 3
Volumen je Becken	$V_{Becken} = 210$ m³
Gesamtvolumen	$V_{KR} = 2 \times 630$ m³
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, KR} = 30$ min

Sedimentationsbecken

Volumen	$V_{Sedi.} = 5.100$ m³
Oberfläche	$A_{Sedi.} = 1.257$ m²
Minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss	$t_{A, Sedi.} = 2{,}0$ h
Maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss	$q_{A, Sedi.} = 2{,}0$ m/h

Kontaktdaten Betreiber

Zweckverband Gruppenklärwerk Wendlingen am Neckar
Vorstadtstraße 101, 73240 Wendlingen am Neckar
www.gkw-wendlingen.de
Herr Hauff (+49-7024-4055-10)
Herr Dunker (+49-7024-4055-13)

Verfasser

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Veröffentlichungen und Dokumente

Hauff, R. (2019):
Erste Betriebserfahrungen der Pulveraktivkohlestufe mit Tuchfilter im Klärwerk Wendlingen. Vortrag beim 9. KomS-Technologieforum Spurenstoffe am 16. Mai 2019 in Wernau. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

Nürtinger Zeitung (2018)
„Auf Spurensuche nach Arzneimitteln, Chemikalien und mehr", Sonderveröffentlichung 15.9.2018

GKW (2017):
„Die vierte Reinigungsstufe ist im Betrieb", Geschäftsbericht 2017 des Zweckverband Guppenklärwerk Wendlingen am Neckar

GKW (2014):
„Rein in den Neckar: Auf dem Weg zur 4. Reinigungsstufe!" Geschäftsbericht 2014 des Zweckverband Guppenklärwerk Wendlingen am Neckar

Stand 05.2019

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Spurenstoffentnahme auf der **Kläranlage Westerheim**

Veranlassung und Ziele

Die Kläranlage Westerheim liegt im Karstgebiet der Schwäbischen Alb. Da in erreichbarer Nähe der Kläranlage kein Fließgewässer vorhanden ist, in welches das gereinigte Abwasser eingeleitet werden könnte, wird es über Erdspalten gezielt im Karst versickert. Das Abwasser kann somit relativ schnell ins Karstgrundwasser gelangen und über weite Strecken transportiert werden. Um eine weitestgehende Reinigung des Abwassers, gerade auch im Hinblick auf die Bedeutung des Grundwassers zur Trinkwassergewinnung, sicherzustellen, hat sich die Gemeinde Westerheim für den Bau einer zusätzlichen Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen entschieden. Gleichzeitig soll mit der neuen Verfahrenstechnik sowohl der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen als auch der CSB-Ablaufwert verringert werden.

Der Probebetrieb der neuen Reinigungsstufe wurde im September 2016 aufgenommen.

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die Kläranlage Westerheim ist in Baden-Württemberg die erste Anlage, auf der zur Spurenstoffelimination dauerhaft granulierte Aktivkohle eingesetzt wird.

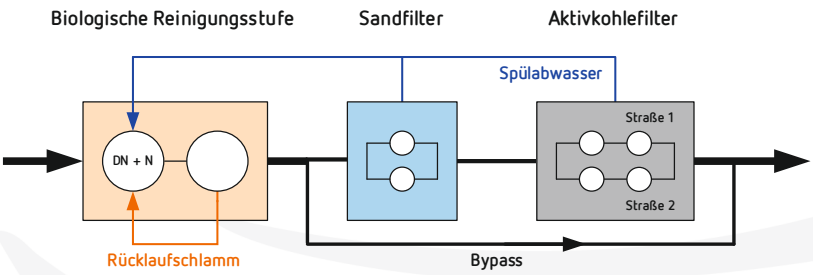


Abb. 1 Einbindung des Aktivkohlefilters und des vorgeschalteten Sandfilters in den bisherigen Verfahrensprozess

Angaben zur Kläranlage

Ausbaugröße und Belastung

Ausbaugröße	5.500 E
Belastung*	4.290 E

Zuflussmengen

Max. bei Regenwetter	55 L/s
Biologisch gereinigte Jahresabwassermenge	ca. 270.000 m³

Bisherige Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Geschieberückhaltestation, Kompakt-Anlage mit Feinrechen, Sand- und Fettfang
Biologische Stufe	Einstufige Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisierung

* Mittelwert der Jahre 2014 bis 2016; Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge

Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt nach der biologischen Reinigung in einem Aktivkohlefilter. Im Zuge der Erweiterung der Anlage wurde zusätzlich ein Sandfilter errichtet, welcher dem Aktivkohlefilter vorgeschaltet ist (➔ Abb. 1). Beide Verfahrensstufen sind in einem separaten Filtergebäude untergebracht (➔ Abb. 2).

Der Sandfilter dient dem weitestgehenden Rückhalt der aus der Nachklärung abtreibenden abfiltrierbaren Stoffe, so dass der Aktivkohlefilter mit nahezu feststofffreiem Abwasser beaufschlagt wird, wodurch sich dessen Rückspülhäufigkeit verringert. Ausgeführt ist der Sandfilter als kontinuierlich betriebener Filter, bestehend aus zwei Filtereinheiten.

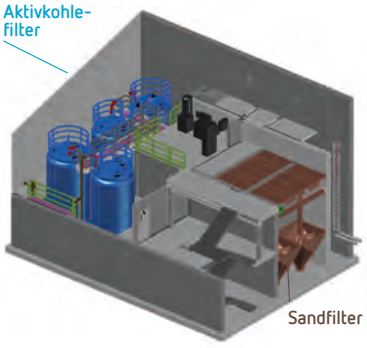


Abb. 2 Bauliche Ausführung des Filtergebäudes
(Quelle: KG - Gesellschaft für Wassertechnik und Apparatebau GmbH & Co. KG)

Der Aktivkohlefilter ist als 2-straßige Anlage ausgeführt. In jeder Straße sind zwei Druckbehälter, deren Filterbett jeweils abwärts durchströmt wird, in Reihe geschaltet. Die Rückspülung erfolgt mit Wasser aus dem Ablauf des Aktivkohlefilters.

Sowohl der Sandfilter als auch der Aktivkohlefilter wurde für die Behandlung eines Teilstroms konzipiert. Beide Verfahrensstufen können mit einer Abwassermenge von maximal 22 L/s beaufschlagt werden. Mit dieser Auslegung auf 40 Prozent des maximalen Mischwasserzuflusses wird etwa 90 Prozent der gesamten jährlichen Abwassermenge in der Filteranlage sowie adsorptiv behandelt. Während beim Sandfilter immer beide Filtereinheiten parallel in Betrieb sind, wird beim Aktivkohlefilter bei Trockenwetterzuflüssen meist nur eine Straße beschickt, wobei spätestens nach zwei Stunden ein Wechsel der Straßen erfolgt, so dass beide Straßen über den Tag betrachtet möglichst gleichmäßig beaufschlagt werden. Erhöht sich die auf den Aktivkohlefilter zu fördernde Abwassermenge auf über 11 L/s, so wird die zweite Straße zugeschaltet. Beide Straßen werden anschließend solange mit jeweils derselben Abwassermenge beschickt, bis die minimal mögliche Fördermenge der Pumpen unterschritten wird und infolgedessen eine Straße wieder außer Betrieb genommen wird.

Auslegung des Sandfilters und des Aktivkohlefilters

Maximal behandelbarer Volumenstrom	$Q_{max, ads.} = 22$ L/s

Sandfilter

Anzahl der Filtereinheiten	2
Oberfläche je Filtereinheit	$A_{Filtereinheit} = 5$ m²
Maximale Filtergeschwindigkeit	$v_{f, SF} = 7{,}9$ m/h

Aktivkohlefilter

Anzahl der Behälter	2 x 2
Oberfläche je Behälter	$A_{Behälter} = 5{,}3$ m²
Volumen je Behälter	$V_{Behälter} = 20$ m³
Volumen des Aktivkohlebetts je Behälter	$V_{GAK, Behälter} = 18$ m³
Maximale Filtergeschwindigkeit	$v_{f, GAK} = 7{,}5$ m/h
Minimale Leerbettkontaktzeit	EBCT = 55 min

Veröffentlichungen und Dokumente

Maier, W. & Rieger, A. (2016):
Granulierte Aktivkohle zur Spurenstoffentfernung auf der Kläranlage Westerheim. Vortrag beim 7. KomS-Technologieforum am 6. Oktober 2016 in Lahr, veranstaltet vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg. Veröffentlicht im Tagungsband.

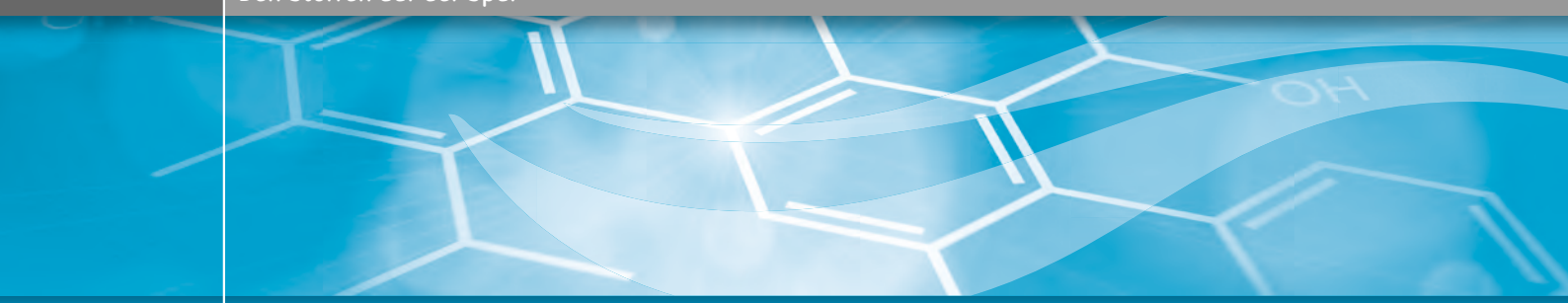
Kontaktdaten Betreiber
Gemeindeverwaltung Westerheim
Kirchenplatz 16, 72589 Westerheim
Herr Hofele (+49-7333-3328)

Verfasser
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Stand 04.2017

KOMPETENZZENTRUM
SPURENSTOFFE-BW

Den Stoffen auf der Spur



Veröffentlichungen
Baden-Württemberg

www.koms-bw.de

Reinigungsstufe Nummer vier – Treffpunkt Kommune

Baden-Württemberg rüstet immer mehr Kläranlagen mit einer weitergehenden Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination aus. Dabei werden mit verschiedenen Techniken Spurenstoffe aus dem Abwasser geholt. Ziel ist, die Gewässer wie auch die Trinkwasserressourcen künftig noch besser zu schützen.

Von Medikamenten über Pflanzenschutzmittel bis zu Industriechemikalien – eine wachsende Reihe an Substanzen im Abwasser hat das Potenzial, auch in geringen Konzentrationen die Qualität der Gewässer zu beeinträchtigen. Auf die dort lebenden Tiere und Kleinlebewesen können solche Spurenstoffe zum Beispiel ähnliche Wirkungen wie Hormone haben, was zu unnatürlichen Entwicklungen führen kann. Mit der bisherigen Kläranlagentechnik – also der mechanischen und biologischen Reinigung sowie der Phosphorfällung – lassen sich viele Spurenstoffe allerdings nur unzureichend aus dem Abwasser entfernen.

Mit einer zusätzlichen, einer vierten Reinigungsstufe ist eine deutlich weitergehende Eliminierung möglich. Da sich die vielfältigen Wechselwirkungen der Spurenstoffe auf die Gewässerökosysteme derzeit noch nicht in vollem Umfang beschreiben lassen, kommt der Entnahme dieser Verbindungen aus dem Abwasser schon aus Vorsorgegründen eine hohe Bedeutung zu. Dies trägt auch wesentlich zum Schutz der Ressource Trinkwasser bei.

In Baden-Württemberg wurden deshalb in den letzten Jahren immer mehr Anlagen mit der neuen Technik ausgerüstet, wobei das Land bundesweit eine führende Rolle übernommen hat. Heute verfügen 16 kommunale Kläranlagen im Land über eine solche Vorrichtung. 16 weitere sind im Bau oder in Planung. Somit lässt sich künftig das Abwasser von 2,1 Millionen Einwohnern deutlich besser reinigen als bisher. Als Plattform für den Wissenstransfer bei der Einführung der vierten Reinigungsstufe spielt das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg („KomS BW“) eine wichtige Rolle.

Zwei Möglichkeiten: Aktivkohle und Ozon

Zur weitergehenden Entfernung der Spurenstoffe stehen dabei prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Aktivkohle und Ozon. Beim sogenannten Ulmer Verfahren wird dem Abwasser nach der dritten Reinigungsstufe im Kontaktreaktor Pulveraktivkohle (PAK) zudosiert. Nach der Vermischung entwickelt diese im Kontaktbecken ihre Wirkung: An ihrer großen inneren Oberfläche lagern sich die Spurenstoffe an. Anschließend wird sie samt den eingelagerten Spurenstoffen im Sedimentationsbecken wieder vom Abwasser getrennt, wobei sich dieser Prozess mit Fällmitteln unterstützen lässt. Nach einer Filtration wird die Aktivkohle der Biologischen Reinigung zugeführt, um schlussendlich zusammen mit dem Klärschlamm getrocknet und verbrannt zu werden. Die meisten Anlagen mit einer vierten Reinigungsstufe in Baden-Württemberg arbeiten mit dieser Methode.

Eine weitere Möglichkeit ist, das Abwasser mit der hochaktiven Sauerstoffform Ozon zu begasen, wodurch die Spurenstoffe chemisch zerlegt werden. Dies kann je nach Zusammensetzung des Abwassers Vorteile bieten. Die erste baden-württembergische Ozonanlage wurde Anfang Oktober 2019 auf der Kläranlage Eriskirch in Betrieb genommen. Derzeit befinden sich in Baden-Württemberg

drei weitere Anlagen mit dieser Technik im Bau und in Planung.

Wie gut die bereits seit Jahren etablierte PAK-Technik funktioniert, hat das „KomS BW“ unter anderem an der Kläranlage Stockacher Aach untersucht. Dort wird die weitergehende Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination seit 2011 betrieben, vor allem im Hinblick auf den Schutz des als Trinkwasserressource dienenden Bodensees, in den der Vorfluter Stockacher Aach entwässert. Maximal können mit der PAK-Stufe 21 600 Kubikmeter täglich behandelt werden, wobei im Schnitt 9,8 Milligramm PAK pro Liter Abwasser zudosiert werden. Im Zuge einer einjährigen Messkampagne wurde festgestellt, dass bei Trockenwetter zwischen 90 und 92 Prozent der Spurenstoffe eliminiert wurden.

Eine etwas andere Technik wird derzeit in Mannheim getestet. Dort wurde das PAK-Verfahren europaweit erstmals großtechnisch eingesetzt. Mittlerweile wird das gesamte Abwasser des Klärwerks während Trockenwetter in einer PAK-Anlage gereinigt. Nun soll zusätzlich granulierte Aktivkohle (GAK) die Spurenstoffe aus einem bei Regenwetter genutzten Bypass eliminieren. 2018 summierte sich diese unbehandelte Abwassermenge auf 2,8 Millionen Liter. Um künftig auch aus diesem Bypass-Abwasser die Spurenstoffe eliminieren zu können, wurden im Rahmen eines Großversuchs drei Filterzellen mit GAK ausgerüstet. Der Erfolg ist vielversprechend, auch hier liegen die Eliminierungsraten bei mehr als 80 Prozent.

Emissionsminderung bei rund 90 Prozent

Allerdings zeigen die bisherigen Erfahrungen, dass die Spurenstoffe chemisch gesehen einen sehr weiten Bereich umfassen und die Erfolgsraten der weitergehenden Reinigungsstufe vom individuell zu behandelnden Abwasser abhängen. So ergaben Vergleichsmessungen in den Jahren 2014 bis 2019 an elf baden-württembergischen Anlagen, dass allein durch die biologische Reinigung einzelne Substanzen stark oder sogar annähernd vollständig eliminiert werden, andere dagegen nicht oder nur kaum. Auch bei der Beseitigung der Spurenstoffe in der vierten Reinigungsstufe weisen die Eliminationsraten je nach Substanz eine hohe Bandbreite auf.

Seit 2018 wird in Baden-Württemberg die Gesamtleistung einheitlich an den Eliminationsraten von sieben Substanzen gemessen, die als repräsentativ für die Gruppe der Spurenstoffe angesehen werden. Als Fazit bleibt festzuhalten, dass bei zahlreichen Spurenstoffen die Emissionsminderung bei rund 90 Prozent und damit weit über der geforderten Mindestelimination von 80 Prozent liegt.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen setzt das Land Baden-Württemberg auch weiterhin auf eine Zwei-Säulen-Strategie: Zum einen soll bereits der Eintrag von Spurenstoffen so weit wie möglich vermieden werden, etwa durch Aufklärungskampagnen, dass Arzneimittel nicht in der Toilette entsorgt werden sollen. Zum anderen wird die Aufrüstung von Klärwerken mit der weitergehenden Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination unter bestimmten Bedingungen gefördert.

Die Kosten für den Betrieb halten sich in Grenzen. Sie liegen einer detaillierten Untersuchung an sechs Anlagen zufolge in der PAK-Stufe zwischen 3,9 und 7,0 Cent je Kubikmeter behandelten Abwassers. Deutlich stärker schwanken dagegen die für die PAK-Aufrüstung erforderlichen Kapitalkosten: Sie liegen zwischen 4,9 und 20,6 Cent je Kubikmeter. Allerdings investiert das Land Baden-Württemberg großzügig in die Förderung der Aufrüstung. Werden Fördermittel und Einsparungen durch eine bessere Reinigung mit berücksichtigt, so ergeben sich insgesamt Mehrkosten zwischen 8,6 und 20,6 Cent je Kubikmeter – entsprechend zwischen 3,8 und 11,5 Euro je Einwohner

und Jahr.

Marie Launay / André Hildebrand

Die Autoren
Dr.-Ing. Marie Launay ist Leiterin des Kompetenzzentrums Spurenstoffe Baden-Württemberg, André Hildebrand ist Geschäftsführer des baden-württembergischen Landesverbandes der DWA und für die Öffentlichkeitsarbeit des „KomS BW“ zuständig

Info: Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS BW) wurde 2012 gegründet mit dem Ziel, als Plattform für den Wissenstransfer die neue Technik der Spurenstoffeliminierung wissenschaftlich zu begleiten und die Betreiber bei der Erweiterung ihrer Anlagen zu unterstützen. Getragen wird es von der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem Landesverband Baden-Württemberg der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA).

Praxiserfahrungen zum Einkauf und zur Qualitätskontrolle von Pulveraktivkohle bei der kommunalen Abwasserbehandlung

Annette Rößler (Stuttgart) und Aline Meier (Dübendorf/Schweiz)

Zusammenfassung

Insbesondere in Baden-Württemberg wird bereits seit einigen Jahren auf mehreren Kläranlagen Pulveraktivkohle zur gezielten Spurenstoffentnahme eingesetzt. Die Eignung eines Produkts für den vorliegenden Anwendungsfall lässt sich jedoch nicht mit klassischen Kenngrößen wie zum Beispiel der Iodzahl oder der Nitrobenzolzahl beschreiben. Mit einer Umfrage sollten daher die bisherigen Praxiserfahrungen zusammengetragen werden, nach welchen Kriterien der Einkauf von Pulveraktivkohle erfolgt und ob die Qualität der gelieferten Charge mittels Eigenkontrolle überprüft wird. Die Auswertungen zeigen, dass der Qualität des eingekauften Produkts bislang in vielen Fällen kaum Bedeutung beigemessen wird und dass bei der Kaufentscheidung oftmals nicht die Wirtschaftlichkeit, sondern allein der Preis pro Kilogramm oder Tonne ausschlaggebend ist. Auf Grundlage der vorhandenen Erfahrungen werden Empfehlungen für den Einkauf und die Eigenkontrolle der Pulveraktivkohlequalität ausgesprochen.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Pulveraktivkohle, Einkauf, Qualität, Spurenstoff, Elimination

DOI: 10.3242/kae2019.02.005

Abstract

Practical experiences with the procurement and quality assurance of activated carbon powder for urban wastewater treatment

Several sewage treatment plants have used activated carbon powder for the targeted removal of trace elements for a number of years now, especially in the state of Baden-Württemberg. However, the suitability of a product for the use case in question cannot be described using traditional parameters, such as its iodine or nitrobenzene numbers. A survey thus aimed to compile practical lessons learned to date with the criteria used to procure activated carbon powder and whether the quality of the delivered batch is checked using self-monitoring. Analyses show that little importance has been attached to the quality of the purchased product in many cases. When making buying decisions, it is often the price per kilogram or tonne alone rather than its cost-effectiveness that is key. Recommendations are made for procurement and self-monitoring of activated powder carbon quality based on the lessons learned to date.

Key words: wastewater treatment, municipal, activated carbon powder, procurement, quality, trace substances, elimination

1 Einleitung

Zwischenzeitlich wird auf mehreren Kläranlagen Pulveraktivkohle zur gezielten Spurenstoffentnahme aus dem Abwasser eingesetzt. Hinsichtlich des Einkaufs von Pulveraktivkohle besteht jedoch für die Betreiber solcher Anlagen die Schwierigkeit, dass es keine standardisierten Parameter gibt, mit denen die Anforderungen an die Reinigungsleistung einer Pulveraktivkohle beschrieben werden können. Aus diesem Grund wird der Einkauf von Pulveraktivkohle auf den einzelnen Anlagen in unterschiedlicher Weise, teilweise auch unter Festlegung eigener Qualitätskriterien, gehandhabt.

Vergleichsweise wenig Erfahrung ist darüber hinaus in Bezug auf eine mögliche, selbst durchzuführende Qualitätskontrolle der angelieferten Chargen vorhanden. Wird diese überhaupt durchgeführt? Wenn ja, wie? Und welche Parameter werden gemessen?

Um die Praxiserfahrungen zu diesen beiden Themen zu bündeln, wurde vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg und der schweizerischen VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ eine gemeinschaftliche Fragebogenaktion durchgeführt. Ziel dieser Erhebung war zunächst die Erfassung des „Ist-Zustandes“, um darauf basierend den jetzigen und zukünftigen Kläranlagenbetreibern solcher Verfahren Tipps und Hinweise für den Einkauf von Pulveraktivkohle und einer möglichen Eigenkontrolle der Pulveraktivkohlequalität geben zu können.

2 Durchführung der Fragebogenaktion

Der Fragebogen wurde gemeinsam entworfen und Ende 2017 über das jeweilige „Kompetenzzentrum“ an die Betreiber der

Pulveraktivkohleanlagen in Baden-Württemberg und in der Schweiz versandt. Da in der Schweiz zum Zeitpunkt der Umfrage nur auf einer Anlage Pulveraktivkohle im großtechnischen Maßstab eingesetzt wurde, wurden dort zwei weitere Kläranlagenbetreiber, die allerdings erst 2018 mit einem Pulveraktivkohleverfahren in Betrieb gehen werden, in die Fragebogenaktion miteinbezogen. Über die DWA-Arbeitsgruppe KA-8.6 „Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen" wurde der Fragebogen zudem an eine Kläranlage in Nordrhein-Westfalen weitergeleitet.

3 Datengrundlage/Rücklauf der Fragebögen

Der Fragebogen wurde an insgesamt 15 Kläranlagenbetreiber versandt. In Tabelle 1 sind die 14 Anlagen aufgeführt, für die letztlich ein ausgefüllter Fragebogen vorlag. Die Antworten der Kläranlagen Schönau und Thunersee werden in den nachfolgenden Auswertungen nicht berücksichtigt, da dort zum Zeitpunkt der Durchführung der Fragebogenaktion noch keine Praxiserfahrungen zum Einkauf und zur Qualitätskontrolle der Pulveraktivkohle vorlagen. Auf den übrigen Anlagen wird in der überwiegenden Anzahl seit drei bis sieben Jahren Pulveraktivkohle eingesetzt, sodass dort bereits mehrjährige Praxiserfahrungen vorliegen.

Der jährliche Verbrauch an Pulveraktivkohle ist abhängig von der adsorptiv behandelten Jahresabwassermenge, der spezifisch dosierten Menge an Pulveraktivkohle sowie der Adsorptionsleistung des eingesetzten Produkts. Abbildung 1 zeigt die Jahresverbräuche an Pulveraktivkohle in Abhängigkeit von der Ausbaugröße der Kläranlagen. Demnach lassen sich grob zwei Gruppen ausmachen: Anlagen mit einer Ausbaugröße von bis zu 100 000 E und Jahresverbrauchsmengen zwischen 10 und 65 t sowie Anlagen mit einer Ausbaugröße von über 100 000 E und einem jährlichen Verbrauch zwischen 120 und 275 t Pulveraktivkohle. Dies bedeutet gleichzeitig, dass auf den Kläranlagen etwa einmal pro Jahr bis hin zu alle drei bis vier Wochen ein Silozug mit Pulveraktivkohle angeliefert wird.

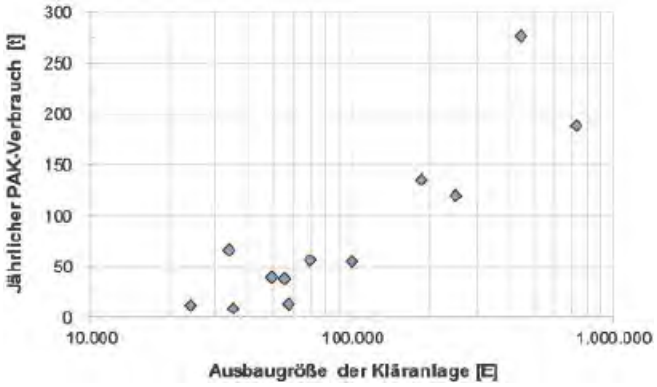


Abb. 1: Jahresverbrauch an Pulveraktivkohle in Abhängigkeit von der Größe einer Kläranlage (Bezugsjahr: 2016 bzw. 2017)

4 Einkauf der Pulveraktivkohle

4.1 Vergabearten

Der Einkauf der Pulveraktivkohle erfolgt in den meisten Fällen bislang mittels freihändiger Vergabe. Auf neun von zwölf Kläranlagen findet diese Form der Vergabe Anwendung (Abbildung 2). Auf einer Kläranlage wird eine beschränkte Ausschreibung durchgeführt und auf zwei weiteren Anlagen erfolgt, aufgrund der Überschreitung des EU-Schwellenwerts von derzeit 221 000 € für Liefer- und Dienstleistungen (Stand: Februar 2018), ein offenes Verfahren bzw. ein nicht offenes Verfahren mit vorgeschaltetem Teilnahmewettbewerb.

Bei der freihändigen Vergabe holen sich die Kläranlagenbetreiber meist bei vier oder mehr Aktivkohleherstellern ein Angebot ein, wobei das jeweils „angefragte" Pulveraktivkohleprodukt in der Regel bereits vorab feststeht, da bevorzugt auf Produkte zurückgegriffen wird, die sich bei der Spurenstoffelimination aus kommunalem Abwasser bereits bewährt haben (Tabelle 2). Von Bedeutung sind hierbei sowohl die eigenen Er-

Name der Kläranlage	Land	Ausbaugröße	Inbetriebnahme des PAK-Verfahrens
Kressbronn-Langenargen	Baden-Württemberg	24 000 E	2011
Bachwis (Herisau)	Schweiz	34 000 E	2015
Laichingen	Baden-Württemberg	35 000 E	2015
Öhringen	Baden-Württemberg	49 500 E	2017
Dülmen	Nordrhein-Westfalen	55 000 E	2015
Hechingen	Baden-Württemberg	57 200 E	1999
Stockacher Ach	Baden-Württemberg	69 000 E	2011
Lahr	Baden-Württemberg	100 000 E	2015
Schönau (Cham)	Schweiz	181 000 E	2019
Langwiese (Ravensburg)	Baden-Württemberg	184 000 E	2013
Thunersee	Schweiz	200 000 E	2018
Böblingen-Sindelfingen	Baden-Württemberg	250 000 E	2011
Steinhäule (Ulm/Neu-Ulm)	Baden-Württemberg	445 000 E	2015
Mannheim	Baden-Württemberg	725 000 E	2010

Tabelle 1: Kläranlagen, die an der Fragebogenaktion teilgenommen haben

Aktivkohlehersteller	Produkt
Cabot	Norit SAE SUPER
CarboTech AC	PAK C 880 SR
Chemviron Carbon	PULSORB WP 235
CSC	pharmA-clean
Donau Carbon	Carbopal AP
Jacobi Carbons	AquaSorb XP-W

Tabelle 2: Bislang für die Spurenstoffelimination bewährte Pulveraktivkohleprodukte

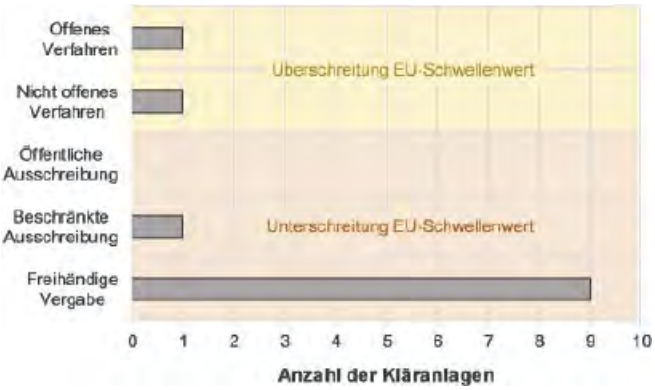


Abb. 2: Für den Einkauf von Pulveraktivkohle genutzte Vergabearten gemäß VOL

fahrungen als auch die Empfehlungen von Kollegen anderer Kläranlagen bzw. von unabhängigen Institutionen. Die Antworten zur Frage, wie häufig eine Angebotsanfrage durchgeführt wird, reichen von „für jede Lieferung neu“ bis hin zu „für den Zeitraum eines Jahres“. Gerade bei kleineren Kläranlagen, deren Verbrauch lediglich rund 10–30 t pro Jahr beträgt und die folglich nur ein bis zwei Mal im Jahr mit Pulveraktivkohle beliefert werden, decken sich beide Antworten. Eine konkrete Aussage zur Häufigkeit einer Angebotsanfrage lässt sich demnach nur schwer treffen. Eine öffentliche Ausschreibung wurde bislang noch von keinem Betreiber durchgeführt, jedoch ist eine solche auf einer Anlage für die Zukunft geplant.

4.2 Anforderungen an das Pulveraktivkohleprodukt

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand gibt es bislang keine standardisierten Parameter, anhand derer die Anforderungen an die Reinigungsleistung einer Pulveraktivkohle beschrieben werden können. Die klassischen Kenngrößen, wie zum Beispiel Iodzahl, Nitrobenzolzahl oder BET-Oberfläche, eignen sich hierfür nicht [1]. Neben der Adsorptionsleistung eines Produkts, die sich nur in einem Rührversuch ermitteln lässt, gibt es jedoch noch weitere „Qualitätsanforderungen“, die sich gegenüber dem Aktivkohlehersteller spezifizieren lassen. Besonders häufig wurden hierbei der Nachweis der Eignung des Produkts zur Spurenstoffelimination aus kommunalem Abwasser (zum Beispiel durch Vorlage einer Referenzliste, welche die bisherige erfolgreiche Anwendung des Produkts im großtechnischen Maßstab bestätigt) sowie der maximale Wassergehalt genannt (Abbildung 3). Für den maximalen Wassergehalt einer Pulveraktivkohle wird je nach Hersteller ein Wert zwischen 5 und 10 Gewichtsprozent garantiert. Einzelne Betreiber gehen von 10 Gewichtsprozent aus, wichten aber, sofern ein Herstel-

Abb. 3: Von den Kläranlagenbetreibern gestellte Anforderungen an ein Pulveraktivkohleprodukt

ler dauerhaft einen geringeren Wassergehalt garantiert, dies über den Preis. Andere Betreiber wiederum machen eigene Vorgaben, welcher Wassergehalt für sie maximal zulässig ist.

Weitere Spezifikationen können Abbildung 3 entnommen werden. Diese resultieren zum Teil aus den bisherigen Erfahrungen der Betreiber oder den Vorgaben der Hersteller der Pulveraktivkohlesilos bzw. -dosieranlagen. Beispielsweise waren bei nahezu jedem Betreiber bereits ein- oder mehrmals Fremdstoffe wie beispielsweise Schrauben, Verpackungsbänder, Holzstücke, Schnüre oder sonstige Grobstoffe (Abbildung 4) in der gelieferten Kohlecharge enthalten. In einem Fall führte dies sogar zu einer völligen Zerstörung der Dosierschnecke (Abbildung 5).

Abb. 4: In den Kohlechargen enthaltene Fremdstoffe

Abb. 5: Durch Fremdstoffe zerstörte Dosierschnecke

Bislang wird nur von knapp 60 % der Kläranlagenbetreiber die Möglichkeit genutzt, im Vorfeld des Einkaufs von Pulveraktivkohle die Anforderungen an das Produkt genau zu definieren und gegenüber dem Aktivkohlehersteller vertraglich festzuhalten. Wie Abbildung 3 zeigt, gehören zu dieser Gruppe all diejenigen Betreiber, die entweder eine beschränkte Ausschreibung oder ein offenes bzw. nicht offenes Verfahren durchführen. Erfolgt der Einkauf mittels freihändiger Vergabe, so stellen fünf von neun Betreibern bislang überhaupt keine Anforderungen an die „Pulveraktivkohlequalität".

Mit dem Einsatz von Aktivkohle auf Kläranlagen und der damit einhergehenden Verminderung der Spurenstoffkonzentrationen im Abwasser wird ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz geleistet. Die Herstellung von frischer Aktivkohle bedingt jedoch gleichzeitig, je nach eingesetztem Rohstoff, einen mehr oder weniger großen Primärenergieverbrauch sowie CO_2-Fußabdruck. Für Aktivkohle (AK) aus dem Rohstoff Braunkohle beträgt der CO_2-Fußabdruck etwa 14–18 t CO_2-Äqu./t AK, bei Verwendung von Kokosnussschalen liegt dieser Wert mit 5–7 t CO_2-Äqu./t AK [2] deutlich niedriger. Soll bereits beim Einkauf von Pulveraktivkohle der Aspekt der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden, so besteht eine Option in der Wahl eines Produkts auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz eines Reaktivats anstatt einer frischen Kohle (CO_2-Fußabdruck [t CO_2-Äqu./t AK] für Reaktivate: Braunkohle 2–4, Kokosnussschalen 1 [2]). Die Frage, ob es für den Betreiber wichtig sei, dass es sich beim angebotenen Produkt um eine Frischkohle handelt, wurde nur in einem Fall mit „ja" beantwortet. In einem weiteren Fall besteht zwar die Forderung nach einer Trinkwasserzulassung, jedoch schließt dies Reaktivate nicht automatisch aus. Gleichermaßen wurden zudem die Antworten „Darüber haben wir uns bislang keine Gedanken gemacht" und „Nein, es darf sich auch um ein Reaktivat handeln" gegeben. Die generelle Bereitschaft zum Einsatz von Reaktivaten ist jedoch in der Regel mit der Erfüllung gewisser Randbedingungen gekoppelt. Diese sind zum Beispiel die Freigabe des Produkts durch eine unabhängige Institution, Angaben zur bisherigen Verwendung oder die Garantie, dass die Aktivkohle nicht mit Schadstoffen wie Schwermetallen oder anderen organischen Stoffen beladen ist.

Von Seiten der Kläranlagenbetreiber besteht generell der Wunsch, dass durch die Hersteller mehr Transparenz in das „schwarze Medium Aktivkohle" gebracht wird. Von Interesse sind hierbei insbesondere Angaben zur Art der Kohle (Frischkohle/Reaktivat), zur Rohstoffbasis und zur Herkunft des Rohstoffs. Zudem werden von mehreren Betreibern Zertifikate für eine nachhaltige bzw. sozial verträgliche Produktion sowie die Offenlegung der Ökobilanz des Produktes von der Produktion bis zur Anlieferung gewünscht. Um die Angaben der einzelnen Hersteller miteinander vergleichen zu können, bedarf es jedoch im Vorfeld der Festlegung von einheitlichen Bilanzgrenzen bzw. der Vergabe der Zertifikate durch unabhängige Institutionen. Inwieweit die Kenntnis dieser gewünschten Angaben aber auch tatsächlich die Kaufentscheidung beeinflussen würde, lässt sich nicht beantworten. Einzelne Betreiber gaben zu erkennen, dass sie gegenüber ihrer Vergabestelle nur den Kauf des günstigsten Produkts bzw. des Produktes mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis vertreten können.

4.3 Auswahl des Pulveraktivkohleprodukts

4.3.1 Vergabekriterium

Wie Abbildung 6 zeigt, erhält von der Hälfte der Kläranlagenbetreiber das Pulveraktivkohleprodukt mit dem günstigsten Preis (€/t bzw. €/kg) den Zuschlag. Die jeweilige Adsorptionsleistung wird hierbei nicht berücksichtigt. Auf vier Kläranlagen erfolgt die Vergabe auf Basis des Preis-Leistungs-Verhältnis, wobei die „Leistung" von den Betreibern individuell definiert wird. In zwei weiteren Fällen sind andere Kriterien als die beiden erstgenannten für die Wahl eines Pulveraktivkohleprodukts ausschlaggebend.

Letztlich lässt sich in der Tendenz ein Zusammenhang zwischen der Vergabeart und dem Vergabekriterium feststellen: Je

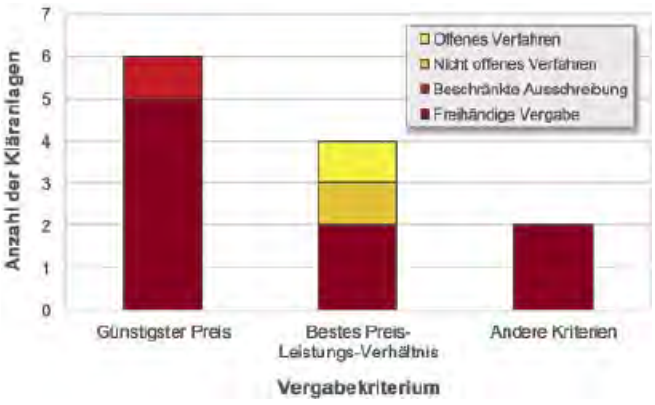


Abb. 6: Vergabekriterien beim Einkauf von Pulveraktivkohle

aufwendiger und komplexer die Vergabeart ist, umso mehr „Anstrengungen“ werden auch im Vorfeld unternommen, um die eigenen Ansprüche an das Produkt in die Ermittlung des Preis-Leistungs-Verhältnis einfließen zu lassen. Erfolgt der Einkauf der Pulveraktivkohle auf Basis von Angebotsanfragen, so wird meist das preislich günstigste Produkt bevorzugt.

4.3.2 Möglichkeiten zur Ermittlung des wirtschaftlichsten Pulveraktivkohleprodukts

Um die Wirtschaftlichkeit eines Pulveraktivkohleprodukts ermitteln zu können, muss zum einen deren „Leistung“ und zum anderen der Preis pro Kilogramm oder Tonne bekannt sein.

Die Reinigungsleistung eines Produkts ist jedoch keine feste Größe. Sie wird zum einen von Anlage zu Anlage anhand unterschiedlicher Parameter definiert und ist zum anderen in einem gewissen Umfang auch von der jeweiligen Abwasserzusammensetzung abhängig. So zeigen die bisherigen Erfahrungen beispielsweise, dass ein Produkt, das auf einer Kläranlage die höchste Reinigungsleistung aufweist, nicht unbedingt auch auf anderen Anlagen das beste Produkt ist. Soll die Wirtschaftlichkeit bei der Auswahl eines Pulveraktivkohleprodukts das maßgebende Kriterium sein, bedarf es somit eines individuellen Rührversuchs, in dem die Reinigungsleistung der zur Auswahl stehenden Produkte unter definierten Randbedingungen vergleichend bestimmt wird. In ähnlicher Weise wird bekanntlich bei der Abwasserreinigung auch bei der Auswahl von geeigneten Fällmitteln zur Phosphatfällung oder von Polymerprodukten zur Schlammentwässerung verfahren.

Tabelle 3 zeigt drei unterschiedliche Vorgehensweisen zur Ermittlung des „Preis-Leistungs-Verhältnis“, wie sie auf den Kläranlagen zur Anwendung kommen.

In zwei Fällen (Fall 2 und Fall 3) muss in einem ersten Schritt zunächst eine Wertungsvoraussetzung erfüllt sein, damit das entsprechende Produkt überhaupt bei der Auswahl berücksichtigt wird. Es soll hiermit sichergestellt werden, dass sich die Pulveraktivkohle generell zur Spurenstoffelimination eignet und eine Mindestentnahme erzielt wird. Die Einzelsubstanzen, die für die Wertungsvoraussetzung herangezogen werden, wurden von den Kläranlagenbetreibern individuell festgelegt. Berücksichtigt werden bei der Auswahl meist Substanzen, die im Förderbescheid festgelegt wurden und anhand derer nach Inbetriebnahme des Spurenstoffverfahrens eine Erfolgskontrolle gemäß den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft durchzuführen ist. Betrachtet wird sowohl in Fall 2 als auch in Fall 3 die jeweils im Rührversuch erzielte mittlere Verringerung mehrerer Substanzen bei einer Dosierung von 10 mg/L PAK. Die zu erzielende Verringerung liegt bei > 60 % bzw. > 70 %.

Während im ersten Schritt lediglich bewertet wird, ob das Produkt die „Eingangshürde“ gemeistert hat, erfolgt im zweiten Schritt die tatsächliche Ermittlung des Preis-Leistungs-Verhältnis für die einzelnen Produkte. Aus dem sich ergebenden Ranking lässt sich dann letztlich das wirtschaftlichste Produkt ermitteln. Auch wenn der Einsatz der Pulveraktivkohle primär zur Spurenstoffelimination erfolgt, ist die zusätzliche Verringe-

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
1. **Wertungsvoraussetzung**	nicht gegeben	mittlere Verringerung von Carbamazepin + Diclofenac + Metoprolol + Benzotriazol > 60% bei Dosierung von 10 mg/L PAK	mittlere Verringerung von Carbamazepin + Diclofenac > 70% bei Dosierung von 10 mg/L PAK
2. **Ermittlung des Preis-Leistungs-Verhältnis**			
Leistung des PAK-Produkts definiert über…	SAK_{254}-Rückgang	SAK_{254}-Rückgang	DOC-Entnahme
Formel zur Berechnung	$\frac{Preis\ [€/t]}{SAK_{254}-Rückgang\ [\%]}$	$(MV-Faktor) \cdot Angebotspreis$	$\frac{Preis\ [€/t]}{DOC-Entnahme\ [\%]}$
Anmerkung	SAK_{254}-Rückgang bei Dosierung von 10 mg/L PAK	Ausgehend vom Produkt mit dem höchsten SAK_{254}-Rückgang bei 10 mg/L PAK wird für die anderen Produkte der jeweils notwendige Mehrverbrauch (MV) errechnet, um denselben SAK_{254}-Rückgang zu erzielen.	DOC-Entnahme als Mittelwert der Einzelverringerungen bei Dosierung von 10, 20 und 40 mg/L PAK

Tabelle 3: Vorgehensweisen bei der Ermittlung des „Preis-Leistungs-Verhältnis“

rung der gelösten Restorganik für viele Kläranlagenbetreiber mehr als nur ein beiläufiges „Nebenprodukt“, da sich somit die Möglichkeit bietet, den CSB-Ablaufwert tiefer als bisher zu erklären bzw. in Einzelfällen sogar den Schwellenwert von 20 mg/L zu unterschreiten. Die für die Vergabe tatsächlich relevante Bewertung der „Leistung“ eines Pulveraktivkohleprodukts erfolgt daher im Fall 3 anhand der erzielten DOC-Entnahme. In den beiden anderen Fällen wird der erzielte SAK_{254}-Rückgang herangezogen. Der Parameter SAK_{254} bietet bei der Durchführung von Rührversuchen den Vorteil, dass er einerseits in einem gewissen Umfang die gelöste Restorganik beschreibt, andererseits aber auch als Parameter zur indirekten Bewertung der Spurenstoffelimination geeignet ist. Für viele der häufig betrachteten Substanzen wie beispielsweise Diclofenac, Carbamazepin oder Metoprolol ergeben sich, unabhängig vom verwendeten Pulveraktivkohleprodukt, unterschiedliche Korrelationskurven zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem prozentualen SAK_{254}-Rückgang und der prozentualen Verringerung der entsprechenden Substanz. Mit dieser Kenntnis ist es möglich, den Umfang der Spurenstoffanalytik im Rahmen eines Rührversuchs zu reduzieren bzw. ganz darauf zu verzichten und dennoch eine Aussage zur Spurenstoffelimination treffen zu können. Abbildung 7 zeigt exemplarisch die Korrelationskurve für Diclofenac.

Nicht nur der Parameter zur Beschreibung der „Leistung“ von Pulveraktivkohle unterscheidet sich von Anlage zu Anlage, sondern auch die Art der Definition der Leistung bzw. die Herangehensweise zur Ermittlung des Preis-Leistungs-Verhältnis. Während im Fall 1 lediglich die bei einer Dosierung von 10 mg/L PAK erzielte Reinigungsleistung im Verhältnis zum Preis betrachtet wird, gehen im Fall 3 drei Dosiermengen (10, 20 und 40 mg/L PAK) in die Bewertung ein. Fall 2 unterscheidet sich von den beiden anderen Fällen dadurch, dass nicht die Reinigungsleistung bei einer bestimmten Dosiermenge an Pulveraktivkohle in Relation zum Preis gesetzt

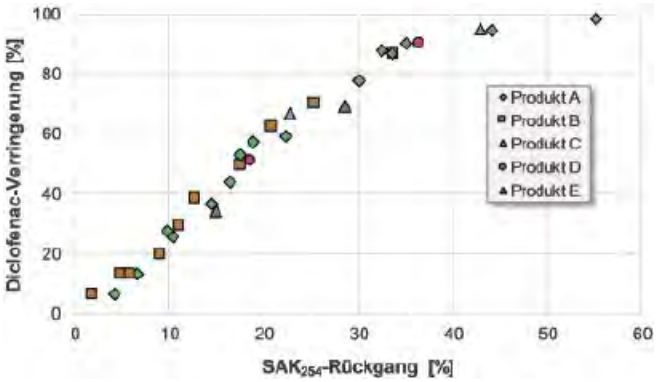


Abb. 7: Im Rührversuch ermittelter Zusammenhang zwischen dem SAK_{254}-Rückgang und der Verringerung von Diclofenac bei Einsatz verschiedener Aktivkohlen unter Verwendung von Abwasser einer Kläranlage (Ergebnisse KomS BW)

wird, sondern vom Produkt mit der höchsten Reinigungsleistung bei Zugabe von 10 mg/L PAK ausgegangen und zunächst der sich für die übrigen Produkte ergebende Mehrverbrauch (MV) berechnet wird, der notwendig ist, um dieselbe Reinigungsleistung zu erzielen. Mit diesem Faktor wird nun der Angebotspreis multipliziert, woraus sich der maßgebliche „Effektiv-Preis“ ergibt.

Tabelle 4 stellt anhand eines konkreten Zahlenbeispiels die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsermittlung bei Anwendung der drei unterschiedlichen Betrachtungsweisen gegenüber. Grundlage für das Beispiel bilden hierbei die Ergebnisse zum SAK_{254}-Rückgang bzw. zur DOC-Entnahme eines real durchgeführten Rührversuchs mit vier verschiedenen Produkten. Die (Netto-)Kosten je Tonne wurden zwar fiktiv angenommen, jedoch orientieren sich diese an den tatsächlichen Marktpreisen für die einzelnen Produkte. Es zeigt sich, dass in allen drei Fällen nicht das Produkt mit dem günstigsten

	Dosier-menge	SAK_{254}-Rückgang	DOC-Entnahme	Mittlere DOC-Entnahme	Fall 1	Fall 2		Fall 3
		[%]	[%]	[%]	Preis [€/t] / SAK_{254}-Rückgang [%]	MV-Faktor	"Effektiv-Preis" [€/t]	Preis [€/t] / DOC-Entnahme [%]
Produkt 1	10 mg/L	29,5	24,4	39,3	50,8	1,48	2.214	38,2
	20 mg/L	48,2	35,6					
	40 mg/L	71,4	57,8					
Produkt 2	10 mg/L	38,4	28,9	44,4	46,9	1,00	1.800	40,5
	20 mg/L	55,4	44,4					
	40 mg/L	70,5	60,0					
Produkt 3	10 mg/L	27,7	20,0	35,6	52,3	1,63	2.368	40,8
	20 mg/L	44,6	35,6					
	40 mg/L	66,1	51,1					
Produkt 4	10 mg/L	27,7	20,0	34,1	51,4	1,60	2.282	41,8
	20 mg/L	45,5	31,1					
	40 mg/L	66,1	51,1					

Tabelle 4: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Fallbetrachtungen für die Ermittlung des wirtschaftlichsten Pulveraktivkohleprodukts

Preis das wirtschaftlichste Produkt ist. In Fall 1 und Fall 2 weist sogar die mit einem Preis von 1800 €/t mit Abstand teuerste Pulveraktivkohle (Produkt 2) das beste Preis-Leistungs-Verhältnis auf.

5 Eigenkontrolle der Pulveraktivkohlequalität

Bei Anlieferung der Pulveraktivkohle wird auf zehn von zwölf Kläranlagen, das heißt in fast allen Fällen, ein Rückstellmuster von der gelieferten Charge genommen. In acht Fällen erfolgt die Entnahme dieser Probe während der Befüllung des PAK-Silos direkt aus der Füllleitung. Idealerweise verfügt das Silo für diesen Zweck über einen Abzweig an der Füllleitung, sodass während des gesamten Befüllvorgangs in regelmäßigen Abständen eine gewisse Menge an Pulveraktivkohle entnommen werden kann, um in Summe eine möglichst repräsentative Mischprobe zu erhalten. Alternativ kann auch eine selbst konstruierte Probenahmemöglichkeit eingesetzt werden. Bei dem in Abbildung 8 gezeigten Beispiel wurde ein Auffangbehälter über einen Schlauch mit einem Rohrstück verbunden, das bei der Befüllung zwischen die siloseitige Füllleitung und den Schlauch des Silofahrzeugs zwischengeschaltet wird. In den beiden anderen Fällen wird das Rückstellmuster über einen Probestecher direkt aus dem Bevorratungs-Container bzw. über einen Hahn am Silofahrzeug entnommen. Auf einer weiteren Kläranlage wird zwar nicht direkt bei Anlieferung der Kohle ein Rückstellmuster genommen, jedoch im Nachgang direkt aus der Dosierleitung.

Auch wenn fast jeder Kläranlagenbetreiber ein Rückstellmuster nimmt, so wird dennoch, wie Abbildung 9 zeigt, nur auf sieben der zwölf Anlagen mittels dieser Probe auch eine Eigenkontrolle der entsprechenden Charge durchgeführt. In allen Fällen wird hierbei mindestens der Wassergehalt der Pulveraktivkohle bestimmt. Darüber hinaus erfolgt in Einzelfällen die Bestimmung des Aschegehalts sowie der Reinigungsleistung der aktuellen Charge im Vergleich zur Musterkohle, die für Rührversuche im Rahmen der Ausschreibung vom Hersteller zur Verfügung gestellt wurde. Anhand dieses direkten Vergleichs wurde in der Vergangenheit bereits auf drei Anlagen

Abb. 8: Probenahmemöglichkeit für ein Rückstellmuster während der Befüllung des PAK-Silos vom Typ Eigenbau

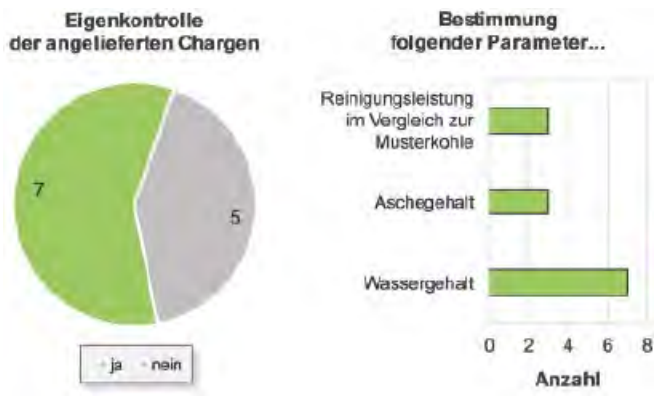


Abb. 9: Von den Betreibern durchgeführte Eigenkontrolle der angelieferten Chargen

nachgewiesen, dass die Reinigungsleistung der gelieferten Charge geringer war als diejenige des Musters. Auch beim Wassergehalt gab es in einem Fall bereits Grund zur Reklamation, da der gemessene Wert höher war als der vertraglich vereinbarte Maximalwert.

6 Fazit

Die durchgeführte Fragebogenaktion hat gezeigt, dass der Qualität der eingekauften Pulveraktivkohle auf rund der Hälfte aller Kläranlagen, die im großtechnischen Maßstab Pulveraktivkohle zur gezielten Spurenstoffelimination einsetzen, bislang nur wenig oder keine Bedeutung beigemessen wird. Dies äußert sich beispielsweise darin, dass im Vorfeld des Einkaufs keine Anforderungen an das Produkt gestellt werden oder dass aus dem Pool von Pulveraktivkohlen, die sich generell für den hier vorliegenden Anwendungsfall eignen, das preislich günstigste, nicht aber unbedingt das wirtschaftlichste Produkt gekauft wird.

Demgegenüber gibt es aber auch Kläranlagenbetreiber, die sich bereits viele Gedanken gemacht haben, wie sich eine gewünschte Aktivkohlequalität bestmöglich definieren lässt und die diese Anforderungen auch vertraglich festhalten, um so bei Nichteinhaltung von garantierten Werten eine Verhandlungsmöglichkeit zu haben.

Aus den vorliegenden Praxiserfahrungen resultierend lassen sich folgende Empfehlungen für den Einkauf von Pulveraktivkohle und deren Eigenkontrolle aussprechen:

Einkauf

- Die individuell gewünschten Anforderungen an ein Produkt (beispielsweise maximal zulässiger Wassergehalt, Mindest-Reinigungsleistung) sollten im Vorfeld der Beschaffung eindeutig definiert werden. Dies gilt insbesondere für Ausschreibungen, aber auch bei einer freihändigen Vergabe erscheint dies sinnvoll. Aus betrieblicher Sicht ist ein besonderes Augenmerk auf die Forderung nach Fremdstofffreiheit des Produktes zu legen. Entweder lässt man sich durch den Hersteller garantieren, dass in der angelieferten Charge keine Fremdstoffe enthalten sind oder man fordert alternativ, dass bei der Befüllung des Silos ein Siebeinsatz zwischengeschaltet wird. Im DVGW-Arbeitsblatt W 239 (A) ist für die Maschenweite des Siebeinsatzes ein Wert von 2 mm und 5 mm genannt [3].
- Für den Fall der Nichteinhaltung garantierter Werte bzw. Zusagen wird empfohlen, hieraus resultierende Kompensationsmaßnahmen vertraglich festzuhalten. Bei einem tatsächlich höheren Wassergehalt als zugesichert könnte dies zum Beispiel eine Preisminderung sein oder im Fall von Schäden an der Dosiertechnik, die durch Fremdstoffe verursacht wurden, die Übernahme der Reparaturkosten durch den Aktivkohlehersteller.
- Für die Ermittlung des wirtschaftlichsten Produkts sind individuell durchzuführende Rührversuche notwendig. Die Entnahmeleistung wird bisher entweder über den SAK_{254} oder den DOC definiert. Ein Schnelltest, mithilfe dessen sich die Spurenstoffeliminationsleistung unabhängig vom zu behandelnden Abwasser ermitteln lässt, konnte bislang nicht etabliert werden. Die Durchführung eines Rührversuchs bietet, neben der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, den Vorteil, dass mit dem vom Hersteller zur Verfügung gestellten Muster auch später noch eine Vergleichsmöglichkeit zur Verfügung steht, um die Reinigungsleistung der aktuellen Charge bewerten und gegebenenfalls Nachforderungen stellen zu können.

Eigenkontrolle der Pulveraktivkohlequalität

- Anhand des Rückstellmusters sollte in jedem Fall mindestens der Wassergehalt der gelieferten Charge bestimmt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Bestimmung nicht bei 105 °C (TS-Bestimmung von belebtem Schlamm) sondern gemäß DIN EN 12902 bei 150 °C erfolgt.
- Die Bestimmung des Aschegehalts kann einen Hinweis darauf geben, ob es sich bei dem Produkt um eine Frischkohle oder ein Reaktivat handelt. Bei Frischkohlen liegt der Aschegehalt in der Regel bei 5–10 %, bei Reaktivaten sollte der Wert unter 15 % liegen [3]. Für die Bestimmung gilt DIN EN 12902.
- Sofern im Zuge der Aktivkohleauswahl ein Rührversuch durchgeführt wurde, wird empfohlen, die Reinigungsleistung der tatsächlich gelieferten Kohle regelmäßig im Vergleich zu dieser Musterkohle anhand eines erneuten Rührversuchs zu überprüfen. Angebracht ist eine solche Überprüfung aber auf jeden Fall dann, wenn die Reinigungsleistung im laufenden Betrieb, trotz gleichbleibender Dosiermenge des entsprechenden Produkts, augenscheinlich abgenommen hat.

Die Bündelung der bisherigen Praxiserfahrungen soll einen Beitrag dazu leisten, dass der Thematik der Aktivkohlequalität zukünftig in Summe ein höherer Stellenwert beigemessen wird, als dies häufig bislang der Fall ist. Es darf aber gleichzeitig nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich bei Aktivkohle um ein Naturprodukt handelt, dessen Qualität nicht immer gleichbleibend sein kann. Für ein faires Miteinander von Aktivkohlehersteller und Kläranlagenbetreiber sollte es daher auch in entsprechender Weise honoriert werden, wenn beispielsweise einzelne Chargen eine deutlich höhere Reinigungsleistung aufweisen als das Muster und somit im Durchlaufbetrieb weniger Kohle eingesetzt werden muss.

Literatur

[1] Zietzschmann, F., Altmann, J., Ruhl, A. S., Dünnbier, U., Dommisch, I., Sperlich, A., Meinel, F., Jekel, M.: Estimating organic micro-pollutant removal potential of activated carbons using UV absorption and carbon characteristics, *Water Research* 2014, *56*, 48–55

[2] DWA-Arbeitsgruppe KA-8.6 „Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen“: Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2016, *63* (12), 1062–1067

[3] DVGW-Regelwerk Arbeitsblatt W 239 (A): *Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung durch Adsorption an Aktivkohle*, Bonn, 2011

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

E-Mail: annette.roessler@koms-bw.de

M. Sc. Aline Meier
VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“
c/o EAWAG
Überlandstraße 133, 8600 Dübendorf, Schweiz

Vorkommen von Spurenstoffen in Kläranlagenzuläufen in Baden-Württemberg

Die Ergebnisse zweier Vorhaben erlauben eine Aussage zum flächendeckenden sowie dauerhaften Vorkommen von Spurenstoffen in den Zuläufen von Kläranlagen in Baden-Württemberg. Anhand von Frachtbetrachtungen lässt sich für die flächendeckend vorkommenden Spurenstoffe eine Art „Grundbelastung" ausmachen. Liegt die Belastung einer Kläranlage darüber, deutet dies auf zusätzliche Einzeleinleiter hin.

Annette Rößler, Walter Rau und Steffen Metzger

Als ein bedeutender Eintragspfad für viele Spurenstoffe in die Gewässer werden kommunale Kläranlagen angesehen [1, 2]. Diese sind aufgrund der geschichtlichen Entwicklung der Abwasserreinigung technisch primär für den Rückhalt von Feststoffen, den biologischen Abbau von organischen Stoffen sowie die Elimination von Nährstoffen ausgelegt. Der überwiegende Anteil an Spurenstoffen wird jedoch mit den heutigen Reinigungsverfahren, auch wenn sie dem Stand der Technik entsprechen, nur in geringem Umfang oder gar nicht eliminiert [3]. Um diese Substanzen gezielt aus dem Abwasser zu entfernen, bedarf es daher einer zusätzlichen Reinigungsstufe. Als geeignet und technisch umsetzbar haben sich bislang Verfahren mit Einsatz von granulierter oder pulverförmiger Aktivkohle als auch die Ozonung erwiesen [4, 5]. Während in der Schweiz die Einführung von Maßnahmen zur Elimination von Spurenstoffen auf Kläranlagen als sogenannte „end of pipe"-Lösung mittlerweile gesetzlich beschlossen ist [6], wird diese Option in Deutschland bislang nur als zweitrangiger Lösungsansatz betrachtet. Gemäß den im Zeitraum 2016/17 im Rahmen eines Stakeholder-Dialogs erarbeiteten Empfehlungen zur Spurenstoffstrategie des Bundes sind zunächst quellen- sowie anwendungsorientierte Maßnahmen zu ergreifen, um den Eintrag dieser Substanzen in die Gewässer zu vermeiden bzw. zu reduzieren [7].

Um Erkenntnisse zum Vorliegen einzelner Spurenstoffe im Abwasser zu erlangen, wurde das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit der Durchführung einer landesweiten Messkampagne zur Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen beauftragt. Hierbei wurde der Zu- und Ablauf von 40 Kläranlagen unterschiedlicher Größenordnung auf das Vorliegen von 50 Einzelsubstanzen untersucht. Es sollte u. a. geprüft werden, welche der Substanzen im Rohabwasser nahezu aller Kläranlagen in quantifizierbaren Konzentrationen enthalten sind und somit ein flächendeckendes Konsumverhalten widerspiegeln. Darüber hinaus galt es anhand der Ergebnisse aber auch abzuleiten, in welchen Konzentrationen die Substanzen typischerweise im Abwasser vorliegen, um somit überdurchschnittlich belastete Kläranlagen zu identifizieren.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der Bestandsaufnahme liegen dem KomS aus den in Baden-Württemberg vor der Erweiterung einer Kläranlage um ein Verfahren zur gezielten Spurenstoffentnahme durchgeführten Vergleichsmessungen weitere Spurenstoffmessdaten von insgesamt 10 Anlagen vor. Neben der Erfassung der Spurenstoffbelastung einer Kläranlage dienen diese Messungen primär als Vergleichsmaßstab, um nach Inbetriebnahme der neuen Verfahrenstechnik die Verbesserung der Reinigungsleistung bezüglich der Spurenstoffelimination nachzuweisen.

/ Kompakt /

- Zur Verringerung der Gewässerbelastung mit flächendeckend vorkommenden Spurenstoffen werden allein quellen- und anwendungsorientierte Maßnahmen nicht ausreichend sein. Die Realisierung von „end of pipe"-Lösungen sollte daher als ein weiterer Baustein verstanden werden.
- Informationen über ein flächendeckendes und dauerhaftes Vorkommen von Spurenstoffen in den Zuläufen von Kläranlagen, eine „Grundbelastung", sind vorhanden.
- Liegt für eine Kläranlage eine höhere spezifische Fracht als die „Grundbelastung" vor, so deutet dies auf Einzeleinleiter hin, was weitere Schritte für dessen Identifizierung und Minderungsmaßnahmen ermöglicht.

Vorgehensweise

Probenahme

Die Vorgehensweise bei der Durchführung der Beprobungen orientierte sich an den in den KomS-Handlungsempfehlungen [8] getroffenen Vorgaben. Sowohl für die Probenahmen im Rahmen der Bestandsaufnahme als auch für diejenigen im Rahmen der Vergleichsmessungen wurden die auf den Kläranlagen bereits vorhandenen Probenehmer verwendet. Die Beprobung des Kläranlagenzulaufs erfolgte an jeweils unterschiedlichen Stellen: In den

Bild 1: Ausbaugröße der untersuchten Kläranlagen.

meisten Fällen wird die Zulaufprobe entweder zwischen der Rechenanlage und dem Sand- und Fettfang oder vor der Vorklärung gezogen. Die Probenahme noch vor der Rechenanlage oder erst nach der Vorklärung stellt eher eine Ausnahme dar.

Die Beprobungen erfolgten, vorrangig bei Trockenwetterbedingungen, volumenproportional über eine Zeitdauer von jeweils 72 Stunden, wobei die Wochentage Sonntag und Montag bei der Auswahl der Beprobungstage ausgeschlossen wurden. Im Rahmen der Bestandsaufnahme erlaubten die vorhandenen Probenehmer auf sechs der 40 Kläranlagen allerdings nur eine zeitproportionale Probenahme. Aus Gründen der fehlenden Vergleichbarkeit der Daten werden diese Anlagen im Nachfolgenden nicht weiter berücksichtigt. In die Auswertungen gehen somit die Daten von 34 Kläranlagen aus der Bestandsaufnahme und die Daten der 10 Kläranlagen, die im Rahmen der Vergleichsmessungen untersucht wurden, ein. Es handelt sich hierbei ausschließlich um kommunale Anlagen, die überwiegend den Größenklassen (GK) 4 und 5 zuzuordnen sind (**Bild 1**). Lediglich zwei Anlagen haben eine Ausbaugröße von weniger als 10.000 E.

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsvorhaben besteht in der Häufigkeit der Beprobung je Kläranlage: Während im Rahmen der Bestandsaufnahme jede Kläranlage nur ein einziges Mal beprobt wurde, wurden im Rahmen der Vergleichsmessungen je Anlage insgesamt drei Beprobungen durchgeführt. Die Daten der Bestandsaufnahme erlauben somit eine Aussage zum flächendeckenden Vorkommen der untersuchten Spurenstoffe in den Zuläufen von Kläranlagen, wohingegen die Daten der Vergleichsmessungen zusätzlich eine Aussage zur Dauerhaftigkeit des Vorliegens einer Substanz und zu den entsprechenden Unterschieden in der „Belastung" je Kläranlage mit dieser Substanz erlauben.

Spurenstoffmessungen

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden die Abwasserproben auf die in **Tabelle 1** angegebenen 50 Substanzen untersucht. Als Basis für die Substanzauswahl wurde die Spurenstoffliste A der KomS-Handlungsempfehlungen [8] herangezogen. Ergänzt wurde diese Liste, welche mit Diclofenac, 17-β-Estradiol, Estron und 17-α-Ethinylestradiol bereits vier Substanzen der „EU-Watchlist" umfasst, u. a. um die restlichen 13 Substanzen der „EU-Watchlist" [9]. Mit der Aufnahme dieser Substanzen in das Messprogramm sollte überprüft werden, inwieweit und wenn ja, in welchen Konzentrationen diese Spurenstoffe überhaupt in den Zu- bzw. Abläufen von Kläranlagen vorliegen und somit über diese in die Gewässer eingetragen werden.

Rund die Hälfte der analysierten Spurenstoffe kann entweder der Substanzklasse der Arzneimittelrückstände oder den Pestiziden zugeordnet werden. Darüber hinaus wurden die Proben aber auch auf Röntgenkontrastmittel, Süßstoffe oder Industriechemikalien unterschiedlicher Anwendungsgebiete, wie zum Beispiel Korrosions- und Flammschutzmittel oder synthetische Duftstoffe, untersucht.

Im Rahmen der Vergleichsmessungen umfasste die Substanzauswahl in allen Fällen mindestens die Spurenstoffliste A [8].

Die Analyse erfolgte aus dem Filtrat der Proben (Membranfiltration: Cellulose-Nitrat-Filter, Porengröße 0,45 µm).

Ergebnisse

Vorkommen

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich wird, konnten im Rahmen der Bestandsaufnahme 23 der analysierten 50 Substanzen nahezu in allen Kläranlagenzuläufen, d. h. auf mehr als 90 % der Anlagen, oberhalb ihrer jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG) nachgewiesen werden. 19 dieser Substanzen wurden sogar auf allen Kläranlagen in quantifizierbaren Konzentrationen im Rohabwasser bestimmt. Bei rund der Hälfte der demnach flächendeckend vorkommenden Spurenstoffe handelt es sich um Arzneimittelwirkstoffe bzw. deren Rückstände. Des Weiteren sind aber beispielsweise auch die analysierten Komplexbildner, das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol, der Süßstoff Acesulfam sowie das Flammschutzmittel TCPP flächendeckend im Rohabwasser enthalten.

Bei der Gruppe der Arzneimittelrückstände fällt auf, dass es sich bei denjenigen Substanzen, die nicht flächendeckend, d. h. nicht auf allen 34 Kläranlagen, in den Zuläufen nachgewiesen werden konnten ausschließlich um Antibiotika bzw. deren Abbauprodukte handelt. Ein nicht flächendeckendes Vorkommen dieser Substanzen legt somit die Vermutung nahe, dass sie auch nicht dauerhaft nachgewiesen werden können. Dies bestätigen die Ergebnisse der Vergleichsmessungen: Die Antibiotika Clarithromycin, Azithromycin und Erythromycin A waren aus der Gruppe der Arzneimittelrückstände die einzigen Vertreter, die nicht auf allen der auswertbaren Kläranlagen dauerhaft, d. h. bei allen drei durchgeführten Beprobungen, in den Zuläufen oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden konnten. Während Clarithromycin und Azithromycin aber mindestens ein Mal pro Kläranlage im Rohabwasser vorlag, konnte Erythromycin A auf zwei Anlagen gar nicht und auf einer Anlage nur bei zwei der drei Beprobungen nachgewiesen werden. Lediglich auf zwei Anlagen lag Erythromycin A dauerhaft vor (**Tabelle 2**). Dehydrato-Erythromycin A wurde im Rahmen der Vergleichsmessungen nur auf einer Kläranlage bei allen drei Beprobungen analysiert, weshalb für diesen Metaboliten keine Aussage zum dauerhaften Vorkommen getroffen werden kann.

Bei den Röntgenkontrastmitteln wurde im Rahmen der Bestandsaufnahme lediglich Iomeprol flächendeckend in den Kläranlagenzuläufen nachgewiesen. Für die übrigen vier Vertreter dieser Substanzgruppe war eine quantitative Bestimmung deren

Tabelle 1: Häufigkeit des Vorkommens sowie Konzentrationen der im Rahmen der Bestandsaufnahme untersuchten Substanzen. (Quelle: KomS BW)

Gruppe	Substanz	BG [µg/L]	Zulaufsituation							
			Häufigkeit n > BG [%]				Konzentration [µg/L]			
			< 25	25-75	> 75-90	> 90	min	Median	Mittel	max
Arzneimittelrückstände	Ibuprofen	0,025				100	3,4	16	17	36
	Metoprolol	0,025				100	0,40	2,1	2,0	3,8
	Carbamazepin	0,025				100	0,18	0,65	0,68	2,1
	10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin	0,025				100	0,45	1,3	1,5	6,0
	Diclofenac*	0,025				100	1,5	2,8	2,8	5,4
	Gabapentin	0,050				100	2,4	7,3	7,6	14
	Metformin	0,10				100	35	150	183	470
	Guanylharnstoff	0,50				100	0,69	7,5	8,5	23
	Sulfamethoxazol	0,025				100	0,15	0,61	0,69	3,2
	Clarithromycin*	0,050				100	0,092	0,43	0,49	3,5
	Ciprofloxacin	0,20				97	0,28	1,5	1,7	3,6
	Azithromycin*	0,10				94	0,10	0,44	0,54	1,6
	Erythromycin A*	0,10		74			0,11	0,19	0,24	0,89
	Dehydrato-Erythromycin A	0,10		26			0,10	0,13	0,15	0,28
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	0,10				100	0,95	32	48	360
	Amidotrizoesäure	0,10			88		0,11	3,5	7,9	31
	Iopromid	0,10			88		0,10	3,0	8,9	46
	Iohexol	0,10			76		0,13	1,7	5,8	51
	Iopamidol	0,10			76		0,17	1,8	5,5	29
Estrogene	17-beta-Estradiol*	0,0010				100	0,0050	0,020	0,020	0,045
	Estron*	0,0010				100	0,028	0,051	0,059	0,11
	17-alpha-Ethinylestradiol*	0,0010	0							
synth. Süßstoffe	Acesulfam	0,10				100	1,9	24	28	150
Pestizide	DEET	0,10			85		0,10	0,37	0,47	1,8
	Terbutryn	0,025		71			0,026	0,060	0,19	2,0
	Carbendazim	0,025		62			0,030	0,059	0,075	0,36
	Mecoprop	0,025		32			0,030	0,047	0,072	0,22
	Imidacloprid*	0,010	18				0,010	0,020	0,029	0,096
	Thiamethoxam*	0,010	18				0,017	0,024	0,028	0,048
	Thiacloprid*	0,010	6				0,018	0,12	0,12	0,23
	Clothianidin*	0,010	3				0,011	0,011	0,011	0,011
	Methiocarb*	0,10	0							
	Acetamiprid*	0,010	0							
	Oxadiazon*	0,10	0							
	Triallat*	0,10	0							
Korrosionsschutzmittel	Benzotriazol	0,10				100	6,5	16	31	400
	Σ 4- und 5-Methylbenzotriazol	0,10				97	1,2	5,7	9,2	35
Komplexbildner	EDTA	5,0				100	16	55	78	280
	NTA	5,0				100	11	63	67	200
weitere Chemikalien	Melamin	0,025				100	0,98	2,8	5,0	35
	2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol*	0,50	12				0,52	0,58	0,64	0,86
	2-Ethylhexyl-4-methoxycinnamat*	0,20	9				0,20	0,24	0,31	0,49
PFT	PFOA	0,010		41			0,010	0,020	0,025	0,061
	PFOS	0,010		35			0,014	0,020	0,067	0,55
	PFBS	0,010	21				0,011	0,028	0,099	0,38
	PFBA	0,010	15				0,012	0,015	0,024	0,064
synth. Duftstoffe	HHCB	0,050				97	0,22	0,55	0,60	2,6
	AHTN	0,050		41			0,050	0,060	0,10	0,47
Flammschutzmittel	TCPP	0,25				100	0,48	0,91	1,7	15
	TCEP	0,25		35			0,26	0,35	0,39	0,78

*Substanzen der „EU-Watchlist"

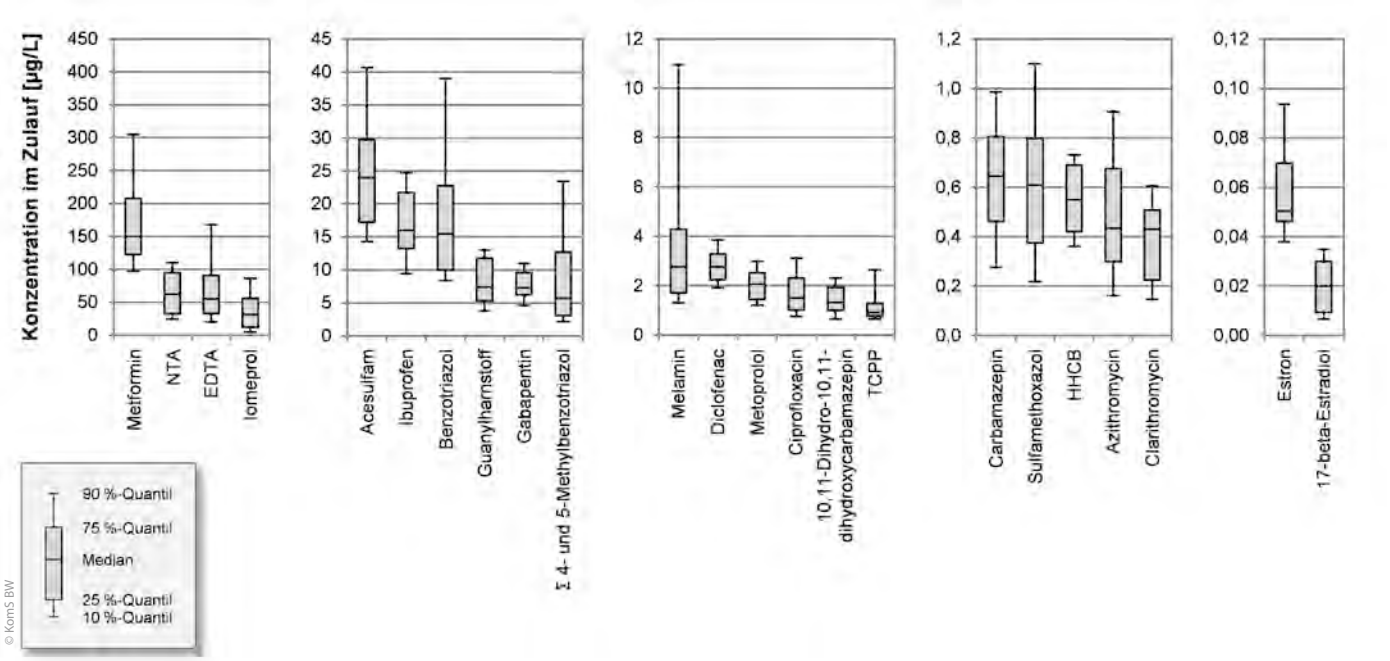


Bild 2: Konzentrationen derjenigen Substanzen, die in den Zuläufen von mehr als 90 % der untersuchten Kläranlagen quantifiziert werden konnten. (10 %- und 25 %-Quantil, Median, 75 %- und 90 %-Quantil)

Zulaufkonzentration nur in rund 90 bzw. 75 % der Fälle möglich. Auch wenn Amidotrizoesäure, Iopromid, Iohexol und Iopamidol somit nicht flächendeckend vorliegen, können sie dennoch auf einzelnen Kläranlagen dauerhaft im Rohabwasser vorhanden sein, wie die Ergebnisse der Vergleichsmessungen zeigen (Tabelle 2): Bei allen der zehn untersuchten Kläranlagen wurde mindestens eines dieser vier Röntgenkontrastmittel dauerhaft im Zulauf nachgewiesen. Zudem zeigt sich aber auch, dass bei größeren Kläranlagen die Anzahl der ständig vorliegenden Röntgenkontrastmittel höher ist als bei kleineren Kläranlagen. Bei Ausbaugrößen von über 250.000 E lagen im Allgemeinen alle fünf Röntgenkontrastmittel in Konzentrationen von über 0,10 µg/L im Kläranlagenzulauf vor, bei Anlagen mit kleinerer Ausbaugröße mindestens zwei, meist jedoch drei der fünf Röntgenkontrastmittel. In dieser Aussage ist berücksichtigt, dass Iomeprol nicht nur flächendeckend, sondern auch dauerhaft im Kläranlagenzulauf nachgewiesen wird.

Für die 12 analysierten Pestizide wurde im Rahmen der Bestandsaufnahme zwar kein flächendeckendes Vorkommen festgestellt, dennoch zeigt die Zahl der positiven Befunde, dass DEET, Terbutryn und Carbendazim mit die relevantesten Vertreter zu sein scheinen, wenn es um die Belastung von Abwasser mit Pestiziden bei Trockenwetter geht. Alle drei Substanzen wurden auf immerhin mindestens 60 % der untersuchten Kläranlagen in Konzentrationen oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Zudem liegen insbesondere DEET und Terbutryn vergleichsweise häufig dauerhaft im Rohabwasser vor, wie die Aus-

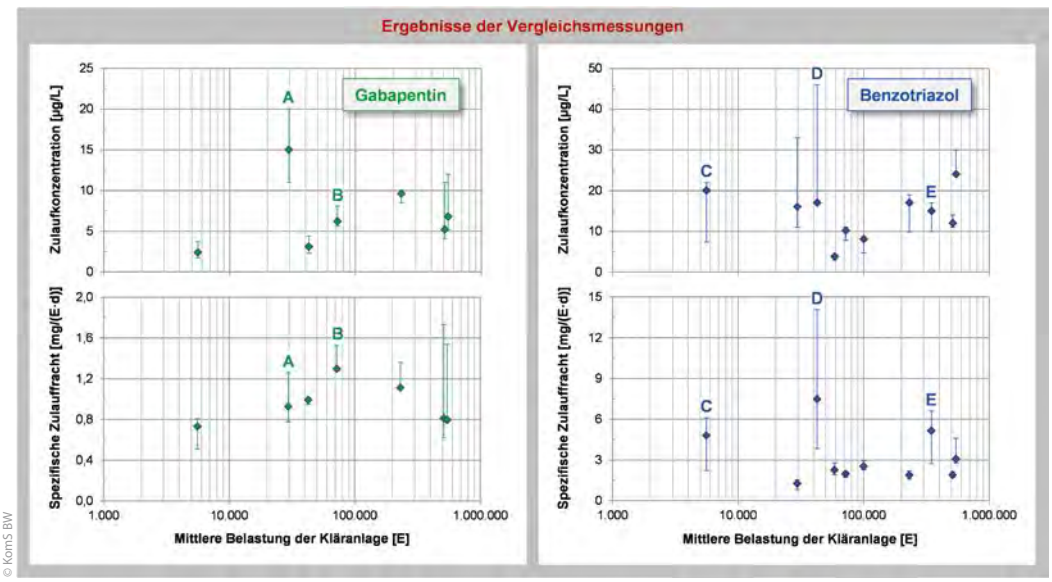


Bild 3: Vergleich von Zulaufkonzentration und spezifischer Zulauffracht am Beispiel von Gabapentin und Benzotriazol (Minimum, Median, Maximum).

Tabelle 2: Auswertungen zur Dauerhaftigkeit des Vorkommens für diejenigen Substanzen, die im Rahmen der Bestandsaufnahme auf weniger als 90 % der Anlagen in quantifizierbaren Konzentrationen im Kläranlagenzulauf nachgewiesen werden konnten. (Quelle: KomS BW)

Ergebnisse der Vergleichsmessungen												
Gruppe	**Substanz**		**Ausbaugröße der Kläranlage**									
		BG [µg/L]	**7.500 E**	**35.000 E**	**49.500 E**	**100.000 E**	**125.000 E**	**170.213 E**	**250.000 E**	**445.000 E**	**600.000 E**	**725.000 E**
Arzneimittel-rückstände	Erythromycin A*	0,10										
	Dehydrato-Erythromycin A	0,10										
Röntgenkontrast-mittel	Amidotrizoesäure	0,10										
	Iopromid	0,10										
	Iohexol	0,10										
	Iopamidol	0,10										
Estrogene	17-alpha-Ethinylestradiol*	0,0010										
Pestizide	DEET	0,10										
	Terbutryn	0,025										
	Carbendazim	0,025										
	Mecoprop	0,025										
	Imidacloprid*	0,010										
	Thiamethoxam*	0,010										
	Thiacloprid*	0,010										
	Clothianidin*	0,010										
	Methiocarb*	0,10										
	Acetamiprid*	0,010										
	Oxadiazon*	0,10										
	Triallat*	0,10										
weitere Chemikalien	2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol*	0,50										
	2-Ethylhexyl-4-methoxycinnamat*	0,20										
PFT	PFOA	0,010										
	PFOS	0,010										
	PFBS	0,010										
	PFBA	0,010										
synth. Duftstoffe	AHTN	0,050										
Flammschutzmittel	TCEP	0,25										
*Substanzen der „EU-Watchlist“												
	Häufigkeit des Vorkommens oberhalb der BG bei 3 Beprobungen		0 von 3		1 von 3		2 von 3		3 von 3		Auswertung nicht möglich	

wertungen der Vergleichsmessungen zeigen. Auf sieben Kläranlagen wurden beide Pestizide bei allen drei Beprobungen quantitativ nachgewiesen.

Vergleicht man für die PFT-Verbindungen die Ergebnisse der Bestandsaufnahme mit denjenigen der Vergleichsmessungen, so zeigt sich für diese Substanzen zwar kein flächendeckendes Vorliegen, in einzelnen Anlagen kommen sie jedoch durchaus dauerhaft vor. Beispielsweise wurde PFOS im Rahmen der Bestandsaufnahme zwar lediglich auf rund einem Drittel aller Kläranlagen nachgewiesen, im Rahmen der Vergleichsmessungen lagen die Konzentrationen für PFOS dennoch auf mehreren Anlagen im Zulauf dauerhaft über der Bestimmungsgrenze. Darüber hinaus kann anhand der Ergebnisse beider Untersuchungsvorhaben festgestellt werden, dass PFOA und PFOS häufiger sowie dauerhafter im Rohabwasser vorliegen als PFBS und PFBA.

Nicht zuletzt zeigen die Messungen, dass fünf der 17 Substanzen der „EU-Watch-List“ flächendeckend bzw. nahezu flächendeckend in den Kläranlagenzuläufen oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden konnten. Es handelt sich hierbei um Diclofenac, Clarithromycin, Azithromycin, 17-beta-Estradiol und Estron. Des Weiteren wurde Erythromycin A mit einer Häufigkeit von über 70 % im Rohabwasser nachgewiesen. Mit Ausnahme der beiden Estrogene werden diese Substanzen bei der konventionellen Abwasserreinigung nicht oder nur in einem geringen Umfang entfernt [4, 10], so dass sie letztlich zu einem großen Anteil auch tatsächlich in die Gewässer emittiert werden. Für die übrigen 11 Substanzen der „EU-Watch-List“ scheinen Kläranlagen keinen relevanten Eintragspfad in die Gewässer darzustellen, da die Substanzen bereits in den Zuläufen nicht oder nur vereinzelt oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze vorlagen. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die hier angewandten Bestimmungsgrenzen, aufgrund der Matrixeffekte bei der Analyse von Rohabwässern, vereinzelt höher lagen als in der „EU-Watch-List“ [9] gefordert.

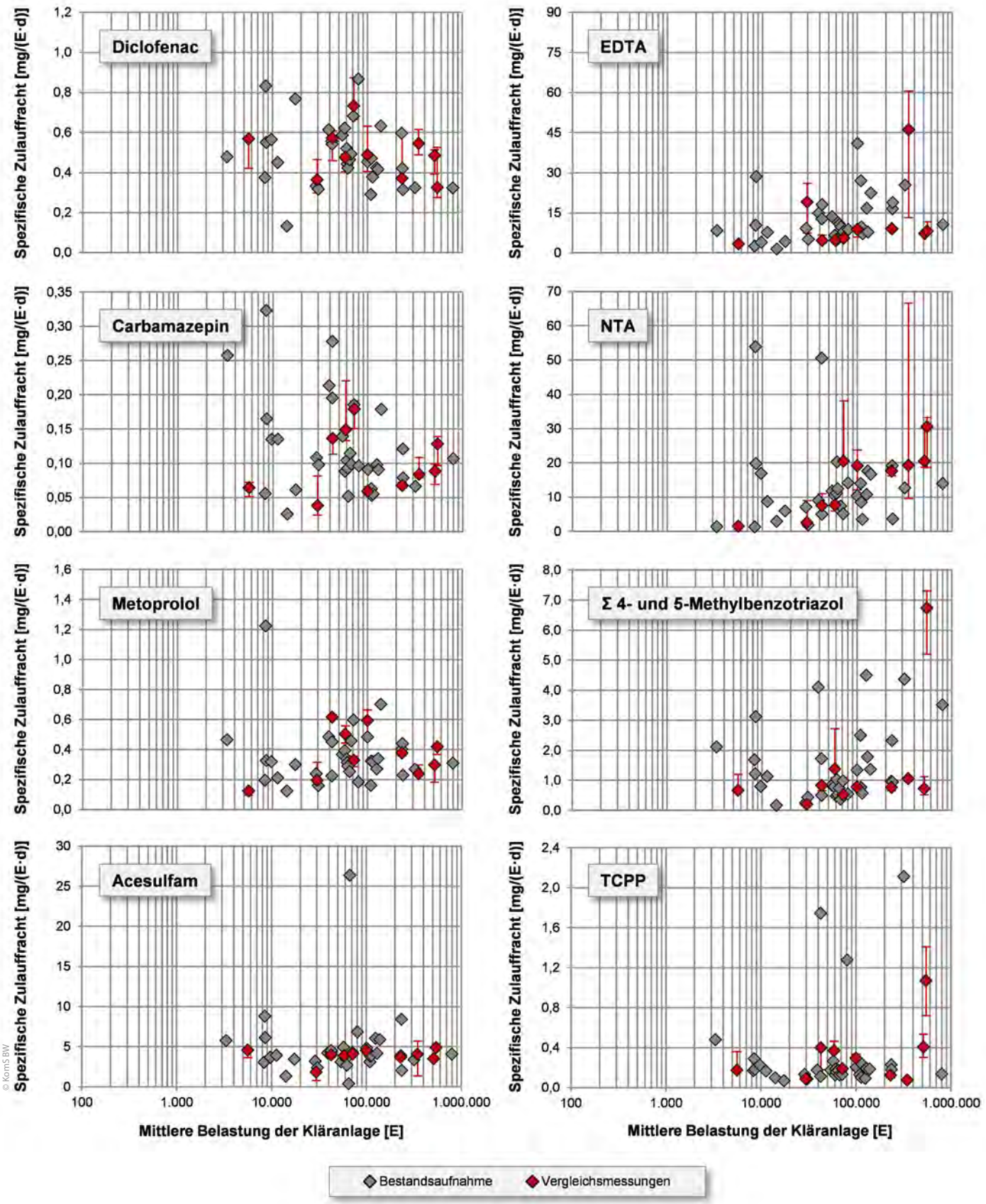


Bild 4: Spezifische Zulauffrachten verschiedener Spurenstoffe in Abhängigkeit der mittleren Belastung der Kläranlagen (Ergebnisse der Vergleichsmessungen: Minimum, Median, Maximum).

Tabelle 3: Vergleich der spezifischen Zulauffrachten mit Angaben aus dem Spurenstoffinventar der LUBW [10, Angaben modifiziert]. (Quelle: KomS BW)

	Spezifische Zulauffracht [mg/(E·d)]	
	Bestandsaufnahme + Vergleichsmessungen	Spurenstoffinventar der LUBW
Bezugsgröße	Einwohnerwert	Einwohnerzahl
Zeitraum der Messungen	2014 – 2016	2012/13
Anzahl der Werte	44	≤ 72
Angegebener Wert	Median	Mittelwert
Sulfamethoxazol	0,10	0,17
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin	0,21	0,63
Metoprolol	0,32	0,82
Diclofenac	0,48	0,65
Gabapentin	1,2	1,7
Guanylharnstoff	1,2	2,7
Ibuprofen	2,5	2,3
Metformin	24	65
Acesulfam	3,9	7,2
∑ 4- und 5-Methylbenzotriazol	0,94	1,6
Benzotriazol	2,6	6,2

Zulaufkonzentrationen

Bild 2 zeigt eine statistische Auswertung der Zulaufkonzentrationen für diejenigen Substanzen, die im Rahmen der Bestandsaufnahme auf mindestens 90 % der untersuchten Kläranlagen in den Zuläufen quantifiziert werden konnten. Die Darstellung erfolgt hierbei in Anlehnung an den Boxplot, wobei allerdings anstatt der Minimal- und Maximalwerte die 10 %- und 90 %-Quantilwerte abgebildet sind, wodurch die Zulaufkonzentrationen von 80 % aller Kläranlagen wiedergegeben sind. Die Minimal- und Maximalwerte können bei Bedarf Tabelle 1 entnommen werden.

Für das Antidiabetikum Metformin wurden mit Werten zwischen 100 und 300 µg/L die höchsten Zulaufkonzentrationen festgestellt. Des Weiteren liegen aber auch die beiden Komplexbildner NTA und EDTA sowie das Röntgenkontrastmittel Iomeprol in vergleichsweise hohen Konzentrationen in den Kläranlagenzuläufen vor. Zu den Substanzen mit den geringsten Konzentrationen im Zulauf zählen hingegen die beiden Estrogene Estron und 17-beta-Estradiol mit Werten von weniger als 0,10 µg/L.

Wird das Verhältnis zwischen dem 90 %- und dem 10 %-Quantil betrachtet, so lassen sich zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den Substanzen bzw. den Substanzgruppen erkennen. Innerhalb der Gruppe der Arzneimittelrückstände liegen die Verhältniswerte für die Antibiotika, d. h. für Ciprofloxacin, Sulfamethoxazol, Azithromycin und Clarithromycin, zwischen 4,1 und 5,6, wohingegen für die restlichen Substanzen dieser Gruppe Verhältnisse zwischen 2,0 und 3,6 gegeben sind. Der Konzentrationsbereich, in dem die einzelnen Substanzen typischerweise in den Kläranlagenzuläufen zu finden sind, ist für die Antibiotika somit deutlich größer wie für die übrigen Arzneimittelrückstände. Beispielsweise liegt die Zulaufkonzentration für Diclofenac üblicherweise zwischen 1,9 und 3,8 µg/L, diejenige für Sulfamethoxazol hingegen zwischen 0,2 und 1,1 µg/L. Auch wenn anhand einer Konzentrationsangabe keine Aussage zur tatsächlichen Belastung getroffen werden kann, deuten diese Ergebnisse dennoch darauf hin, dass Antibiotika nicht so konstant ins Abwasser eingetragen werden wie beispielsweise Wirkstoffe, die jeden Tag und von vergleichsweise vielen Menschen eingenommen werden. Dass saisonale Unterschiede in den Verordnungszahlen von Antibiotika gegeben sind, ist bekannt [11]. Ob diese allerdings auch die hier festgestellten Unterschiede in den Konzentrationsbereichen bedingen, lässt sich anhand der vorgenommenen Auswertungen nicht beantworten.

Anhand der Untersuchungsergebnisse der Bestandsaufnahme lassen sich zudem große Streubreiten in den nachgewiesenen Zulaufkonzentrationen für das Röntgenkontrastmittel Iomeprol und die Industriechemikalien EDTA, Σ 4- und 5-Methylbenzotriazol sowie Melamin ausmachen. Das Verhältnis zwischen dem 90 %- und dem 10 %-Quantil liegt für diese Substanzen zwischen 8,3 und 18,7.

Zulauffrachten

Um Besonderheiten in der Belastung einer Kläranlage mit einzelnen Spurenstoffen erkennen zu können, genügt nicht allein die Gegenüberstellung von Zulaufkonzentrationen unterschiedlicher Kläranlagen. Vielmehr sind auch die absolut zufließenden Mengen einer Substanz zu berücksichtigen, da nur so die Beeinflussung der Konzentration durch die während der jeweiligen Probenahme vorliegende Abwassermenge ausgeschlossen werden kann. **Bild 3** verdeutlicht dies am Beispiel des Antiepileptikums Gabapentin sowie des Korrosionsschutzmittels Benzotriazol. Dargestellt sind die

Ergebnisse der Vergleichsmessungen, wobei neben den Zulaufkonzentrationen auch die spezifischen Zulauffrachten je Einwohner und Tag abgebildet sind. Für die Berechnung der einwohnerspezifischen Frachten wurde jeweils die gemessene Konzentration, die mittlere Belastung der Kläranlage (= mittlerer Einwohnerwert der den Untersuchungen vorausgegangenen drei Jahre, ermittelt über den CSB) sowie die während des Zeitraums der Probennahme vorgelegene Abwassermenge herangezogen. Würde man die Zulaufbelastung der einzelnen Anlagen allein anhand ihrer Konzentrationen bewerten, so ergäbe sich, gegenüber den anderen Kläranlagen, für Anlage A eine überdurchschnittliche Belastung mit Gabapentin. Betrachtet man im Gegensatz dazu die einwohnerspezifischen Frachten, so ist die Belastung der Kläranlage A mit im Median 0,93 mg/(E·d) nur als durchschnittlich einzustufen. Demgegenüber scheint die Belastung der Kläranlage B, bezogen auf die Konzentrationen, zunächst als durchschnittlich. Die Frachtbetrachtung hingegen zeigt, dass dieser Kläranlage mit im Median 1,3 mg/(E·d) tendenziell mehr Gabapentin zufließt als den übrigen Anlagen. In entsprechender Weise gilt dies für Benzotriazol. Obwohl die Zulaufkonzentrationen der Anlagen C, D und E mit einem Median von 15 – 20 µg/L nicht weiter auffällig sind, deuten die spezifischen Frachten in diesen Fällen auf eine deutlich höhere Belastung mit Benzotriazol im Vergleich zu den restlichen Anlagen hin. Während die Grundbelastung, unabhängig der Größe der Kläranlage, etwa 1,5 – 3,0 mg/(E·d) beträgt, liegen die Belastungen der Anlagen C, D und E mit einem Median von 4,8 – 7,5 mg/(E·d) deutlich höher. Neben dem auf allen Kläranlagen gegebenen Grundeintrag scheint es bei diesen Anlagen zusätzliche Einträge durch Einzeleinleiter zu geben. Darauf deuten zudem die Abweichungen zwischen dem Minimum und dem Maximum hin, welche bei den Anlagen C, D und E wesentlich größer sind als bei den übrigen Anlagen. Insbesondere im Fall der Kläranlage D waren während der drei Beprobungen sehr große Unterschiede in der zufließenden Fracht festzustellen.

Während anhand von Bild 3 zunächst die grundsätzliche Bedeutung der Frachtbetrachtung für die Ermittlung der Belastung einer Kläranlage dargelegt wurde, zeigt **Bild 4** beispielhaft für weitere acht Spurenstoffe die jeweiligen spezifischen Zulauffrachten. Da sowohl die Ergebnisse der Bestandsaufnahme als auch diejenigen der Vergleichsmessungen dargestellt sind, kann aufgrund der großen Datenanzahl die Zulaufbelastung kommunaler Kläranlagen mit diesen Substanzen relativ gut beschrieben werden. Zudem belegt die Verschneidung der beiden Datensätze die grundsätzliche Plausibilität der Ergebnisse der Bestandsaufnahme, auch wenn in diesem Fall je Kläranlage nur eine Beprobung erfolgte. Die im Rahmen der Bestandsaufnahme ermittelten spezifischen Frachten decken im Wesentlichen dieselben „Werte-Bereiche“ ab, wie sie sich auf Grundlage der Ergebnisse der Vergleichsmessungen, gerade auch unter Berücksichtigung der Spannweitenlinien, darstellen.

Für die ausgewählten Arzneimittelrückstände Diclofenac, Carbamazepin und Metoprolol zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der mittleren Belastung einer Kläranlage, ausgedrückt durch deren Einwohnerwert, und der spezifischen Zulauf-

fracht. Dass diese Substanzen generell in den Zuläufen von Kläranlagen nachgewiesen werden können, zeigten bereits die Auswertungen zum Vorkommen der untersuchten Spurenstoffe (Tabelle 1). Zusätzlich deuten die einwohnerspezifischen Frachten aber auch darauf hin, dass der überwiegende Anteil der ins Abwasser eingetragenen Arzneimittelrückstände aus Haushalten stammt, da sich die Zulauffrachten kleinerer Kläranlagen nicht wesentlich von denjenigen größerer Anlagen unterscheiden. Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen weisen darüber hinaus auf ein sehr gleichmäßiges Vorkommen im Rohabwasser je Kläranlage hin, da sich die minimal und maximal ermittelten spezifischen Zulauffrachten in der Regel um weniger als den Faktor 2 unterscheiden.

Für den Süßstoff Acesulfam gelten die für die Arzneimittelrückstände getroffenen Aussagen in entsprechender Weise: Die spezifische Zulauffracht ist mit einem Wert von meist 3-5 mg/(E·d) ebenfalls unabhängig von der Größe der Anlage und unterliegt, bezogen auf die einzelnen Kläranlagen, keinen großen Schwankungen.

Für die beiden Komplexbildner EDTA und NTA sowie Σ 4- und 5-Methylbenzotriazol besteht im Gegensatz dazu ein Zusammenhang zwischen der mittleren Belastung der Kläranlage und der zufließenden Fracht der entsprechenden Substanz: Umso größer eine Kläranlage ist, umso höher ist auch die spezifische Zulauffracht. Während sich dieser Zusammenhang für EDTA und Σ 4- und 5-Methylbenzotriazol lediglich in der Tendenz abzeichnet, stellt er sich für NTA sehr deutlich dar. Bei Kläranlagen mit einer Belastung von weniger als 50.000 E beträgt die Zulauffracht an NTA in der Regel weniger als 10 mg/(E·d), bei Anlagen mit über 50.000 E hingegen meist zwischen 10 und 20 mg/(E·d).

Darüber hinaus lassen sich anhand von Bild 4 aber auch Kläranlagen identifizieren, die mit einzelnen Substanzen überdurchschnittlich stark belastet zu sein scheinen. Solche „Hot-Spots" zeigen sich insbesondere für die Industriechemikalien, vereinzelt aber auch für Vertreter der übrigen Substanzgruppen und sie können in gleichem Maße sowohl kleinere als auch größere Kläranlagen betreffen. Beispielsweise sind die Zulauffrachten des Flammschutzmittels TCPP auf vier Kläranlagen mit Werten zwischen 1,0 und 2,1 mg/(E·d) signifikant höher als auf den übrigen Anlagen, bei denen die Zulauffracht maximal 0,5 mg/(E·d) beträgt. Im Einzugsgebiet der entsprechenden Kläranlagen muss es folglich Einzeleinleiter geben, die sehr hohe Frachten bedingen, so dass sich dies selbst bei einer Probenahme über 72 Stunden noch so ausgeprägt in der gemessenen Konzentration und der sich daraus errechneten Zulauffracht zeigt. Unter Einbezug der Ergebnisse der Vergleichsmessungen gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass die zufließenden Frachten an Industriechemikalien, gerade bei Anlagen, die überdurchschnittlich stark belastet sind, eine große Spannweite aufweisen können und sich demnach bei einzelnen Beprobungen möglicherweise keine Auffälligkeiten ergeben. Wurde eine Kläranlage bereits durch die einmalige Beprobung im Rahmen der Bestandsaufnahme als überdurchschnittlich stark belastet eingestuft, so ist dies in der Tendenz gesehen sicherlich richtig. Allerdings könnte auch das Gegenteil der Fall gewesen sein, nämlich, dass diese eine Beprobung keine Auffälligkeit gezeigt hat und die Kläranlage trotzdem überdurchschnittlich stark belastet ist. Um die Belastung einer einzelnen Anlage, gerade im Hinblick auf die Industriechemikalien, hinreichend genau bewerten zu können, sollten daher weitere Beprobungen durchgeführt werden.

Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus der Literatur

Im Rahmen des Messprogramms für das „Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg" wurden die Zu- und Abläufe von sechs Kläranlagen über die Dauer eines Jahres einmal pro Monat auf das Vorkommen von Spurenstoffen untersucht. **Tabelle 3** zeigt einen Vergleich zwischen den anhand der „Bestandsaufnahme und Vergleichsmessungen" ermittelten spezifischen Zulauffrachten und den Angaben des Spurenstoffinventars [10]. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass im Spurenstoffinventar als Bezugsgröße für die Berechnung der spezifischen Zulauffrachten nicht der Einwohnerwert einer Kläranlage gewählt wurde, sondern die Anzahl der angeschlossenen Einwohner (Einwohnerzahl). Dies erklärt, dass die Werte des Spurenstoffinventars in der Regel größer sind als diejenigen der Bestandsaufnahme und Vergleichsmessungen. Trotz der Unterschiede in den absoluten Zahlenwerten ist dennoch eine vergleichsweise gute Übereinstimmung gegeben, da die spezifischen Zulauffrachten für eine Substanz jeweils dieselbe Größenordnung aufweisen. Gleichzeitig deuten die Daten darauf hin, dass die Zulaufbelastung der Kläranlagen in Baden-Württemberg mit Spurenstoffen in den letzten Jahren im Wesentlichen unverändert geblieben ist.

Generell ist bei einem Vergleich von Daten unterschiedlicher Studien die Art der untersuchten Probe (homogenisiert/filtriert) zu berücksichtigen. Für Stoffe, die im Rohwasser nicht nur gelöst sondern auch partikulär gebunden vorliegen, bedeutet die Analyse aus der filtrierten Probe demnach ein Unterbefund gegenüber der Bestimmung aus der homogenisierten Probe. Je nach Parameter ist somit ein direkter Vergleich nur bedingt möglich. Die in Tabelle 3 aufgeführten Substanzen liegen im Rohabwasser primär gelöst vor.

Zusammenfassung

Anhand der Ergebnisse zweier Untersuchungsvorhaben lässt sich die Zulaufbelastung von kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg mit unterschiedlichen Spurenstoffen beschreiben. Knapp 40 % der analysierten 50 Substanzen wurden auf allen untersuchten Kläranlagen in einer Konzentration oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze im Rohabwasser nachgewiesen. Dies zeigt, dass einige Spurenstoffe, primär Arzneimittelrückstände aber auch das Röntgenkontrastmittel Iomeprol, der Süßstoff Acesulfam und einzelne Vertreter der Industriechemikalien, flächendeckend in den Zuläufen sowohl kleiner als auch großer Kläranlagen zu finden sind. Ein flächendeckendes Vorkommen impliziert im Allgemeinen auch ein dauerhaftes Vorkommen. Demgegenüber ist ein nicht flächendeckendes Vorkommen jedoch nicht zwangsläufig gleichbedeutend mit einem nicht dauerhaften Vorkommen. Bei einzelnen Kläranlagen wurden nicht flächendeckend vorliegende Substanzen, wie zum Beispiel die Pestizide oder die PFT-Verbindungen, dennoch dauerhaft im Rohabwasser nachgewiesen.

Unterschiede in der Belastung von Kläranlagen mit einzelnen Substanzen lassen sich anhand von Frachtbetrachtungen ausmachen. Ein alleiniger Vergleich von Konzentrationen genügt hierfür nicht. Anhand von acht Beispielsubstanzen wurde gezeigt,

dass für flächendeckend vorkommende Substanzen, unabhängig der Größenordnung der Kläranlage, eine Art „Grundbelastung“ mit diesen Substanzen gegeben ist. Dies lässt gleichzeitig darauf schließen, dass nicht nur Arzneimittel oder Süßstoffe, sondern auch Komplexbildner, Korrosionsschutzmittel oder Flammschutzmittel weit verbreitet Anwendung finden und regelmäßig sowie in etwa vergleichbaren Mengen ins Abwasser eingetragen werden. Liegt für eine Kläranlage eine höhere spezifische Fracht als die „Grundbelastung“ vor, so deutet dies darauf hin, dass es in deren Einzugsgebiet Einzeleinleiter gibt, die für diese überdurchschnittlich hohe Belastung verantwortlich sein müssen. In Fällen solcher „Hot-Spots“, die sich insbesondere für Substanzen aus der Gruppe der Industriechemikalien feststellen lassen, hat sich aber auch gezeigt, dass die zufließenden Frachten eine große Spannweite aufweisen können. Um eine gesicherte Aussage dahingehend treffen zu können, ob eine Anlage tatsächlich überdurchschnittlich stark belastet ist, wird demnach eine einmalige Beprobung als nicht ausreichend erachtet. Liegt jedoch gesichert ein „Hot-Spot“ vor, so können auf Grundlage dieser Erkenntnisse auch weitere Schritte in Hinblick auf die Identifizierung der verantwortlichen Einzeleinleiter sowie möglicher quellenorientierter Maßnahmen unternommen werden.

Um die „Grundbelastung“ des Rohabwassers, und damit letztlich auch die Gewässerbelastung, insbesondere mit flächendeckend vorkommenden Spurenstoffen zu vermindern, werden allein quellen- und anwendungsorientierte Maßnahmen nicht ausreichend sein. Zwar sind beispielsweise Kampagnen zur Änderung des Verbraucherverhaltens und zur umweltgerechten Entsorgung bestimmter Produkte durchaus sinnvolle Bausteine, jedoch haben Maßnahmen, die allein auf Freiwilligkeit beruhen, erfahrungsgemäß nur mäßigen Erfolg. Die Realisierung von „end of pipe“-Lösungen sollte daher, auch wenn bekannt ist, dass sich mit der Ozonung oder Aktivkohleanwendung nicht alle im Abwasser enthaltenen Spurenstoffe in gleichem Umfang entfernen lassen, nicht nur als zweitrangiger Lösungsansatz gesehen werden, um den Eintrag von Spurenstoffen in die Gewässer zu reduzieren, sondern vielmehr als ein weiterer Baustein neben den quellen- und anwendungsorientierten Maßnahmen.

Dank

Der Dank gilt dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die finanzielle Förderung der Untersuchungen sowie allen beteiligten Kläranlagenbetreibern für die gute und kooperative Zusammenarbeit.

Literatur

[1] Ternes, T.: Vorkommen von Pharmaka in Gewässern. Wasser & Boden 2001, 53/4, 9-14

[2] Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M., Guwy, A. J.: The removal of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs during wastewater treatment and its impact on the quality of receiving waters. Water Research 2009, 43, 363 – 380

[3] Reemtsma, T., Weiss, S., Mueller, J., Petrovic, M., Gonzalez, S., Barcelo, D., Ventura, F., Knepper, T. P.: Polar pollutants entry into the water cycle by municipal wastewater: a European perspective. Environmental Science & Technology 2006, 40 (17), 5451 – 5458

[4] Abegglen, C., Siegrist, H.: Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Umwelt-Wissen Nr. 1214. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2012

[5] DWA-Themen: Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen, Hennef, 2015

[6] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK): Erläuternder Bericht zur Änderung der Gewässerschutzverordnung, Bern, 2014. www.news.admin.ch/NSB-Subscriber/message/attachments/37816.pdf, abgerufen am 13.02.2018

[7] Policy Paper: Empfehlungen des Stakeholder-Dialogs „Spurenstoffstrategie des Bundes“ an die Politik zur Reduktion von Spurenstoffeinträgen in die Gewässer. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewaesser/spurenstoffstrategie_policy_paper_bf.pdf, abgerufen am 13.02.2018

[8] Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg: Handlungsempfehlungen zur Vergleichskontrolle und zur Betriebsüberwachung der 4. Reinigungsstufe, Stuttgart, 2014. www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Handlungsempfehlung_final(1).pdf, abgerufen am 13.02.2018

[9] Europäische Kommission: Durchführungsbeschluss (EU) 2015/495 der Kommission vom 20. März 2015. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015D0495&from=DE, abgerufen am 13.02.2018

[10] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2014. www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/243039/, abgerufen am 13.02.2018

[11] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Paul-Ehrlich-Gesellschaft für Chemotherapie e.V., Infektiologie Freiburg (Hrsg.): GERMAP 2012 - Bericht über den Antibiotikaverbrauch und die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Human- und Veterinärmedizin in Deutschland, Antiinfectives Intelligence, Rheinbach, 2014

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2
70569 Stuttgart
E-Mail: annette.roessler@koms-bw.de
www.koms-bw.de

Dipl.-Ing. Walter Rau
iat-Ingenieurberatung GmbH
Friolzheimer Straße 3A
70499 Stuttgart

Dr.-Ing. Steffen Metzger
Weber-Ingenieure GmbH
Bauschlotter Straße 62
75177 Pforzheim

SpringerProfessional.de

Spurenstoff

Grossgut, R.: Herausforderung Risikobewertung von Spurenstoffen in Trinkwasser. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Ausgabe 07-08/2017. Wien: Springer, 2017. www.springerprofessional.de/link/12263838

Mertsch, V.: Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser. In: Wasser, Energie und Umwelt. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017. www.springerprofessional.de/link/12350140

Fünf Jahre Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg – Positive Bilanz zum Jubiläum

KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

Seit seiner Gründung im April 2012 ist das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg die zentrale Anlaufstelle für alle Beteiligten der kommunalen Abwasserreinigung in Baden-Württemberg zur Thematik der Spurenstoffelimination aus dem Abwasser. Das KomS – eine Kooperation zwischen der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg, finanziell gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg – wurde mit dem Ziel eingerichtet, das Wissen hierzu zu bündeln und zu kommunizieren. Zugleich hat es zur Aufgabe, die technologische Umsetzung als auch die Etablierung von Eliminationsverfahren sowie deren Weiterentwicklung zu fördern. Darüber hinaus bildet es in Baden-Württemberg die Plattform für den Informations- und Erfahrungsaustausch bei der Realisierung der neuen Reinigungsverfahren. Längst hat sich das KomS als gefragter Ansprechpartner für das Fachpersonal von Kläranlagen als auch für Vertreter von Behörden, Kommunen, Abwasserverbänden, Ingenieurbüros sowie der Industrie etabliert.

Beratung und technischer Support

Im Hinblick auf die Umsetzung von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination auf Kläranlagen nimmt Baden-Württemberg bundesweit eine Vorreiterrolle ein: Bereits zwölf Anlagen wurden um eine solche Reinigungsstufe nachgerüstet, weitere sechs Anlagen befinden sich im Bau oder in der Planung. Ein wesentliches Element der Arbeit des KomS stellt dabei die Unterstützung der Kläranlagenbetreiber bei der Umsetzung sowie Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle von Technologien zur Spurenstoffelimination dar. So ist das KomS bereits während der Planungsphase bei den durchzuführenden Messungen zur Dokumentation der Spurenstoffbelastung einer Kläranlage sowie deren Eliminationsverhalten vor dem Ausbau behilflich. Nach Inbetriebnahme einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination führt das KomS eine Bestandsaufnahme durch, um den Ist-Zustand der Verfahrenstechnik hinsichtlich deren Reinigungsleistung sowie Betriebsweise zu ermitteln.

Kläranlagenkarte zur Spurenstoffelimination

Forschung

Zur Weiterentwicklung von Spurenstoffeliminationsverfahren besteht für das KomS die Möglichkeit, an seinem Standort der Universität Stuttgart halbtechnische Untersuchungen durchzuführen. Ferner wirkt es an Untersuchungsvorhaben wie z. B. einem Projekt zur simultanen Dosierung von Pulveraktivkohle oder auch der kombinierten Anwendung von Ozon und Aktivkohle mit.

Wissens- und Kommunikationsplattform

Zur Zusammenführung der verschiedenen Interessensgruppen werden themenspezifische Fachgespräche sowie das jährlich stattfindende KomS-Technologieforum veranstaltet. Darüber hinaus trifft sich das Betriebspersonal der in Planung, Bau und Betrieb befindlichen Anlagen im Rahmen der „DWA-Sonder-Nachbarschaft Spurenstoffe“ unter fachlicher Begleitung des KomS einmal jährlich zum gemeinsamen Wissens- und Erfahrungsaustausch. Interessierten steht zudem als Informationsquelle die Homepage des KomS (www.koms-bw.de) zur Verfügung. Auf dieser wird u. a. von den aktuellen Geschehnissen zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg berichtet. Weiterhin stehen dort verschiedene Dokumente, wie z. B. Steckbriefe von den ausgebauten Kläranlagen, zum Download bereit.

Kläranlagensteckbrief der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen

Besichtigung der Kläranlage Lahr von den Teilnehmern der Sonder-Nachbarschaft Spurenstoffe

Positive Zwischenbilanz

Fünf Jahre nach Gründung des KomS zieht Dr.-Ing. Steffen Metzger, Leiter des Kompetenzzentrums, eine durchweg positive Zwischenbilanz: „In Baden-Württemberg schreitet der Ausbau von Kläranlagen stetig voran. Auch das Interesse an der Thematik Spurenstoffe wird immer größer – obwohl es bisher gesetzlich nicht verpflichtend ist, Technologien zu deren Elimination in Kläranlagen einzusetzen. Die vielen Anfragen und Gespräche als auch die hohe Zahl der Teilnehmer an den Technologieforen und Kongressen bestätigen unsere Arbeit auf ganzer Linie. Sie zeigen vor allem, wie wichtig es ist, eine zentrale Anlaufstelle für diese Thematik im Land zu haben.“

ELIMINATION VON ORGANISCHEN SPURENSTOFFEN AUS KOMMUNALEM ABWASSER: SITUATION IN DEUTSCHLAND

In der Schweiz sind die Umsetzungen zur Elimination der Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen angelaufen. Der Blick über die Landesgrenze zeigt, dass auch in Deutschland sehr viel in diese Richtung unternommen wird. Um den gegenseitigen Austausch sicherzustellen, steht die VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» in regelmässigem Kontakt mit den zuständigen Personen der Kompetenzzentren in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen.

Interview: Pascal Wunderlin, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»*

In der Schweiz sind seit einem knappen Jahr die gesetzlichen Grundlagen (Gewässerschutzgesetz, Gewässerschutzverordnung) in Kraft, die den Ausbau von kommunalen Kläranlagen um eine zusätzliche Reinigungsstufe zur Elimination der organischen Spurenstoffe regeln. Erste grosstechnische Anlagen sind bereits in Betrieb oder befinden sich in der Planungs- und Bauphase. Dabei kommt entweder (Pulver-)Aktivkohle oder Ozon zum Einsatz. Trotz dieser vielen Aktivitäten bestehen noch einige offene technische Fragen, die es zu klären gilt.

Auch in anderen Ländern laufen Aktivitäten zur Elimination der Spurenstoffe aus dem kommunalen Abwasser. So sind in den deutschen Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg bereits 17 grosstechnische Projekte umgesetzt worden. Ein Austausch mit den zuständigen Personen ist daher für die Umsetzung in der Schweiz von grossem Interesse. Zu diesem Zweck hat *Pascal Wunderlin* von der Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» ein Interview mit *Demet Antakyali* (Leiterin Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe in Nordrhein-Westfalen, Kom-M.NRW) und *Steffen Metzger* (Leiter Kompetenzzentrum Spurenstoffe in Baden-Württemberg, KomS) über verschiedenste Aspekte im Zusammenhang mit der Spurenstoffelimination aus dem kommunalen Abwasser geführt.

Frau Antakyali, Herr Metzger, in Deutschland laufen sehr viele Projekte im Zusammenhang mit der Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen. Können Sie etwas zur Situation in Ihren Bundesländern sagen?

D. Antakyali (Kom-M.NRW): In Nordrhein-Westfalen (NRW) hat das Thema Spurenstoffe insbesondere seit den Funden von perfluorierten Tensiden (PFT) (Anmerkung: PFT sind potenziell krebserregend) in der Ruhr eine grosse Bedeutung. Die Landesregierung hat deshalb im Jahre 2008 das Programm «Reine Ruhr – zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in NRW» initiiert. Umfangreiche Gewässeruntersuchungen haben aufgezeigt, dass die Gewässer erheblich mit organischen Spurenstoffen belastet sind. Die kommunalen Kläranlagen stellen dabei einen sehr wichtigen Eintragspfad dar. Die gezielte Elimination der Spurenstoffe in kommunalen Kläranlagen hat daher eine grosse Bedeutung. Bereits im Jahre 2009 wurde die erste Anlage zur Spurenstoffelimination auf einer kommunalen Kläranlage in Betrieb genommen. Heute sind insgesamt acht grosstechnische Anlagen in Betrieb, zwei weitere Anlagen befinden sich im Bau und zehn Anlagen sind in der Planungsphase. Der Ausbau in NRW findet bisher auf freiwilliger Basis statt. Das Land NRW unterstützt aber den Ausbau mit einer Förderung von bis zu 70% der Investitionskosten. Auch werden Machbarkeitsstudien mit 80% der anfallenden Kosten gefördert.

St. Metzger (KomS): In Baden-Württemberg wurden bereits zwischen 2004 und 2011 halbtechnische Untersuchungen zur Spurenstoffelimination durchgeführt. Grundlage hierfür bildeten die Erfahrungen von drei Kläranlagen, die bereits seit den 1990er-Jahren Pulveraktivkohle (PAK) zur Entfärbung des Abwassers einsetzen. Bis heute sind weitere neun Kläranlagen um eine PAK-Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination erweitert worden, zwei weitere Anlagen befinden sich derzeit im Ausbau. Für drei Standorte wird die Ausbauplanung vorangetrieben. Die bislang in Baden-Württemberg geförderten und realisierten Vorhaben zur Spurenstoffelimination wurden im Konsens zwischen Betreiber und Behörden umgesetzt. Das Bundesland fördert die Massnahmen mit einer 20%igen Beteiligung an den Investitionskosten. In Abhängigkeit von den Wasser- und Abwassergebüh-

** Kontakt: pascal.wunderlin@vsa.ch*

RÉSUMÉ

ÉLIMINATION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES DANS LES EAUX USÉES COMMUNALES: LA SITUATION EN ALLEMAGNE

D'autres pays que la Suisse engagent des activités pour éliminer les micropolluants dans les eaux usées communales. Par exemple dans les Länder allemands de Rhénanie-du-Nord-Westphalie et du Bade-Wurtemberg, 17 projets de grande envergure ont déjà été mis en œuvre. Un échange avec les personnes compétentes est par conséquent très intéressant pour la mise en œuvre de projets similaires en Suisse. Ainsi *Pascal Wunderlin,* de la plateforme «Techniques de traitement des micropolluants», a mené l'entretien suivant avec *Demet Antakyali* (directrice du Centre de compétences Micropolluants de Rhénanie-du-Nord-Westphalie) et *Steffen Metzger* (directeur du Centre de compétences Micropolluants du Bade-Wurtemberg) sur les aspects les plus divers de l'élimination des micropolluants présents dans les eaux usées communales.

ren gemäss den «Förderrichtlinien Wasserwirtschaft» kann die Förderung insgesamt jedoch bis zu 80% betragen.

Welche Anforderung besteht an die Reinigungsleistung?
St. Metzger: In Baden-Württemberg sind bislang noch keine Zielvorgaben für die Reinigungsleistung festgelegt worden. Derzeit wird anhand der bestehenden Anlagen geprüft, welche Reinigungsleistung unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Gesichtspunkten erzielt werden kann. Basierend auf diesen Ergebnissen sollen Zielvorgaben entwickelt werden. Gegenwärtig sind im Zuwendungsbescheid der Kläranlagen lediglich individuelle Auflagen für eine Erfolgskontrolle beschrieben.

Demet Antakyali, Leiterin des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe in Nordrhein-Westfalen (Kom-M.NRW), ist erfreut über das zunehmende Interesse der Fachleute am Thema sowie über den guten Austausch unter den Kompetenzzentren in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und der Schweiz.

D. Antakyali: Das Kom-M.NRW empfiehlt, dass zwischen dem Zulauf zur biologischen Stufe und dem Ablauf der Spurenstoffeliminationsstufe grundsätzlich 80% der Indikatorsubstanzen eliminiert werden sollen. Details dazu sind in der aktuellen Auflage der Broschüre «Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination» zu finden (s. *www.kompetenzzentrum-mikroschadstoffe.de*). Darüber hinaus sind die Anforderungen aus dem Gewässer (Immission) zu berücksichtigen. Die Festlegung erfolgt in Abstimmung mit der zuständigen Wasserbehörde im Hinblick auf die konkreten Bewirtschaftungsziele wie beispielsweise Guter Zustand oder Trinkwasserschutz.

Können Sie etwas zu den Aktivitäten in den anderen deutschen Bundesländern sagen?
D. Antakyali: In Berlin wurden in den vergangenen Jahren wichtige Forschungsprojekte durch die TU-Berlin und die Berliner Wasserbetriebe zum Thema durchgeführt. Bayern ist gerade dabei, in Weissenburg die erste grosstechnische Anlage in der Region zu konzipieren, wo die kombinierte Anwendung von Ozon und granulierte Aktivkohle (GAK) untersucht werden soll. Weitere Untersuchungen werden auf der Grosskläranlage Gut Marienhof in der Nähe von München durchgeführt. Auch in Rheinland-Pfalz und Hessen läuft immer mehr, die Arbeiten sind jedoch bisher auf Forschungsprojekte begrenzt.

Die Kompetenzzentren in Nordrhein-Westfalen (Kom-M.NRW) und Baden-Württemberg (KomS) wurden wie die VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» im Jahre 2012 gegründet. Wie sind sie ausgerichtet und wo liegen die Arbeitsschwerpunkte?
St. Metzger: Beim Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) handelt es sich um eine Kooperation zwischen der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) Landesverband Baden-Württemberg. Finanziell gefördert wird die Arbeit des KomS vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Die Hauptaufgaben des KomS bestehen darin, das Wissen rund um die Thematik der Spurenstoffelimination zu bündeln und an die interessierten Akteursgruppen weiterzugeben. Hierzu bildet es in Baden-Württemberg die Plattform für den Informations- und Erfahrungsaustausch bei der Realisierung von Reinigungsverfahren zur Spurenstoffelimination. Im Weiteren soll das KomS die technologische Umsetzung als auch die Etablierung von Eliminationsverfahren sowie deren Weiterentwicklung fördern. Dabei ist es uns sehr wichtig, die Kläranlagenbetreiber bei der Umsetzung als auch beim Betrieb der neuen Reinigungsverfahren zu begleiten und zu unterstützen. Dies ermöglicht eine enge Verknüpfung von Erkenntnissen aus Wissenschaft und Praxis. Weitere Informationen über die Arbeit des KomS sind auf unserer Webseite zu finden: *www.koms-bw.de.*
D. Antakyali: Das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW (Kom-M.NRW) wurde vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) ins Leben gerufen, um die Akteure aus Politik, Wasserwirtschaft, Behörden und Wissenschaft in einen intensiven Austausch zu bringen und den aktuellen Stand des Wissens zusammenzuführen, auszuwerten sowie in geeigneter Form zu kommunizieren. Das Kom-M.NRW ist als ein interdisziplinäres Konsortium organisiert. Das Ingenieurbüro Sweco GmbH, die wissenschaftlichen Institute IWW (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser) und IUTA (Institut für Energie- und Umwelttechnik) sowie die Kommunikationsagentur IKU GmbH sind daran beteiligt.

«Ich schätze den regelmässigen Austausch mit den Kollegen aus Baden-Württemberg und der Schweiz.» (D. Antakyali)

Eine Hauptaufgabe des Kom-M.NRW besteht darin, Veranstaltungen zu organisieren, um den Erfahrungsaustausch unter den Akteuren gezielt zu fördern. Im Weiteren erarbeitet das Kom-M.NRW Veröffentlichungen, wie beispielsweise die Anleitung zur «Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination».

Wie haben sich die Kompetenzzentren seit ihrer Gründung entwickelt? Wie geht es mittelfristig weiter?
D. Antakyali: Das Kom-M.NRW hat sich seit der Gründung sehr gut etabliert. So konnte auch das Team im Jahr 2014 vergrössert werden. Insbesondere wurden neue Produkte entwickelt und die Kommunikation zwischen den Akteuren sowie die Öffentlichkeitsarbeit verstärkt. Es ist auch sehr erfreulich, dass wir über die Zeit ein stark zunehmendes Interesse am Thema feststellen

konnten: So nimmt beispielsweise die Teilnehmerzahl bei den Informationsveranstaltungen laufend zu. Bei der letzten Veranstaltung im September 2016 haben wir mit über 550 Teilnehmern unseren bisherigen Rekord verzeichnen können.
Der aktuelle Auftrag für das Kom-M.NRW läuft bis Mitte 2017. Aufgrund der hohen und steigenden Bedeutung der Thematik finden derzeit Überlegungen zur Weiterführung des Kom-M.NRW im Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz statt.
St. Metzger: Auch in Baden-Württemberg ist ein steigendes Interesse am Thema zu erkennen. Dies spiegelt sich nicht zuletzt in der Entwicklung der KomS-Mitarbeiterzahl wider, welche aufgrund der zunehmenden Anfragen nach den Leistungen des KomS über die letzten Jahre von anfänglich vier auf mittlerweile neun Mitarbeiter angewachsen ist.

«In Baden-Württemberg ist ein steigendes Interesse am Thema zu erkennen.» (St. Metzger)

Das KomS ist für eine Förderdauer von fünf Jahren finanziert, welche Ende März 2017 ausläuft. Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg hat aber bereits geäussert, dass es für weitere fünf Jahre an der Arbeit des KomS festhalten möchte. Auch vonseiten der Kläranlagenbetreiber wurde bekundet, zukünftig an der guten Zusammenarbeit mit dem KomS festhalten zu wollen.

Sind Sie im Austausch mit anderen Fachleuten?
D. Antakyali: Das Kom-M.NRW ist in regelmässigem Austausch mit dem KomS und der VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen». Auch wenn die Ausrichtungen der Kompetenzzentren leicht voneinander abweichen, ist die Thematik dieselbe und durch den regelmässigen Austausch können die Arbeiten und Entwicklungen überregional und international dargestellt und ausgetauscht werden. Dieser regelmässige Austausch ist enorm wertvoll und die Vernetzung mit den anderen beiden Kompetenzzentren war uns von Anfang an sehr wichtig.
St. Metzger: Auch ich schätze den regelmässigen Austausch mit den Kollegen aus Nordrhein-Westfalen und der Schweiz. Wir versuchen mit gemeinsamen Produkten nach aussen sichtbar zu sein. So haben wir beispielsweise im vergangenen Jahr einen gemeinsamen Beitrag für die Fachzeitschrift Wasserwirtschaft Wassertechnik (wwt) verfasst, in dem unter anderem der aktuelle Stand der Ausbauprojekte in Deutschland und der Schweiz dargestellt wurde.

Steffen Metzger, Leiter des Kompetenzzentrums Spurenstoffe in Baden-Württemberg (KomS), glaubt, dass auch in fünf bis zehn Jahren noch Verfahren mit Aktivkohle und Ozon gebaut werden.

Wie beurteilen Sie die Entwicklung der Verfahren zur Elimination der Spurenstoffe? Wird man in fünf bis zehn Jahren noch die gleichen Verfahren bauen?
St. Metzger: Wenn man die Entwicklung der vergangenen fünf Jahre betrachtet, so bin ich mir sicher, dass man in fünf bis zehn Jahren immer noch Verfahren mit Aktivkohle oder Ozon bauen wird. So wurde doch bislang bei der Pulveraktivkohleanwendung lediglich das «Ulmer Verfahren» (Anmerkung: der biologischen Stufe nachgeschaltet, und bestehend aus Kontaktreaktor, Sedimentation und Filtration, s. auch *Artikel S. 14*) bereits auf mehreren Anlagen zur Anwendung gebracht. Aufgrund der guten Resultate bei den Untersuchungen zur Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) in die biologische Stufe oder auch bei der Direktdosierung vor einen Sandfilter gehe ich davon aus, dass man diese Verfahrensvarianten der PAK-Anwendung zunehmend auf Kläranlagen zur Umsetzung bringen wird. Was den Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) angeht, so denke ich, sind wir noch am Anfang. Vor noch nicht allzu langer Zeit glaubte man aufgrund der damaligen Resultate, dass die GAK-Filtration in der kommunalen Abwasserbehandlung nicht wirtschaftlich sei. Mittlerweile sind in Deutschland – u.a. in Nordrhein-Westfalen – bereits einige Filteranlagen erfolgreich zur GAK-Filtration umgerüstet worden. Bei der Ozonung wird es noch spannend sein, welche Verfahren sich neben einer Sandfiltration zur biologischen Nachbehandlung durchsetzen werden.

«Ich bin mir sicher, dass es nur noch eine Frage der Zeit ist, bis man in Baden-Württemberg die erste Ozonanlage besichtigen kann.» (St. Metzger)

D. Antakyali: Die GAK-Filtration wird in Nordrhein-Westfalen vermutlich noch stärker in den Fokus rücken, da rund 40% des anfallenden Abwassers auf Kläranlagen in einer bestehenden Filtrationsstufe behandelt wird. Diese können mit einem vergleichsweise geringen Aufwand zu einer GAK-Filtration umgerüstet werden. Ebenfalls rücken bei Pilotversuchen und grosstechnischen Untersuchungen zunehmend Verfahrenskombinationen wie Ozon in Kombination mit Aktivkohle, wie beispielsweise in Detmold oder Paderborn, in den Fokus. Wenn die aktuellen Untersuchungen die vermuteten positiven Effekte der Kombinationsanwendung bestätigen können, wird die Umsetzung solcher Verfahren in nächster Zukunft in NRW vorangetrieben.

In Baden-Württemberg werden hauptsächlich Verfahren mit Pulveraktivkohle gebaut und betrieben. Ist die Anwendung von Ozon kein Thema? Wie sieht die Situation diesbezüglich in Nordrhein-Westfalen aus?
St. Metzger: Die Tatsache, dass in Baden-Württemberg hauptsächlich das «Ulmer Verfahren» zur Anwendung kommt, ist

darauf zurückzuführen, dass dieses Verfahren in Baden-Württemberg entwickelt wurde und nahezu zeitgleich auf vier Kläranlagen zur Umsetzung kam. Die ersten positiven Erfahrungen waren für andere Betreiber sicherlich ein Grund, sich ebenfalls für dieses Verfahren zu entscheiden. Man muss auch bedenken, dass für die anderen Verfahren vor zwei bis drei Jahren noch nicht so viele Betriebserfahrungen vorlagen. Zudem war von drei Kläranlagen auf der Schwäbischen Alb, die bereits seit etwa 20 Jahren PAK zur Entfärbung des Abwassers einsetzen, bekannt, dass dieses Verfahren langfristig stabil betrieben werden kann. Ein weiterer Punkt für die Bevorzugung von Aktivkohleverfahren ist sicherlich auch im Nebeneffekt einer zusätzlichen Elimination der organischen Stoffe (CSB) zu sehen: Durch die PAK-Anwendung erreichen die Kläranlagen häufig einen Ablaufwert, der sie von der Abwasserabgabe für diesen Parameter befreit. Auch wenn in Baden-Württemberg bislang noch auf keiner Kläranlage eine Ozonung realisiert wurde, wird dieses Verfahren als gleichwertig erachtet.

D. Antakyali: In NRW wurden bisher sowohl PAK-, GAK- als auch Ozonungsanlagen realisiert. Jedes Verfahren hat seine Vor- und Nachteile und es sind bei der Verfahrenswahl im Vorfeld die Rahmenbedingungen (z. B. bauliche und abwasserseitige Gegebenheiten) für jede Kläranlage individuell zu beachten. Es ist also keine Tendenz zu erkennen, dass eines der Verfahren deutlich häufiger umgesetzt oder in Erwägung gezogen wird als die anderen. In NRW zeigt sich, dass sich die GAK-Anwendung meist am wirtschaftlichsten erweist, wenn eine bereits bestehende Filtrationsanlage entsprechend umgerüstet werden kann und somit deutlich geringere Investitionskosten anfallen. Bei der PAK-Anwendung ist die grosse Auswahl an verschiedenen Verfahrensvarianten hervorzuheben. Bei der Ozonung ist dagegen der geringe Platzbedarf von Vorteil.

«Jedes Verfahren hat seine Vor- und Nachteile und es sind bei der Verfahrenswahl im Vorfeld die Rahmenbedingungen (z. B. bauliche und abwasserseitige Gegebenheiten) für jede Kläranlage individuell zu beachten.» (D. Antakyali)

Frau Antakyali, Herr Metzger, besten Dank für dieses interessante Gespräch.

Interview mit Herrn Dr. Steffen Metzger, Leiter des Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg in Stuttgart

„Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg hat die Entnahme von Spurenstoffen aus dem Abwasser im Fokus“

Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe – KomS – sammelt und bündelt in Baden-Württemberg Wissen und Betriebserfahrungen zu den Themen Spurenstoffe wie Arzneimittel oder hormonell wirksame Substanzen im Abwasser und möglichen Verfahrenstechniken zu deren Elimination. WASSER UND ABFALL sprach mit seinem Leiter Herrn Dr. Steffen Metzger über Ziele und Aktivitäten des Kompetenzzentrums.

Wasser und Abfall (WuA): *Herr Dr. Metzger, Sie leiten das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg seit seiner Gründung vor 4 Jahren. Was war der Anlass zur Gründung des Kompetenzzentrums?*
Dr.-Ing. Steffen Metzger: Vor dem Hintergrund zunehmender Bestrebungen, organische Spurenstoffe aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen zu eliminieren, wurden in den vergangenen Jahren auf Basis der Erkenntnisse aus halbtechnischen Untersuchungen mehrere Kläranlagen in Baden-Württemberg um eine Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination erweitert. Bislang kommen in allen Fällen Verfahren mit Einsatz von Pulveraktivkohle zur Anwendung. Da es sich hierbei um Techniken handelt, mit welchen bei der kommunalen Abwasserreinigung, mit Ausnahme weniger Fälle, quasi „Neuland“ betreten wird, soll das KomS primär den Betreibern als eine zentrale Anlaufstelle zur Verfügung stehen, die bei auftretenden Fragestellungen kontaktiert werden kann. Dies kann beispielsweise bereits während der Phase der Inbetriebnahme der Stufe oder aber auch später der Fall sein, wenn betriebliche Probleme auftreten.

WuA: *Welche weiteren Zielsetzungen verfolgt das Kompetenzzentrum?*
Dr.-Ing. Metzger: Da es bislang keine Anforderungen an die einzuhaltenden Ablaufkonzentrationen bzw. eine Mindestentnahme an Spurenstoffen gibt, soll anhand der bestehenden Anlagen überprüft und dokumentiert werden, welche Leistung mit den Verfahren zur Spurenstoffelimination erlangt werden kann, welche der technischen Komponenten sich im Alltagsbetrieb bewähren und wie die Verfahren verbessert und kosteneffizient betrieben werden können. Das KomS bildet dabei die Plattform in Baden-Württemberg zur Bündelung des Wissens als auch zum Austausch der Erfahrungen. Zugleich wird mit der Einrichtung des KomS das Ziel verfolgt, die Betreiber von Kläranlagen aktiv bei der Implementierung und dem Betrieb von Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination zu unterstützen. Die Aufklärung und Bewusstseinsbildung zum Thema „Spurenstoffe und deren Auswirkung auf die Umwelt“ stellen ein weiteres Aufgabenfeld dar. So werden im KomS verschiedene Interessensgruppen – aus Kommunen, Zweckverbänden, Forschung, Industrie und Verwaltung – gezielt zusammengeführt.

WuA: *Wie ist das Kompetenzzentrum organisiert?*
Dr.-Ing. Metzger: Das KomS ist eine Kooperation zwischen drei unabhängigen Partnern: Die Universität Stuttgart und die Hochschule Biberach bringen ihre wissenschaftliche Kompetenz und ihr technologisches Wissen in die Optimierung und Weiterentwicklung der Verfahrenstechniken sowie in die Dokumentation und Auswertung der Messergebnisse ein. Der DWA-Landesverband Baden-Württemberg übernimmt schwerpunktmäßig das breite Spektrum an organisatorischen Aufgaben sowie die Öffentlichkeitsarbeit. Dank seiner gewachsenen Verbindungen und Strukturen kann er hier die Brücke zu den Kommunen und den kommunalen Verbänden bauen. Die handelnden Akteure des KomS werden vom Beirat des KomS begleitet, welcher sich als organisatorisches Lenkungsgremium versteht. Dieser setzt sich aus je einem Vertreter der drei

Quelle: Steffen Metzger

Dr.-Ing. Steffen Metzger

Kooperationspartner sowie zwei Vertretern des Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg zusammen, welches zugleich die Einrichtung des Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg finanziell unterstützt.

WuA: *Wie sind Ihre Erfahrungen zur Nachfrage nach der Arbeit des Kompetenzzentrums?*
Dr.-Ing. Metzger: Von Anfang an wurde das KomS von den Kläranlagenbetreibern aber auch von Vertretern aus Behörden sowie der Industrie zu verschiedensten Fragestellungen kontaktiert. Bereits in den ersten Monaten nach der Gründung des KomS wurden wir für die Begleitung von Untersuchungen zur Eignung verschiedener Verfahrenstechniken angefragt. Die hohe Nachfrage spiegelt sich nicht zuletzt auch in der Anzahl an Projekten wider, die seit der Gründung von KomS durchgeführt wurden. Neben den Untersuchungen auf den Kläranlagen ist das KomS auch bei der Anfertigung von Studien, wie z. B. an einer Kostenabschätzung für die bundesweite Einführung der Spurenstoffelimination, beteiligt.

WuA: *Wie viele Kläranlagen in Baden-Württemberg verfügen gegenwärtig über eine Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination?*
Dr.-Ing. Metzger: Aktuell sind dies zehn Kläranlagen. Vier weitere Anlagen befinden sich allerdings bereits in Bau und auf drei Kläranlagen wird die Planung zur Implementierung einer Verfahrenstechnik zur Elimination von organischen Spurenstoffen vorangetrieben. Baden-Württemberg stellt damit das Bundesland mit den anzahlmäßig meisten Kläranlagen dar, die über ein Reinigungsverfahren zur gezielten Spurenstoffelimination verfügen. Zudem bildet es das Bundesland mit den landesweit meisten an die neuen Verfahren angeschlossenen Einwohnerwerten. Die größte Anlage betreibt derzeit der Zweckverband Klärwerk Steinhäule. In der dortigen Adsorptionsstufe kann aktuell ein Volumenstrom von bis zu 1.600 L/s behandelt werden. Der Ausbau zur Vollstrombehandlung ist bis zum Jahr 2020 vorgesehen.

WuA: *Wie gestaltet sich die Zusammenarbeit mit den Kläranlagenbetreibern?*
Dr.-Ing. Metzger: Unsere Zusammenarbeit mit den Kläranlagenbetreibern gestaltet sich sehr unterschiedlich. Beispielsweise gibt es Kläranlagen, die generelles Interesse an der Spurenstoffthematik zeigen und uns in diesem Zuge um Unterstützung bei der Untersuchung ihres Abwassers auf Spurenstoffe anfragen. Daneben führt das KomS im Auftrag von Betreibern gezielte verfahrenstechnische Untersuchungen durch. So zum Beispiel auf dem Hauptklärwerk Mühlhausen, wo wir in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der Stadtentwässerung Stuttgart eine halbtechnische Versuchsanlage betreiben. Ziel dieser Untersuchungen ist es, das unter den gegebenen Randbedingungen wirtschaftlichste Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen zu ermitteln.

WuA: *Wird denn auch ermittelt, was der Bau einer Eliminationsstufe für Spurenstoffe tatsächlich bringt?*
Dr.-Ing Metzger: Im Zuge des Ausbaus von Kläranlagen um eine Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination führen wir Messungen durch, um sowohl die Zulaufbelastung der Kläranlagen mit unterschiedlichen Spurenstoffen als auch die bisherige Entnahme dieser Substanzen in den Kläranlagen zu dokumentieren. Nach der Erweiterung dienen diese Daten als Vergleich für die Ermittlung der Verbesserung der Reinigungsleistung bezüglich der Spurenstoffelimination.

WuA: *Und wie geht es nach der Inbetriebnahme weiter?*
Dr.- Ing. Metzger: Ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme der neuen Stufe unterstützt das KomS die Betreiber bei der Dokumentation der Funktionstüchtigkeit der verschiedenen Komponenten der neuen Reinigungsstufe als auch bei der Auswertung der ersten Reinigungsergebnisse. In der sich daran anschließenden Optimierungsphase werden in Absprache mit dem Betriebspersonal die Dosiermengen der Hilfsstoffe gezielt variiert, um die Leistungsfähigkeit der neu errichteten Stufe auszutesten. Einzelne Kläranlagenbetreiber wünschen darüber hinaus auch eine dauerhafte Begleitung des Betriebs der neuen Reinigungsstufe durch das KomS.

Was das Medium Aktivkohle betrifft, so werden wir von einigen Kläranlagenbetreibern beauftragt, Untersuchungen zur Auswahl einer geeigneten Aktivkohle durchzuführen.

WuA: *Kommen die Erkenntnisse allen interessierten Kläranlagenbetreibern zugute und gibt es eine Vernetzung der Betreiber?*
Dr.- Ing. Metzger: In Baden-Württemberg wurde die Sondernachbarschaft Spurenstoffe des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg ins Leben gerufen, bei der sich unter der fachlichen Begleitung des KomS einmal jährlich die Betreiber der Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination treffen, um ihre Erfahrungen im Umgang mit der neuen Technik auszutauschen.

WuA: *Welche Erkenntnisse gibt es bezüglich der Reinigungsleistung?*
Dr.-Ing. Metzger: Zu Beginn der Arbeit des KomS galt es zunächst mal eine Vereinheitlichung in der Vorgehensweise der

Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

Leitung:
Dr.-Ing. Steffen Metzger
Telefon: 0711 / 685-65420, Telefax: 0711 / 685-67637
E-Mail: info@koms-bw.de

Kommunikation und Veranstaltungen:
Dipl.-Vww. André Hildebrand
c/o DWA Landesverband, Baden-Württemberg
Rennstraße 8, 70499 Stuttgart
Telefon: 0711 / 896631-0, Telefax: 0711 / 896631-111
E-Mail: dwa@koms-bw.de

Internet:
www.koms-bw.de

Spurenstoffuntersuchungen auf Kläranlagen zu schaffen, um eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu ermöglichen. Hierzu wurden in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg die sogenannten „Handlungsempfehlungen zur Vergleichskontrolle und zur Betriebsüberwachung der 4. Reinigungsstufe" erarbeitet. Auf Basis dieser Handlungsempfehlungen wurden bereits verschiedene Untersuchungskampagnen durchgeführt, die zeigen, dass mit einer Einsatzmenge von 10 mg/L Pulveraktivkohle sehr gut bis gut adsorbierbare Substanzen, wie zum Beispiel die Arzneimittelwirkstoffe Metoprolol und Carbamazepin, in den Adsorptionsstufen der Kläranlagen zu weit mehr als 80 % entfernt werden. Zugleich konnte mit den bisherigen Analyseergebnissen die Reinigungsleistung aus den Untersuchungen zur Entwicklung der Verfahrenstechnik bestätigt werden.

Von einigen Kläranlagen liegen uns mittlerweile Spurenstoffmessergebnisse von mehreren Jahren vor. Anhand dieser wird deutlich, dass mit dem angewandten Verfahren eine dauerhafte Spurenstoffentnahme gegeben ist. Zugleich zeigt sich, dass im vergangenen Jahr auf mehreren Kläranlagen der Umfang der prozentualen Spurenstoffentnahme, bei gleicher Pulveraktivkohledosiermenge wie in den Jahren zuvor, tendenziell etwas zurückgegangen ist. Auch wenn die Gründe hierfür bislang noch nicht ausfindig gemacht werden konnten, so denke ich, verdeutlicht dieses Beispiel, wie wichtig es ist, die aktuellen Erfahrungen zur Spurenstoffelimination zentral zu bündeln, um gleichartige Probleme zu erkennen und gemeinsam angehen zu können.

Was die Reinigungsleistung angeht, so möchte ich noch hinzufügen, dass man diese bislang immer nur am Umfang der Entnahme einzelner Substanzen festmacht. Ziel jedoch ist es, einer möglichen, unerwünschten Wirkung durch den vorhandenen Mix an Spurenstoffen vorzubeugen. Demnach sollte man noch mehr Anstrengungen unternehmen, um die summarische Wirkung des Abwassers besser beschreiben und bewerten zu können.

WuA: *Können Sie das noch ein Stück konkretisieren? An welche Art von Untersuchungen zur Bewertung der Abwasserqualität denken Sie?*

Dr.-Ing. Metzger: Ich denke da an die Anwendung von biologischen Wirktests mit unterschiedlichen Endpunkten. Die Target-Analytik liefert uns doch nur das Ergebnis von einzelnen, im Abwasser vorhandenen „Markern" für das Vorhandensein von Spurenstoffen ohne eine wirkliche Aussage über die Wirkung des Abwassers. Wenn man bei der Spurenstoffelimination nicht, wie auch bisher in der Abwasserreinigung üblich, langfristig dazu übergeht, die Verbesserung der Abwasserqualität mit Hilfe von Summenparametern zu beschreiben, so werden wir jedes Jahr einem neuen „Modestoff" hinterherlaufen und der Frage nachgehen, in welcher Konzentration dieser noch vorliegen darf, damit keine Auswirkung in der aquatischen Umwelt zu erwarten ist.

WuA: *Hat das KomS bereits Erfahrungen in der Anwendung der biologischen Wirktests im Zusammenhang mit der gezielten Spurenstoffelimination sammeln können?*
Dr.-Ing. Metzger: Ja, wir hatten hierzu im vergangenen Jahr zusammen mit der Stadtentwässerung Mannheim, der Universität Tübingen und dem Forschungslabor der Landeswasserversorgung in Langenau ein Untersuchungsvorhaben durchgeführt. Ziel war es, die Abwasserqualität im Ablauf verschiedener Reinigungsstufen der Kläranlage Mannheim mit Hilfe unterschiedlicher Analyseverfahren zu beschreiben. Dabei wurden die Abwasserproben sowohl auf das Vorliegen einzelner Spurenstoffe untersucht als auch einer Non-Target-Analyse unterzogen. Zugleich wurden die verschiedenen Abwässer mittels biologischer Wirktests untersucht. Komplettiert wurde das Spektrum der angewandten Analyseverfahren durch die Bestimmung des Umfangs klassischer Hygieneparameter.

Aus den Untersuchungen ging hervor, dass die Abwasserqualität sowohl durch die alleinige Filtration als auch durch die adsorptive Reinigung mit anschließender Filtration im Vergleich zum Ablauf der biologischen Reinigungsstufe verbessert wird. Das Abwasser nach Aktivkohleeinsatz wies im Vergleich zum Ablauf der bestehenden Sandfilteranlage jedoch nochmal eine bessere Qualität auf. Offen ist dabei, inwieweit die Qualitätsverbesserung durch Erhöhung der Pulveraktivkohledosiermenge noch gesteigert werden kann. Zugleich konnte mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse eine Zusammenstellung von biologischen Wirktests mit unter-

schiedlichen Wirk-Endpunkten erarbeitet werden, die es erlaubt, die Wirkung der organischen Spurenstoffe integrativ zu erfassen, um somit die ökotoxikologische Relevanz eines Abwassers beurteilen zu können.

WuA: *In Baden-Württemberg setzt man bei der großtechnischen Umsetzung bislang auf die Spurenstoffelimination mittels Pulveraktivkohle. Wo sehen Sie Vor- und Nachteile im Vergleich mit anderen Verfahren?*
Dr.-Ing. Metzger: Einen Vorteil gegenüber dem Einsatz von granulierter Aktivkohle sehe ich in der bedarfsgerechten Dosierung der Pulveraktivkohle. Die Möglichkeit zur zweistufigen Anwendung im Gegenstromprinzip erachte ich im Vergleich mit den anderen Verfahren als weiteren Vorteil. Ein Nachteil ist, dass die Pulveraktivkohle durch den Einbau in den belebten Schlamm nicht mehr regeneriert werden kann. Des Weiteren gilt es zu beachten, dass die Anwendung von Pulveraktivkohle einen Mehrschlammanfall zur Folge hat. Rechnerisch fallen bei Anwendung von 10 mg/L Pulveraktivkohle etwa 5 % mehr Schlamm an. Anhand von Betriebsdaten ließ sich dieser Mehrschlammanfall bislang jedoch noch nicht nachweisen. Die Tücke beim Einsatz von Pulveraktivkohle ist sicherlich im sicheren Rückhalt des Mediums zu sehen, obgleich sich dies auf den Kläranlagen in Baden-Württemberg bislang nicht als Problem dargestellt hat. Ich sehe in dieser Forderung aber zugleich auch einen Vorteil. Durch den verbesserten Rückhalt an abfiltrierbaren Stoffen wird parallel der Eintrag von partikulär gebundenen Stoffen, wie zum Beispiel Schwermetallen und teilweise Phosphor, in die Gewässer reduziert.

WuA: *Befasst sich das Kompetenzzentrum auch mit der Weiterentwicklung von Verfahren?*
Dr.-Ing. Metzger: Ganz klar ja! Ich bin mir sicher, dass es in den kommenden Jahren noch zu Modifikation und Weiterentwicklung der bisherigen Verfahren zur Spurenstoffelimination kommen wird und so ist das KomS bestrebt, für den Know-how-Aufbau frühzeitig Erfahrungen im Umgang mit verbesserten oder neuen Verfahren zu sammeln. Beispielsweise betreiben wir an unserem Standort der Universität Stuttgart eine halbtechnische Versuchsanlage, bestehend aus zwei Adsorptionsstufen, wie man sie auf mehreren Kläranlagen in Baden-Württemberg antreffen kann. Anhand dieser Anlage gehen wir gezielt Fragestellungen nach, die uns aus der Praxis erreichen. Zugleich erlaubt uns der Betrieb dieser Anlage, die bestehende Verfahrenstechnik zu optimieren. Darüber hinaus hat das KomS bereits mehrere Untersuchungen zur Eignung verschiedener Abtrennverfahren von Pulveraktivkohle begleitet. Gegenwärtig sind wir zudem in ein Forschungsvorhaben involviert, in dem die kombinierte Anwendung von Ozon und granulierter Aktivkohle untersucht wird. Nicht zuletzt werden die Mitarbeiter des Koms durch den engen Austausch und die Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart immer wieder mit der Anwendung von neuen Verfahren zur Spurenstoffelimination konfrontiert.

WuA: *Wie kann man sich über die Arbeiten des KomS informieren?*
Dr.-Ing. Metzger: Auf der Homepage des KomS (www.koms-bw.de) wird zeitnah über aktuelle Geschehnisse rund um die Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg als auch über die Projekte des KomS informiert. Daneben stehen dort verschiedene Publikationen des KomS zum Download bereit. Selbstverständlich besteht bei konkreten Fragen zur Spurenstoffelimination auch die Möglichkeit, direkt mit den Mitarbeitern des KomS Kontakt aufzunehmen. Die entsprechenden Kontaktdaten sind ebenfalls auf der Homepage zu finden. Für Interessierte verschickt das KomS in unregelmäßigen Abständen einen Online-Newsletter, in dem u. a. neben den Projekten zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg auch über Aktuelles von den anderen Kompetenzzentren berichtet wird. Für die Zusendung des Newsletters kann man sich über die Homepage des KomS in eine Verteilerliste eintragen.

Darüber hinaus veranstaltet das KomS einmal im Jahr das Technologieforum Spurenstoffe, welches in diesem Jahr bereits zum siebten Mal durchgeführt wird. Aber auch bei verschiedensten Veranstaltungen des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg werden die Untersuchungsergebnisse des KomS wie auch die Erfahrungen der Betreiber sowie Ingenieurbüros zur Spurenstoffelimination vorgestellt. Nicht zuletzt werden die Mitarbeiter des KomS zu Veranstaltungen im gesamten Bundesgebiet eingeladen, um über die Ergebnisse zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg zu berichten.

WuA: *Sie haben die Kooperation mit andern Kompetenzzentren angesprochen. Wie sieht die Zusammenarbeit konkret aus?*
Dr.-Ing. Metzger: Mit den beiden anderen Kompetenzzentren, der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen" in der Schweiz als auch dem Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe. NRW in Nordrhein-Westfalen, stehen wir in engem Austausch, vor allem was die offenen Fragen zur Umsetzung als auch beim Betrieb von Anlagen zur Spurenstoffelimination betrifft. Hierzu treffen wir uns etwa drei Mal im Jahr. Im vergangenen Jahr haben wir in einem gemeinsamen Fachbeitrag den „Status quo zur Erweiterung von Kläranlagen um eine Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination" beschrieben.

WuA: *Herr Dr. Metzger, welches Fazit ziehen Sie aus der bisher geleisteten Arbeit?*
Dr.-Ing. Metzger: Die vielen Anfragen an das KomS, aber auch die Gespräche mit den Beteiligten der Abwasserwirtschaft bestätigen uns, wie wichtig es ist, gerade in der Phase zur Einführung der neuen Technologien zur Spurenstoffentfernung, eine zentrale Anlaufstelle zur Bündelung der Erfahrungen und Kanalisierung der verschiedensten Fragestellungen zu haben. Auch wenn die Umsetzung bislang ohne gesetzliche Verpflichtung passiert, so ist bei den verschiedenen Akteuren der Abwasserwirtschaft ein wachsendes Interesse an der Thematik der Spurenstoffe zu vernehmen. Was die Zusammenarbeit mit den Betreibern der Kläranlagen in Baden-Württemberg angeht, so funktioniert diese wirklich reibungslos. Insgesamt ziehe ich daher, knapp vier Jahren nach der Gründung des KomS, eine sehr positive Bilanz aus der bisherigen Arbeit.

Abschließend gilt der Dank all' jenen, die sich vor Ort auf den verschiedenen Ebenen für die Spurenstoffelimination engagieren und letztendlich zum Vorwärtskommen in dieser Thematik einen wichtigen Beitrag leisten.

WuA: *Herr Dr. Metzger, wir danken Ihnen für das Gespräch!*

Interview: Heidrun Steinmetz, Redaktion Wasser und Abfall

Pulveraktivkohlestufe zur Entfernung von Mikroverunreinigungen

Praxisbeispiel „Klärwerk Steinhäule“ in Ulm/Neu-Ulm

Christian Hiller (Ulm/Neu-Ulm)

Zusammenfassung

Die Reinigungsleistung des Klärwerks Steinhäule in Neu-Ulm soll soweit verbessert werden, dass auch Spurenstoffe eliminiert werden und für die Restverschmutzung, gemessen als CSB und Gesamtphosphor, dauerhaft keine Abwasserabgabe mehr bezahlt werden muss. Hierzu wurden auf dem Klärwerk Versuche im halbtechnischen Maßstab mit einer der biologischen Stufe nachgeschalteten Pulveraktivkohlestufe und einer Filteranlage unternommen. Über die Betriebsergebnisse wird jetzt berichtet. Die finanzielle Mehrbelastung durch die Optimierung der Abwasserreinigung liegt bei rund fünf Euro pro Einwohner und Jahr.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Spurenstoff, Elimination, Pulveraktivkohle, Filtration, Sedimentation, Betriebsergebnis, Kosten

DOI: 10.3242/kae2016.02.002

Abstract

Powdered Activated Carbon Stage for the Removal of Micropollutants Practical Example of the Steinhäule Wastewater Treatment Works in Ulm/Neu-Ulm

The treatment performance of the Steinhäule wastewater treatment works in Neu-Ulm is to be improved to the extent that trace elements are also removed, and for the residual pollution, measured as COD and total phosphorus, wastewater charges no longer have to be paid on a permanent basis. For this, trials on a semi-industrial scale have been undertaken in the wastewater treatment works using a powdered carbon adsorption stage downstream of the biological stage, and a filter system. A report is now given of the operating results. The additional financial burden due to the optimization of the wastewater treatment stands at some five euros per inhabitant and year.

Key words: wastewater treatment, municipal, trace element, removal, powdered activated carbon, filtration, sedimentation, operating result, costs

1 Zweckverband „Klärwerk Steinhäule“

Im Jahr 1984 haben sich die Städte Ulm, Neu-Ulm, Senden, Blaustein sowie die Blautal- und Weihungstalgemeinden zum Zweckverband „Klärwerk Steinhäule“ zusammengeschlossen. Die Verbandskläranlage reinigt die Abwassermengen von zurzeit 440 000 EW. Hiervon entfallen auf Industrie und Gewerbe rund 50 %. Die Abwasserreinigung erfolgt mechanisch, biologisch, chemisch und adsorptiv (Abbildung 1). Jährlich müssen rund 40 Millionen Kubikmeter Abwasser gereinigt werden. Dabei entstehen ca. 10 000 t TS Schlamm. In den Schlammbehandlungsanlagen wird die Schlammmenge nach der Entwässerung und thermischen Behandlung in Wirbelschichtanlagen auf rund 2500 t TS Asche reduziert.

Abb. 1: Schematischer Aufbau der Kläranlage Steinhäule [1]

2 Reinigungsleistung und Ziele des Zweckverbandes „Klärwerk Steinhäule“

Beim Zweckverband Klärwerk Steinhäule (ZVK) werden die Abwässer der Industrie und des Gewerbes nach den Vorgaben der Abwasserverordnung und den Entwässerungssatzungen gereinigt. Die Regenwasserbehandlung im Einzugsgebiet des Zweckverbandes ist umgesetzt. Die mechanische, biologische und chemische Abwasserreinigung wurde im DWA-Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2014 mit der Note 1 für die Sauerstoffbedarfsstufe und der Note 1 für die Nährstoffbedarfsstufe bewertet. Den Noten 1 steht eine Forderung für die Restverschmutzung im gereinigten Abwasser im Jahr 2014 von rund einer Million Euro Abwasserabgabe gegenüber. Nach der Fertigstellung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage für 2 QTW will der ZVK die Reinigungsleistung der Kläranlage soweit verbessern,

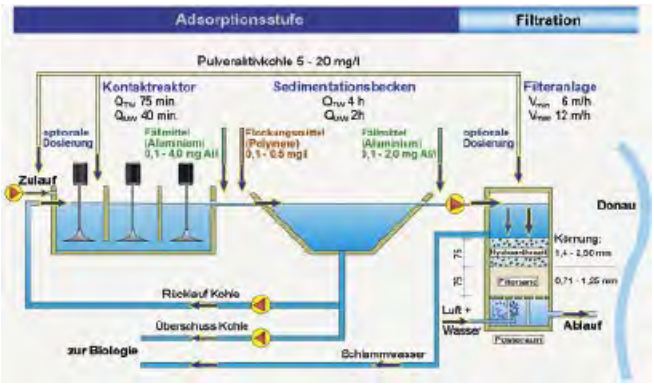


Abb. 2: Verfahrensschema der Adsorptionsstufe und der Filteranlage [2]

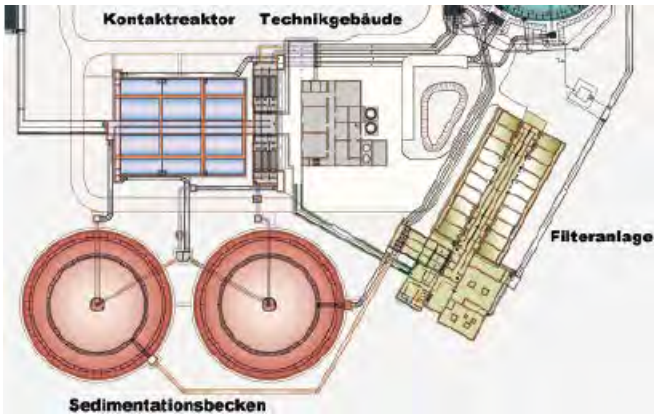


Abb. 3: Adsorptionsstufe und Filteranlage im Klärwerk Steinhäule [3, 4]

Abwassermengen ohne Filterspülung	Q_{TW} Q_{RW}	5000 m³/h 9400 m³/h
Spülwassermengen Filtration	$Q_{spül\ TW}$ $Q_{spül\ RW}$	205 m³/h 410 m³/h

Tabelle 1: Bemessungswassermengen [3, 4]

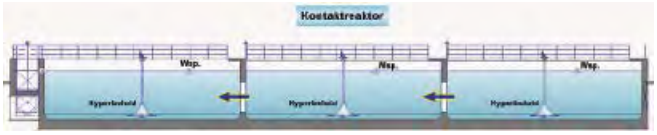


Abb. 4: Schnitt des Kontaktreaktors [3, 4]

dass die Spurenstoffe eliminiert werden und für die Restverschmutzung (CSB und P_{ges}) im gereinigten Abwasser dauerhaft keine Abwasserabgabe mehr bezahlt werden muss.

Der abgaberechtliche Stickstoffschwellenwert von 5 mg/l kann mit den Denitrifikationsstufen vor und nach der Nitrifikation ganzjährig beim Zweckverband Klärwerk Steinhäule eingehalten werden.

3 Verfahrensschema der Adsorptionsstufe und der Filteranlage

In einer halbtechnischen Versuchsanlage im Klärwerk Steinhäule wurde untersucht, wie die Qualität des gereinigten Abwassers aus dem Klärwerk Steinhäule verbessert werden kann. Aus den Erfahrungen des Versuchsanlagenbetriebs konnten Bemessungsdaten generiert werden. Mit diesen Bemessungsdaten wurden die Adsorptionsstufe und die Filteranlage im Großmaßstab erstellt (Abbildung 2).

4 Realisierung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage im Klärwerk Steinhäule

Die Adsorptionsstufe und die Filteranlage wurden nach den Bemessungswassermengen der Tabelle 1 ausgelegt.

Für den Betrieb der Adsorptionsstufe und der Filteranlage sind drei Schneckenpumpwerke zur Abwasserförderung erforderlich (Tabelle 2).

Abbildung 3 zeigt den Lageplan der Adsorptionsstufe und der Filteranlage. Der Fließweg des Abwassers führt über das Schneckenpumpwerk des Kontaktreaktors in den Kontaktreaktor. Das Abwasser fließt vom Kontaktreaktor in das Sedimentationsbecken. Vom Sedimentationsbecken fließt das Abwasser zum Schneckenpumpwerk der Filteranlage und wird gehoben. Vom Verteilgerinne der Filteranlage fließt das Abwasser in die Filterkammern.

4.1 Adsorptionsstufe

4.1.1 Kontaktreaktor

Die Entnahme der organischen Spurenstoffe erfolgt durch Adsorption mit Pulveraktivkohle in einer der biologischen Stufe nachgeschalteten Adsorptionsstufe. Die Adsorptionsstufe besteht aus einem Kontaktreaktor (Abbildung 4) und zwei Sedimentationsbecken.

Die Bemessungsdaten des Kontaktreaktors sind in Tabelle 3 dargestellt.

Zur Abtrennung der Aktivkohle vom Abwasser wird vor dem Sedimentationsbecken Fällmittel (Al) zum Aufbau einer abtrennbaren Flocke zu dosiert. Um eine verbesserte Abtrennung des feinen Aktivkohlestaubs zu erreichen, werden dem Aktivkohle-Schlamm-Gemisch nach der Fällmittelzugabe Polymere als Flockungshilfsmittel zudosiert (Abbildung 2). Der im

		Adsorptionsstufe		Filteranlage
		Abwasser	**Rücklaufkohle**	
3 Schnecken (1 Reserve)	D	2300 mm	2300 mm	2600 mm
Fördermenge je Schnecke	Q_{max}	1480 l/s	1480 l/s	1690 l/s
Förderhöhe	H_{geo}	3,90 m	3,90 m	5,50 m
Schneckenflügel Schneckentrog		Stahl S 235 JR Edelstahl 1.4301	Hardox-Stahl Schmelzbasalt	Hardox-Stahl Schmelzbasalt

Tabelle 2: Technische Daten der Schneckenpumpwerke [3, 4]

Volumen	6540 m^3
Anzahl der Kaskaden	6
Abmessungen der Kaskaden (L · B · H)	16,5 m · 16,5 m · 4 m
Volumen pro Kaskade	1090 m^3
Kontaktzeit bei TW (ohne Rücklauf)	75 min
Kontaktzeit bei RW (ohne Rücklauf)	40 min

Tabelle 3: Technische Daten des Kontaktreaktors [3, 4]

Durchmesser D = 60,0 m	Oberfläche $A_{O,ges}$ = 5650 m^2
Oberflächenbeschickung	bei TW $q_{A,TW}$ = 0,92 m/h bei RW $q_{A,RW}$ = 1,74 m/h
Tiefe am Trichter	V_{ges} = 22940 m^3
Aufenthaltszeit	bei TW $T_{A,TW}$ = 4,41 h bei RW $T_{A,RW}$ = 2,34 h
Wehrbelastung	bei TW q_{TW} = 4,41 $m^3/(m \times h)$ bei RW q_{RW} = 8,45 $m^3/(m \times h)$
Räumschildhöhe	h bis 0,7 m

Tabelle 4: Technische Daten des Sedimentationsbeckens [3, 4]

Sedimentationsbecken abgesetzte Aktivkohle-Schlamm wird zur Mehrfachbeladung als Rücklaufkohle wieder in die erste Kaskade des Kontaktreaktors zurückgeführt.

4.1.2 Sedimentationsbecken

Die Abtrennung der Aktivkohleflocken erfolgt in zwei runden Sedimentationsbecken, die in ihrer Funktion und Konstruktion grundsätzlich mit Nachklärbecken einer biologischen Reinigungsstufe vergleichbar sind (Abbildung 5). Die hierfür vorgesehenen beiden Becken sind den beiden Straßen des Kontaktreaktors zugeordnet. Die Bemessung erfolgt über den hydraulischen Parameter der Oberflächenbeschickung, für den ein maximaler Wert von 2 m/h Berücksichtigung fand. Dieser

Abb. 5: Schnitt des Sedimentationsbeckens [3, 4]

Abb. 6: Schnitt der Filteranlage [3, 4]

Filtereinheiten	n/L/B	20 Stück/9,0 m/5,2 m
Filterfläche je Einheit/gesamt	A_f	46,8 m^2/936 m^2
Sandfiltration	v_{min}	6 m/h
	v_{max}	12 m/h

Tabelle 5: Technische Daten der Filteranlage [3, 4]

Wert resultiert aus den Ergebnissen der halbtechnischen Versuche. Zur Reduzierung der Wehrbelastung werden pro Becken zwei Ablaufrinnen mit beidseitigem Überfall vorgesehen (Tabelle 4). Um die Störungen des Rücklaufkohletransports vom Beckenrand zum Trichterbereich zu minimieren, erhält die Beckensohle im Bereich des Stützenrings einen Sohlsprung.

24-h-Mischproben 8–8-Uhr-Tages-mittelwerte	Q_{zu} Kontakt-reaktor [g/l]	TS Kontakt-reaktor [l/s]	PAK-Dosierung [kg/h]	PAK-Dosierung [mg/l]	PAK-Schlammalter [d]	Aufenthaltszeit im Kontakt-reaktor [min]	Filterge-schwindigkeit [m/h]
24.03.2015	1164	5,67	41,97	10,02	12,88	46,78	8,95
31.03.2015	1399	6,18	47,42	9,41	12,31	38,92	10,76
07.04.2015	1218	5,64	44,00	10,03	12,41	44,68	9,37
14.04.2015	1150	5,94	34,51	8,33	13,60	47,31	8,85
30.06.2015	1257	6,89	46,10	10,19	14,83	43,32	9,67
15.07.2015	1175	4,33	43,39	10,26	9,77	46,34	9,04
21.07.2015	1038	3,88	42,40	11,35	9,54	52,46	7,98
minimaler Wert	1038	3,88	34,51	8,33	9,54	38,92	7,98
maximaler Wert	1399	6,89	47,42	11,36	14,83	52,46	10,76

Tabelle 6: Betriebsparameter der Probenahmetage [1]

4.2 Filteranlage

Die Filteranlage besteht aus einem Maschinengebäude mit Schneckenpumpwerk und 20 Filterkammern, das heißt pro Filterstraße 10 Kammern (Tabelle 5). Jede Filterstraße wird über einen eigenen Verteilkanal beschickt, der als Umlaufgerinne konzipiert ist (Abbildung 6). Im Schneckenpumpwerk der Filteranlage erfolgt eine Fällmittelzugabe. Die Filterkammern werden durch Rohrleitungen und über IDM-Messgeräte (induktive Durchflussmessung) mit Abwasser beschickt. Das Abwasser fließt von der Sohle des Verteilkanals über die Rohrleitungen in die Mitte der Filterkammern und durchströmt einen Zweischichtfilter (oben Hydroanthrazit mit h = 750 mm, unten Filtersand mit h = 750 mm). Der Filter wird mit einem Überstau bzw. Vordruck von 2 m betrieben und mit Regelklappen konstant gehalten. Das Abwasser fließt durch Düsen (64 Stück/m²) in den Polsterraum und anschließend in den Spülwasserspeicher (970 m³) und gelangt danach in die Ablaufleitung zur Donau.

5 Betriebsergebnisse der Adsorptionsstufe und der Filteranlage

In Tabelle 6 sind Betriebsparameter der Probenahmetage aufgelistet, in denen 24-Stunden-Mischproben im Zulauf der Kläranlage, im Ablauf der Nachklärbecken und im Ablauf der Filteranlage genommen wurden. Die aufgelisteten Betriebsparameter veranschaulichen die unterschiedlichen Betriebszustände der Adsorptionsstufe und der Filteranlage während den Probenahmetagen.

Die Ergebnisse der Spurenstoffentfernung, die mit den Analysen der Probenahmetagen ermittelt wurden, können den Abbildungen 7 und 8 entnommen werden.

Abbildung 9 stellt die CSB-Ablaufwerte der Kläranlage Steinhäule im ersten Halbjahr 2014 vor der Inbetriebnahme der Adsorptionsstufe und der Filteranlage sowie im ersten Halbjahr 2015 nach der Inbetriebnahme der Adsorptionsstufe und der Filteranlage dar. Die CSB-Ablaufwerte werden mit einem TOC-Online-Messgerät im Ablauf der Kläranlage Steinhäule gemessen. Mit Laboranalysen wurde im Vorfeld eine Korrelation zwischen TOC und CSB im Ablauf der Kläranlage Steinhäule ermittelt. Im ersten Halbjahr 2015 konnte der Parameter CSB mit einem abgaberechtlichen Schwellenwert von 20 mg/l unterschritten werden.

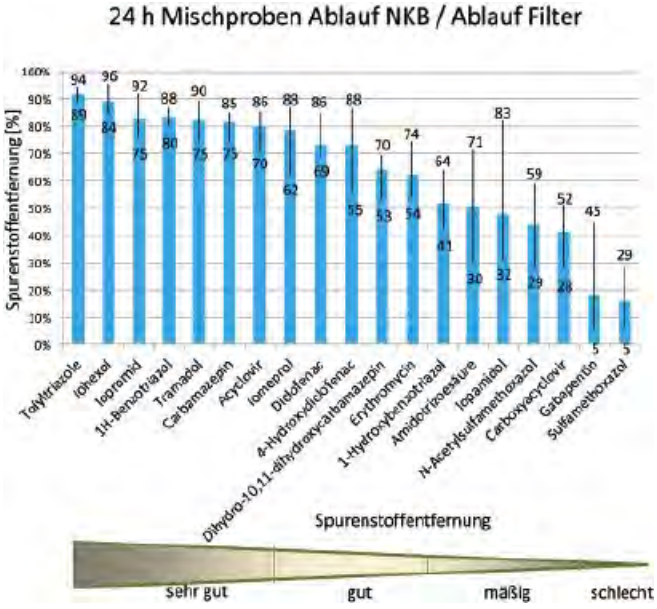


Abb. 7: Entnahme von Mikroschadstoffen durch die Adsorptionsstufe der Filteranlage [1]

6 Onlinemessung und Automatisierung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage

Die gesamte Abwasserreinigung und Klärschlammverwertung wird beim Zweckverband „Klärwerk Steinhäule“ durch eine moderne Mess- und Regelungstechnik sowie durch ein Prozessleitsystem (T 3000, Firma Siemens) überwacht.

Mit dem Prozessleitsystem werden auch die Daten von der Adsorptionsstufe und der Filteranlage erfasst, ausgewertet und die Klärwerksprozesse werden automatisiert. Die Automatisierung gewährleistet eine ganzjährig gesicherte, wirtschaftliche und umweltfreundliche Abwasserreinigung.

Die Überwachung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage erfolgt mit Online-Messgeräten. Vor und nach dem Kontaktreaktor werden pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, SAK, DOC, TNb, und PO4-P gemessen. Die Messung des TS-Gehalts erfolgt im Kontaktreaktor. Im Sedimentationsbecken wird der Schlammspiegel und in der Filteranlage werden die Trübung sowie die zufließende Wassermenge für jede Filterkammer gemessen.

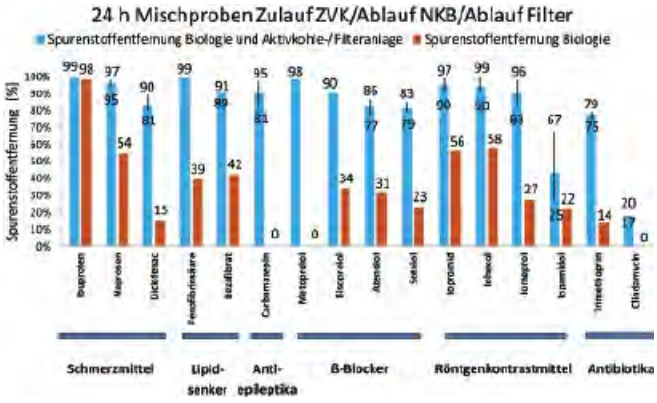


Abb. 8: Entnahme von Mikroschadstoffen in der mechanischen, biologischen und chemischen Anlage und in der mechanischen, biologischen, chemischen und adsorptiven Anlage [1]

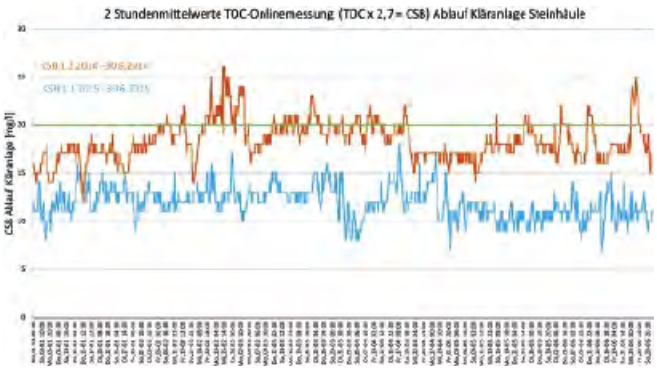


Abb. 9: Vergleich der CSB-Entnahme 2014 ohne und 2015 mit Adsorptionsstufe und Filteranlage [1]

7 Thermische Verwertung der Pulveraktivkohle

Die thermische Verwertung des Klärschlamms sowie des Aktivkohle-Schlamms in der Klärschlamm-Monoverbrennung ergänzen die Reinigungsleistung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage. Die Schadstoffe im Klärschlamm und in der Aktivkohle werden thermisch zerstört. Die Spurenstoffkonzentration in der Asche liegt unter der Nachweisgrenze. Die Aktivkohle hat einen höheren Heizwert als der Klärschlamm. Die Stromerzeugung kann durch die energetische Verwertung der Aktivkohle erhöht werden.

Der Fällmitteleinsatz in der Adsorptionsstufe und in der Filteranlage bindet die Aktivkohle zu Mikroflocken und überführt das Orthophosphat in die ungelöste Phase. Der Phosphor wird mit dem Schlammwasser der Filteranlage bzw. der Überschusskohle aus der Adsorptionsstufe der Biologie zugeführt. Mit dem Betrieb der Adsorptionsstufe und der Filteranlage können bis zu 99 % des im Abwasser enthaltenen Phosphors in der Asche gebunden und mit ca. 20 % P_2O_5 als Düngemittel landwirtschaftlich verwertet werden. Die Ascheinhaltsstoffe entsprechen den Vorgaben der Düngemittelverordnung.

8 Kosten

Die Investitionskosten der Adsorptionsstufe und der Filteranlage betragen 44 Millionen Euro. Die Betriebskosten für die Adsorptionsstufe sowie der Filteranlage liegen bei 8 Ct/m³ behandeltem Abwasser. Bezogen auf den Frischwassermaßstab ergibt sich ein Wert von 19 Ct/m³. Die Einsparungen bei der Abwasserabgabe (keine Abgabe für CSB, rund 5 Ct/m³ und keine Abgabe für P_{ges}, rund 1 Ct/m³) können in Abzug gebracht werden. Die Netto-Mehrbelastung für den Bürger liegt bei 13 Ct/m³ Frischwasser bzw. bei rund 5 €/(E × a).

Dank

Der Autor dankt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Verbundprojekts „Entwicklung einer adsorptiven Stufe zur Elimination organischer Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen“ und dem Umweltministerium Baden-Württemberg für die Förderung des Projekts „Bau einer Aktivkohleadsorptionsanlage zur Entnahme organischer Spurenschadstoffe auf dem Klärwerk Steinhäule in Ulm/Neu-Ulm“ mit Zuwendungen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und nach den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft 2009.

Literatur

[1] Daten und Informationen Klärwerk Steinhäule

[2] Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H., Hiller, G., Süßmuth, W., Maurer, M.: Spurenstoffentnahme in kommunalen Kläranlagen durch Adsorption, *KA Abwasser Abfall* 2009, *56* (6), 610 –618

[3] Hiller, G.: Ausbau des Klärwerkes Steinhäule, Neu-Ulm mit einer Adsorptionsstufe, Vortrag beim Symposium Aktivkohle am 23. Juni 2010 in Mannheim

[4] Hiller, G.: Einsatz von Pulveraktivkohle auf der Kläranlage Steinhäule, Vortrag bei der 44. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft „Zukunftsfähige Wasserwirtschaft – kosteneffizient und energiebewusst“ am 24. März 2011 in Aachen

Autor

Dipl.-Ing. (TU) Christian Hiller
Zweckverband Klärwerk Steinhäule
Reinzstraße 1
89233 Neu-Ulm

E-Mail: christian-hiller@klaerwerk-steinhaeule.de

Dr. Steffen Metzger; Dipl.-Ing. Annette Rößler; Dr. Jochen Türk; Dr. Demet Antakyali;
M. Sc. Juliane Schulz; Dr. Pascal Wunderlin; M. Sc. Aline Meier

Status quo der Erweiterung von Kläranlagen um eine Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination

Für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen stehen mittlerweile geeignete Verfahren zur Verfügung, die bereits teilweise zur Anwendung kommen. Bislang gibt es keine allgemeingültigen Vorgaben zu deren Dimensionierung. Zugleich resultieren aus dem Betriebsalltag Fragen, die im Hinblick auf den Ausbau weiterer Kläranlagen zu beantworten sind.

Bild 1 **Pulveraktivkohleanwendung auf der Kläranlage Steinhäule, Ulm/Neu-Ulm**

Das Vorkommen von organischen Spurenstoffen (Rückstände von Arzneimitteln, Kosmetika, Reinigungsmitteln, Pflanzenschutzmitteln und weiterer Umweltchemikalien) im Wasserkreislauf ist in den letzten beiden Jahrzehnten vermehrt in den Fokus der wissenschaftlichen und öffentlichen Diskussion gerückt. Als ein bedeutender Eintragspfad für die auch als Mikroschadstoffe bezeichneten Substanzen in die Gewässer werden kommunale Kläranlagen angesehen. Weitere Einträge erfolgen durch Mischwasserentlastungen, industrielle Punktquellen oder auch durch diffuse Quellen wie beispielsweise die Landwirtschaft, undichte Kanäle oder belastete Standorte (Deponien) /1, 2/.

Aus Laborversuchen ist bekannt, dass bereits durch geringe Konzentrationen einzelner Stoffe Wirkungen im Organismus aquatischer Lebewesen hervorgerufen werden können /3/. Für die Summe der Stoffe kann die Wirkung auf die Umwelt bislang allerdings kaum abgeschätzt werden. Daher kann nach derzeitigem Kenntnisstand nicht ausgeschlossen werden, dass, insbesondere bei Gewässern mit hohem Abwasseranteil, Konzentrationen auftreten, die zu nachteiligen Auswirkungen auf Wasserlebewesen führen können. Nicht nur aus Vorsorgegründen, sondern auch im Hinblick auf die Bedeutung von Oberflächengewässern als Trinkwasserressourcen, gilt es daher den Eintrag von anthropogen bedingten Spurenstoffen in die aquatische Umwelt zu vermindern /4/. Aufgrund der Vielfalt der Stoffe sowie der unterschiedlichen Eintragspfade bedarf es hierzu Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen. Vorrangig sind sie direkt an der Quelle

umzusetzen, wie beispielsweise bei der Entwicklung und Zulassung von Stoffen, durch betriebliche Minderungsmaßnahmen oder durch die sachgerechte Entsorgung von Altarzneimitteln über den Hausmüll oder die Apotheke. Der Eintrag von Industriechemikalien und Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer kann häufig über Emissionsanforderungen, die Einhaltung des Standes der Technik sowie Beschränkungen und Verbote reduziert werden. Bei Stoffen aus dem häuslichen Umfeld, wie beispielsweise Arzneimittel, Lebensmittelzusatzstoffe, synthetische Duftstoffe oder auch Korrosionsschutzmittel ist dies nur bedingt möglich. Diese Stoffe gelangen zumeist nach ihrem bestimmungsgemäßen Gebrauch über das Abwasser in die kommunalen Kläranlagen, wo viele Spurenstoffe mit den bestehenden Reinigungsverfahren nur unzureichend eliminiert werden. Der Ausbau von Kläranlagen stellt daher eine mögliche Maßnahme zur Reduzierung des Eintrags von Spurenstoffen in die Gewässer dar.

Aus verschiedenen Projekten geht hervor, dass sich für die gezielte Spurenstoffelimination auf Kläranlagen derzeit Verfahren mit Einsatz von Ozon oder Aktivkohle als am besten geeignet erweisen. Die technische Realisierbarkeit und ein stabiler Betrieb dieser Verfahren wurden bereits an mehreren Standorten nachgewiesen /1, 5, 6/.

In der Schweiz wurde durch die Änderung des Gewässerschutzgesetzes im Jahr 2014 die Grundlage für eine befristete Abwasserabgabe zur verursachergerechten Finanzierung des Ausbaus von ausgewählten Kläranlagen geschaffen. Das Gesetz wird per 1. Januar 2016 in Kraft treten. Gegenwärtig geht es um die Erarbeitung konkreter Regelungen für die Umsetzung. Während in der Schweiz die Einführung von Maßnahmen zur Spurenstoffelimination auf ausgewählten Kläranlagen somit breit abgestützt und akzeptiert ist, wird das Thema in Deutschland derzeit noch weiter kontrovers diskutiert /7 bis 11/. In Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen wurden bereits einige Kläranlagen unterschiedlicher Größenordnung um eine Stufe zur Spurenstoffelimination erweitert.

Parallel zum Ausbau der Kläranlagen wurde in der Schweiz die Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“, die dem Verband der Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) angegliedert ist, in Baden-Württemberg das Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW sowie in Nordrhein-Westfalen das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW geschaffen. Die aus der Planung und dem Betrieb der im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung neuen Techniken resultierenden Erfahrungen werden dort koordiniert gesammelt und aufgearbeitet, um sie bei weiteren Projekten miteinfließen lassen zu können.

Umsetzung von Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination

Verfahrenswahl

Grundsätzlich kann sowohl mit dem Einsatz von Ozon als auch mit der Anwendung von Aktivkohle ein breites Spektrum an gelösten organischen Spurenstoffen aus dem Abwasser eliminiert werden. Die Entscheidung, welches dieser Verfahren auf einer bestimmten Kläranlage zum Einsatz kommen soll, ist von mehreren Faktoren abhängig. Nachfolgend sind einige der wichtigsten Aspekte dargelegt.

Abwasserzusammensetzung: Im Zuge der Verfahrenswahl gilt es zu prüfen, ob im Abwasser Stoffe enthalten sind, die die Anwendung einer Ozonung möglicherweise ausschließen. Hohe Bromid-Konzentrationen begünstigen beispielsweise die Bromat-Bildung durch die Behandlung mit Ozon. Für eine frühzeitige Überprüfung der Eignung eines spezifischen Abwassers wurde daher ein modular aufgebautes Testverfahren entwickelt /12/. Für die Ozonung ungeeignete Abwässer können somit frühzeitig identifiziert werden.

Beim Betrieb von adsorptiven Verfahren werden die aus dem Abwasser entfernten Stoffe an die Aktivkohle angelagert. Um eine vollständige Eliminierung der adsorbierten Spurenstoffe sicherzustellen muss die Aktivkohle nach deren Gebrauch entweder verbrannt oder regeneriert werden.

Grundsätzlich gilt es zu beachten, dass es mit zunehmendem Gehalt an gelöster Restorganik einer höheren Dosiermenge an Ozon bzw. Aktivkohle bedarf, um Spurenstoffe aus dem Abwasser zu eliminieren. So kann im Rahmen der Verfahrenswahl mit Hilfe von Laboruntersuchungen die zur Erlangung eines gewünschten Reinigungseffektes notwendige Dosiermenge bestimmt werden. Für den Einsatz von Ozon kann über die Ozon- und OH-Radikal-Exposition des zu behandelnden Abwassers anhand der bekannten Reaktionskonstanten der Spurenstoffabbau abgeschätzt werden. Kleinfiltersäulentests nach dem RSSCT-Prinzip sind geeignet, um das erreichbare Bettvolumen einer granulierten Aktivkohle zu bestimmen /13, 14/. Für die Anwendung von Pulveraktivkohle (PAK) kann mit Hilfe von Rührversuchen die Eignung eines Aktivkohleproduktes überprüft oder auch die notwendige Kontaktzeit eruiert werden.

Nachbehandlung: Nach derzeitigem Wissensstand bedarf es sowohl bei der Ozonung als auch beim Einsatz von PAK im Anschluss an das eigentliche Verfahren zur Spurenstoffentnahme einer Nachbehandlung des Abwassers. Im Fall der Ozonung dient diese dem biologischen Abbau der gebildeten Transformationsprodukte, wohingegen beim Einsatz von PAK hierdurch ein weitestgehender Partikelrückhalt sichergestellt wird.

Positive Zusatzreinigungseffekte: Im Zuge der Umsetzung einer Stufe zur Spurenstoffelimination gilt es zu berücksichtigen, dass mit den verschiedenen Verfahren neben der Elimination von Spurenstoffen weitere Reinigungseffekte erlangt werden können: So kann beispielsweise bei der Anwendung von Ozon zusätzlich eine desinfizierende Wirkung bzw. beim Einsatz von Aktivkohle eine Minderung der gelösten Restorganik erzielt werden. Die Notwendigkeit der Fällmittelzugabe bei nachgeschalteten Verfahren zur PAK-Anwendung kann eine zusätzliche Phosphor-Elimination begünstigen.

Platzbedarf: Im Hinblick auf den Platzbedarf gilt es zu beachten, dass sich die Verfahren

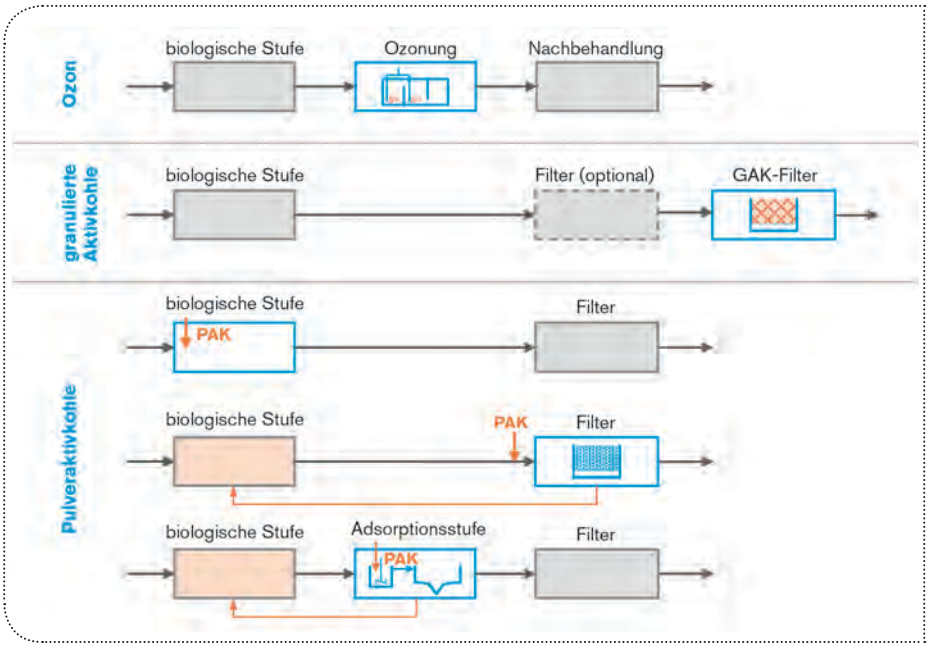


Bild 2 **Anordnung von Verfahren zur Spurenstoffelimination innerhalb einer Kläranlage**

Tab. 1 **Stand realisierter Ozonanlagen**

Kläranlage		Ozonung						Nach-behandlung
Name, Land	Ausbaugröße als EW	Zustand	Jahr der Inbetriebnahme	Voll-/ Teilstrom	behandelbare Zulaufwassermenge	minimale Aufenthaltszeit im Kontaktreaktor	Eintragsystem Ozon	Verfahrenstechnik
Bad Sassendorf, D	13.000	in Betrieb	2009	Vollstrom	181 l/s	13 min	Diffusor	Schönungsteich
Duisburg-Vierlinden, D	30.000	in Betrieb	2011	Vollstrom	111 l/s	30 min	Injektor	Wirbelbett
Neugut, CH	150.000	in Betrieb	2014	Vollstrom	660 l/s	13 min	Diffusor	Sandfilter

Tab. 2 **Stand realisierter Pulveraktivkohleanlagen**

Kläranlage		separate Adsorptionsstufe							Nach-behandlung
Name, Land	Ausbaugröße als EW	Zustand	Jahr der Inbetriebnahme	Voll-/ Teilstrom	behandelbare Zulaufwassermenge	Kontaktbecken	Sedimentationsbecken		Filtertyp
						minimale Aufenthaltszeit	minimale Aufenthaltszeit	maximale Oberflächenbeschickung	
Albstadt-Ebingen, D	125.000	in Betrieb	1992	Vollstrom	980 l/s	78 min	0,6 h	6,7 m/h	Sandfilter
Lautlingen, D	36.000	in Betrieb	1992	Vollstrom	225 l/s	27 min	0,4 h**	k. A.	Sandfilter
Hechingen, D	57.200	in Betrieb	1999	Vollstrom	400 l/s	27 min	0,3 h**	1,5 m/h	Sandfilter
Kressbronn-Langenargen, D	24.000	in Betrieb	2011	Vollstrom	250 l/s	35 min	2,6 h	1,6 m/h	Sandfilter
Stockacher Aach, D	43.000	in Betrieb	2011	Teilstrom	250 l/s	57 min	1,0 h**	0,8 m/h	Sandfilter
Sindelfingen, D	250.000	in Betrieb	2011	Teilstrom	1.000 l/s	30 min	2,0 h	2,0 m/h	Sandfilter
Langwiese, D	184.000	in Betrieb	2013	Vollstrom	1.100 l/s	57 min	2,1 h	1,9 m/h	Sandfilter
Steinhäule, D	440.000	in Betrieb	2014	Teilstrom*	1.600 l/s	42 min	2,5 h	1,7 m/h	Sandfilter
Lahr, D	100.000	in Betrieb	2015	Teilstrom	350 l/s	47 min	2,8 h	1,4 m/h	Tuchfilter
Dülmen, D	55.000	in Betrieb	2015	Teilstrom	200 l/s	22 min	k. A.	2,0 m/h	Sandfilter
Herisau Bachwis, CH	34.000	in Betrieb	2015	Teilstrom	170 l/s	30 min	2,0 h	2,0 m/h	Sandfilter
Laichingen, D	35.000	in Bau	2015	Teilstrom	150 l/s	30 min	1,4 h**	1,7 m/h	Tuchfilter
Mannheim, D	725.000	in Bau	2016	Teilstrom	1.500 l/s	41 min	2,2 h	1,1 m/h	Sandfilter

*Ausbau zur Vollstrombehandlung erfolgt bis zum Jahr 2020 **mit Lamellenabscheidern

zur Spurenstoffentfernung in der Anzahl sowie in der Größe der notwendigen Bauwerke unterscheiden. Ebenso gibt es Unterschiede beim Platzbedarf der möglichen Nachbehandlungsverfahren.

Bestehende Infrastruktur: Die Entscheidung für ein Verfahren hängt von den Möglichkeiten zur Implementierung des Verfahrens in die Kläranlage ab. So können gegebenenfalls vorhandene Bauwerke wie z. B. Becken oder Filteranlagen zur Realisierung einer Verfahrenstechnik genutzt werden.

Ausbaugröße

Bislang gibt es in Deutschland keine Vorschriften zur Dimensionierung einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination. Gegenwärtig liegen auch noch keine verbindlichen Vorgaben bezüglich des einzuhaltenden Reinigungseffekts vor. Da die Größe der erforderlichen Bauwerke, unabhängig vom angewandten Verfahren, primär durch den zu behandelnden Abwasserstrom bestimmt wird, erfolgt in Deutschland die Umsetzung der neuen Stufe aus ökonomischen Gründen bislang oftmals als Teilstrombehandlung, wobei in jedem Fall die Behandlung des Trockenwetterzuflusses sichergestellt ist. Auswertungen ergaben, dass mit der Auslegung der neuen Reinigungsstufe auf den halben maximal zu behandelnden Mischwasservolumenstrom meist schon rund 85 % der jährlich biologisch gereinigten Abwassermenge gezielt behandelt werden kann /15/.

Auf Basis der Erfahrungen nordrhein-westfälischer Ingenieurbüros und deren Ergänzung um Erkenntnisse aus der Literatur hat das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe. NRW eine „Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“ erstellt /5/. Dabei wird von einer Elimination der anlagenspezifischen Leitparameter um 80 % ausgegangen. In der Schweiz wird im Rahmen einer Projektgruppe der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ gegenwärtig ebenfalls eine Dimensionierungsempfehlung erarbeitet. Ein wichtiger Aspekt, den es bei der Auslegung in der Schweiz zu beachten gilt, ist die Einhaltung der gesetzlich geforderten Eliminationsleistung von 80 % gegenüber Rohabwasser. Grundsätzlich soll der biologisch gereinigte Abwasserstrom in der Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination behandelt werden.

Verfahrensmöglichkeiten und deren Realisierung

Die jeweilige Anordnung der verschiedenen Verfahren innerhalb des Abwasserreinigungspfads einer Kläranlage werden nachfolgend aufgezeigt (Bild 2). Die verfahrenstechnischen Umsetzungen erheben dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Ozonung

Die verfahrenstechnische Anwendung von Ozon (O_3) erfolgt der biologischen Reini-

Tab. 3 **Stand realisierter GAK-Filteranlagen**

Kläranlage		Vorbehandlung	granulierter Aktivkohlefilter							
Name, Land	Ausbaugröße als EW	vorgeschalteter Filter	Zustand	Jahr der Inbetriebnahme	Voll-/Teilstrom	behandelbare Zulaufwassermenge	Ausbildung	Fließrichtung Abwasser	max. Filtergeschwindigkeit	Schichthöhe GAK
Gütersloh-Putzhagen, D	150.600	–	in Betrieb	2013	Teilstrom	117 l/s	Festbett	aufwärts	10 m/h	3,0 m
Obere Lutter, D	380.00	–	in Betrieb	2014	Teilstrom	667 l/s	Festbett	aufwärts	8 m/h	2,5 m
Rietberg, D	46.500	–	in Betrieb	2014	Teilstrom	100 l/s	kontinuierlich gespült	aufwärts	6 m/h	3,5 m
Westerheim, D	5.500	Sandfilter	in Bau	2016	Teilstrom	22 l/s	Festbett	abwärts	7,5 m/h	3,5 m

gungsstufe nachgeschaltet (Bild 2). Dabei wird das gasförmige Ozon in das Abwasser eingetragen und folglich mit den Spurenstoffen in Kontakt gebracht, die dadurch oxidiert und unschädlich gemacht werden. Für einen effizienten Betrieb einer Ozonanlage ist eine gut funktionierende Nachklärung unerlässlich, da abfiltrierbare Stoffe ebenfalls Ozon zehren und somit den Ozonverbrauch erhöhen. Zudem reagiert Ozon mit Nitrit, weshalb eine stabile Nitrifikation in der vorausgehenden biologischen Stufe von Vorteil ist.

Der verfahrenstechnische Aufbau einer Ozonung beinhaltet einen Kontaktreaktor, einen Ozonerzeuger, ein Eintragssystem (Injektor oder Diffusor), eine Abluftbehandlung für die Zerstörung des überschüssigen Ozons in der Abluft sowie die notwendige MSR- und Sicherheitstechnik.

Das Reaktorvolumen ist unter Berücksichtigung der Aufenthaltszeit des Abwassers im Reaktor und der Dauer bis zur vollständigen Ozonzehrung festzulegen. Bei den bisher realisierten Anlagen wurden für die Dimensionierung des Kontaktreaktors minimale Aufenthaltszeiten zwischen 13 und 30 Minuten gewählt (Tab. 1).

Bei der Ozonung entstehen durch die Oxidation Umwandlungsprodukte. Biologische Untersuchungen haben vereinzelt direkt nach der Ozonung negative Effekte gezeigt, die vermutlich auf labile Reaktionsprodukte zurückzuführen waren. Diese negativen Effekte konnten mit einer biologischen Nachbehandlung eliminiert werden, weshalb eine solche nach derzeitigem Kenntnisstand als notwendig erachtet wird.

Zu den positiven Nebeneffekten einer Nachbehandlung nach einer Ozonung gehören insbesondere

- die zusätzliche Sicherheit, dass kein ozonbelastetes Abwasser die Kläranlage verlässt
- die Verringerung weiterer Parameter wie beispielsweise der Gehalt an DOC und an abfiltrierbaren Stoffen sowie
- der Abbau von assimilierbarem organischen Kohlenstoff, der in der Ozonung erzeugt wird (Verminderung der Sauerstoffzehrung im Gewässer).

Den bestehenden Ozonanlagen ist zur Nachbehandlung des Abwassers entweder ein Sandfilter, ein Schönungsteich oder ein Wirbelbett nachgeschaltet (Tab. 1). Über die Kombination „Ozonung mit Sandfiltration“ liegen bereits aus verschiedensten Forschungsprojekten Erfahrungen vor /16, 17/. In laufenden Projekten, wie beispielsweise dem ReTREAT-Projekt auf der Kläranlage Neugut oder den Versuchen mit granulierter Aktivkohle auf der Kläranlage Bülach, wird derzeit die Eignung des Wirbelbetts, der Festbettbiologie als auch die Anwendung von granulierter Aktivkohle in Kombination mit einer vorgeschalteten Ozonung untersucht.

Pulverförmige Aktivkohle

Bei den Verfahren zur Anwendung von Pulveraktivkohle (PAK) wird diese mit dem zu reinigenden Abwasser in suspendierter Form in Kontakt gebracht. Für die Anlagerung der Spurenstoffe an die Oberfläche der Aktivkohle bedarf es einer ausreichend langen Kontaktzeit. Die beladene PAK muss anschließend wieder vom gereinigten Abwasser abgetrennt werden.

Zur Anwendung von PAK existieren unterschiedliche Verfahrensvarianten (Bild 2). Die einfachste Art des Einsatzes stellt die simultane Dosierung von PAK dar. Hierbei wird die PAK direkt in das Belebungsbecken dosiert, in den belebten Schlamm eingebaut und letztlich zusammen mit dem Überschussschlamm aus dem System entfernt.

Baulich und verfahrenstechnisch aufwändiger gestaltet sich die Anwendung von PAK im Gegenstromprinzip: Hierbei wird die Aktivkohle dem Abwasser zunächst nach der biologischen Reinigung zugegeben und im Anschluss daran zur besseren Ausnutzung in die biologische Stufe zurückgeführt. Für die Ausbildung der eigentlichen, nachgeschalteten adsorptiven Reinigungsstufe stehen nach derzeitigem Stand sowohl die Dosierung von PAK vor einen Filter als auch die Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe zur Verfügung. Letztere besteht dabei aus einem Kontakt- und einem Sedimentationsbecken. Beide Verfahren zeichnen sich durch die Entkopplung der Aufenthaltszeit des Abwassers von der Aufenthaltszeit der PAK im System aus. Bei dem Verfahren der Dosierung vor einen Filter wird die PAK im Filterbett zurückgehalten und über die Dauer eines Filtrationszyklus in diesem angereichert, um eine Weiterbeladung der PAK zu ermöglichen. Beim System der Adsorptionsstufe erfolgt die Anreicherung der PAK durch die Separation des „Aktivkohleschlamms“ im Sedimentationsbecken mit anschließender Rückführung in das Kontaktbecken. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Verfahren besteht darin, dass bei der Dosierung vor einen Filter die gesamte Adsorbensmenge durch den Filter zurückgehalten werden muss, wohingegen es beim Betrieb einer Adsorptionsstufe nur noch einer Abtrennung der aus dem Sedimentationsbecken abtreibenden Aktivkohlepartikel bedarf.

Bislang wurde auf Kläranlagen nur das Verfahren der separaten Adsorptionsstufe zur dauerhaften Anwendung umgesetzt. Hierbei wurden für die Bemessung des Kontaktbeckens Aufenthaltszeiten zwischen 22 Minuten und knapp einer Stunde gewählt (Tab. 2). Die bestehenden Sedimentationsbecken weisen hingegen Aufenthaltszeiten von rund 20 Minuten bis hin zu knapp drei Stunden auf. Nahezu alle Sedimentationsbecken, die ein vergleichsweise geringes spezifisches Volumen besitzen, sind zur Gewährleistung einer ausreichenden Separation des Aktivkohleschlamms mit einem Lamellenseparator ausgestattet. Als Nachbehandlungsstufe werden bei dieser Verfahrensform zur PAK-Anwendung derzeit sowohl Sand- als auch Tuchfilter genutzt. Zur Sicherstellung eines weitestgehenden Rückhalts der beladenen Aktivkohle sind diese als Flockungsfilter zu betreiben. Die Anreicherung und vollständige Abtrennung der PAK kann auch mittels einer Membranfiltration bewerkstelligt werden. Entsprechende Betriebserfahrungen mit diesem System, bestehend aus Kontaktbecken und Membranfiltration, wurden u. a. auf der Kläranlage Lausanne und im Rahmen des Projekts Aquapure /18/ gewonnen.

Die Möglichkeit der Dosierung vor einen Filter wurde bereits auf mehreren Kläranlagen großtechnisch untersucht /19, 20/. Hierbei wurde die PAK entweder in den Überstau eines Sandfilters oder in ein dem Filter vorgeschaltetes Kontaktbecken zugegeben. Zudem wurde im halbtechnischen Maßstab die Eignung eines weiteren Raumfiltersystems für diesen Anwendungsfall untersucht /21/.
Die Kläranlagen, bei denen das Verfahren zur Simultandosierung von PAK in die biologische Stufe untersucht wurde, verfügten bereits vor der Testphase über einen kontinuierlich gespülten Filter /22/.

Granulierte Aktivkohle

Granulierte Aktivkohle (GAK) findet in der Regel als Füllmaterial eines Filters Anwendung, der nach der biologischen Reinigung angeordnet ist. Der Filter kann dabei sowohl auf- als auch abwärts durchströmt sein und in offener Bauweise wie auch in Form eines Druckfilters ausgeführt werden. Auf der Kläranlage in Rietberg wird seit 2014 ein kontinuierlich gespülter GAK-Filter zur Spurenstoffelimination betrieben. Die Eignung dieses Systems wurde bereits an mehreren Kläranlagenstandorten untersucht.
Ein wesentlicher Unterschied zur PAK besteht darin, dass GAK nach der Anwendung nicht entsorgt werden muss, sondern regeneriert und wiederverwendet werden kann. Um einer Belegung des granulierten Aktivkohlefilterbettes mit abfiltrierbaren Stoffen vorzubeugen, kann dem GAK-Filter eine Filtereinheit zum Rückhalt der partikulären Abwasserinhaltsstoffe vorgeschaltet werden, um somit die Rückspülhäufigkeit des GAK-Filters zu reduzieren. Den bislang in Betrieb befindlichen GAK-Filtern ist kein zusätzlicher Filter vorgeschaltet (Tab. 3).
Die Umsetzbarkeit eines Verfahrens mit GAK wird primär von der Häufigkeit des erforderlichen Austausches der beladenen Aktivkohle bestimmt. Die bislang auf unterschiedlichen Kläranlagen erzielten Ergebnisse zum erreichbaren Bettvolumen eines GAK-Filters differieren sehr stark voneinander /23/. Gegenwärtig ist noch offen, unter welchen Randbedingungen ein GAK-Filter als eigenständiges Verfahren wirtschaftlich betrieben werden kann. Auf die Investitionskosten wirkt sich jedoch positiv aus, dass ein GAK-Filter in einem bereits bestehenden Filterbauwerk durch den Austausch des Filtermaterials gegen GAK eingerichtet werden kann. Diese Vorgehensweise wurde bei der Realisierung der jeweiligen GAK-Filter auf den Kläranlagen Gütersloh-Putzhagen und Obere Lutter praktiziert.

Ausblick – Verfahrenskombinationen

Aktuell wird im Zusammenhang mit der Anwendung von GAK diskutiert, inwiefern deren Effektivität durch Kombination mit einer Ozonung verbessert werden kann. Man geht heute davon aus, dass eine vorgeschaltete Ozonung die Standzeiten der GAK tendenziell verlängert. Untersuchungen von /24/ machen deutlich, dass durch die Ozonung von Abwasser Stoffe derart verändert werden können, dass sie nicht mehr an die Aktivkohle adsorbieren. Somit stehen sie auch nicht mehr in Konkurrenz zur Adsorption anderer Spurenstoffe, was wiederum einen geringeren Aktivkohleverbrauch für die Spurenstoffelimination in einer nachgeschalteten adsorptiven Stufe zur Folge hat. Welche zusätzlichen Effekte durch die Kombination mehrerer Verfahren erlangt werden können, ist gegenwärtig noch offen. Zugleich wird bei der Realisierung derartiger „Kombisysteme“ zu klären sein, wie die Einzelverfahren aufeinander abzustimmen und zu betreiben sind, um neben einer effizienten Spurenstoffelimination einen bestmöglichen ökonomischen Betrieb zu erreichen.

Offene Fragen beim Betrieb von Anlagen zur Spurenstoffelimination

Bei den Verfahren zur Anwendung von Ozon und Aktivkohle handelt es sich prinzipiell nicht um neuartige Technologien, da sie seit langem bei der Trinkwasseraufbereitung zum Einsatz kommen. Jedoch liegen bislang nur begrenzte Erfahrungen zu deren Anwendung zur Spurenstoffelimination bei der kommunalen Abwasserbehandlung vor. Diesbezüglich drängen sich derzeit nachfolgende Fragen auf:

- Bei der PAK-Anwendung stellt sich u. a. die Frage, welche Folgen für ein Gewässer aus einem dauerhaft geringfügigen Austrag von beladener Pulveraktivkohle resultieren. Mit welchen Methoden kann die Konzentration an Pulveraktivkohle im Ablauf sicher bestimmt werden?
- Im Hinblick auf den Platzbedarf einer Adsorptionsstufe gilt es zu prüfen, ob ein Sedimentationsbecken auf eine Mindestaufenthaltszeit von 2 Stunden ausgelegt werden muss. Zugleich ist zu hinterfragen, ob es für die Elimination der Spurenstoffe tatsächlich einer Aufenthaltszeit von 30 Minuten im Kontaktbecken bedarf.
- Welchen Einfluss hat die Rückführung der PAK auf die Spurenstoffelimination und mit welchem Feststoffgehalt muss ein solches System betrieben werden?
- Der Umfang der Spurenstoffelimination wird bei der Anwendung von PAK neben der spezifischen Dosiermenge von der Qualität der Aktivkohle bestimmt. Sowohl für die Auswahl geeigneter Produkte als auch zur kontinuierlichen Qualitätssicherung wäre ein für die betroffenen Betriebe selbst durchführbares Schnelltestverfahren sehr hilfreich.

Einige Fragen, die in der Schweiz aufgrund des fortschreitenden Gesetzgebungsprozesses bereits geklärt sind, bleiben in Deutschland noch unbeantwortet. Ein besonders relevantes Beispiel hierfür stellt die Definition des Reinigungsziels dar. Zugleich gilt es festzulegen, in welcher Form das Reinigungsziel

LITERATUR

/1/ Abegglen, C.; Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214. www.bafu.admin.ch/uw-1214-d (abgerufen am 30.9.2015)

/2/ Braun, C.; Gälli, R.; Leu, C.; Munz, N.; Schindler Wildhaber, Y.; Strahm, I.; Wittmer, I. (2015): Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1514. www.bafu.admin.ch/uz-1514-d (abgerufen am 30.9.2015)

/3/ Stalter, D.; Magdeburg, A.; Quednow, K.; Botzat, A.; Oehlmann, J. (2013): Do Contaminants Origination from State-of-the-Art Treated Wastewater Impact the Ecological Quality of Surface Waters? PLoS ONE 8(4): e60616. doi: 10.1371/journal.pone.0060616

/4/ MKULNV des Landes NRW (Hrsg.) (2014): Programm Reine Ruhr zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in Nordrhein-Westfalen. http://www.masterplan-wasser.nrw.de/data/files/145/NRW_ReineRuhr_2014.pdf (abgerufen am 30.9.2015)

/5/ ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW (Hrsg.) (2015): Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. www.masterplan-wasser.nrw.de/data/files/145/DIN_A4_MIKRO_Planung.pdf (abgerufen am 30.9.2015)

/6/ Rößler, A.; Metzger, S.: Spurenstoffvorkommen und -entnahme in Kläranlagen mit Aktivkohleanwendung in Baden-Württemberg. In: KA 2014 (61) Nr. 5, S. 427–435

/7/ Bode, H.: Wohl und Wehe der 4. Reinigungsstufe. In: KA 2014 (61) Nr. 12, S. 1088–1089

/8/ Metzger, S.; Hein, A.; Schwentner, G.; Hiller, G.; Kapp, H.: Vierte Reinigungsstufe jetzt – Pro und Contra. Leserbrief aus Baden-Württemberg. In: KA 2015 (62) Nr. 5, S. 407–409

/9/ Bode, H.: Vierte Reinigungsstufe jetzt – Pro und Contra. Replik von Harro Bode. In: KA 2015 (62) Nr. 5, S. 410–412

/10/ UBA (Hrsg.) (2015): Positionspapier „Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern. Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge“. www.umweltbundesamt.de/publikationen/ organische-mikroverunreinigungen-in-gewaessern (abgerufen am 30.9.2015)

Das vollständige Literaturverzeichnis finden Sie unter:
http://www.wwt-online.de/mr15lit

zukünftig überwacht werden soll (Probenahmedauer, Häufigkeit der Überprüfung u. a.). Auch die konkrete Umsetzung der kontinuierlichen Betriebsüberwachung auf den Kläranlagen ist noch unklar: Welche (online-) Parameter sind geeignet, um im Betrieb eine ausreichende Spurenstoffelimination zu garantieren?
Verschiedene Methoden weisen ein Potenzial auf, um zur alltäglichen Überwachung der Reinigungsleistung eingesetzt zu werden. Hierzu zählen die UV-Absorbanz, der CSB oder DOC. Weitere Varianten werden derzeit in verschiedenen Projekten evaluiert.
Sowohl die unterschiedlichen Voraussetzungen auf den Kläranlagen als auch die verschiedenartige Ausbildung der Verfahren erschweren oftmals die Vergleichbarkeit der neu errichteten Reinigungsstufen. Daher ist die einheitliche Festlegung von Systemgrenzen und einer Definition, in welcher Form Betriebsdaten zu erheben sind, für vergleichende Auswertungen notwendig.

Zusammenfassung und Fazit

Für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen stehen mittlerweile geeignete Techniken zur Verfügung, die bereits auf einigen Kläranlagen zur Anwendung kommen. Bislang gibt es keine allgemeingültigen Vorgaben zu deren Dimensionierung. Zugleich resultieren aus dem Betriebsalltag Fragen, die im Hinblick auf den Ausbau weiterer Kläranlagen zu beantworten sind. Zur Bündelung dieser Fragen als auch der Erfahrungen und Erkenntnisse wurden in verschiedenen (Bundes)Ländern Kompetenzzentren als zentrale Anlaufstellen geschaffen. Wissen wird dort gesammelt und aufgearbeitet, um es bei weiteren Projekten miteinfließen lassen zu können. Da es sich bei den Verfahren zur Spurenstoffelimination um neue Verfahren im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung handelt, stellen gerade der gezielte Aufbau und Transfer von Wissen sowie der Erfahrungsaustausch zentrale Aspekte für den Ausbau der Kläranlagen dar. Die Zusammenarbeit der Kompetenzzentren aus Baden-Württemberg, NRW und der Schweiz soll daher intensiviert werden.

DIE AUTOREN

Dr. Steffen Metzger
Leiter des Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg

Fachgebiete:
Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination

Aktuelle Projekte, u.a.:
- Begleitung von Kläranlagen beim Betrieb einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination
- Erarbeitung von Kläranlagenkennzahlen zur Spurenstoffelimination

Dipl.-Ing. Annette Rößler
Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg

Fachgebiete: Anwendung von Pulveraktivkohle auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffelimination

Aktuelle Projekte, u.a.:
- Wissenschaftliche Begleitung von Kläranlagen mit einer adsorptiven Reinigungsstufe
- Untersuchungen zur Spurenstoffentnahme beim Ausbau von Kläranlagen um eine Stufe zur Spurenstoffelimination

Dr. Jochen Türk
Mitarbeiter im Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe. NRW

Fachgebiete: Analytische Chemie, Abwassertechnik, Oxidative Prozesse

Aktuelle Projekte, u.a.:
- NRW Fortschrittskolleg – Future Water, Teilprojekt: Evaluierung von innovativen Abwasseraufbereitungsverfahren mittels instrumenteller und wirkungsbezogener Analytik, gefördert vom MIWF des Landes NRW
- Weitergehende Abwasserreinigung mit Hilfe der Aktivkoks-Festbettbiologie und UV-Oxidation: Teil II, gefördert durch DBU

Dr.-Ing. Demet Antakyali
Mitarbeiterin im Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW

Fachgebiete: Abwassertechnik, Forschung und Entwicklung bei der Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

Aktuelle Projekte, u.a.:
- Koordinierung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW und technische Beratung zur Mikroschadstoffelimination
- Technische Planung einer Abwasserbehandlungsanlage zur Behandlung von Krankenhausabwasser

M. Sc. Juliane Schulz
Mitarbeiterin im Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW
Fachgebiete: Abwassertechnik, Forschung und Entwicklung bei der Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

Aktuelle Projekte, u.a.:
- Erarbeitung von Kläranlagenkennzahlen zur Spurenstoffelimination

Dr. Pascal Wunderlin
Wissenschaftlicher Mitarbeiter der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“
Fachgebiete: Verfahrenstechnik zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf Kläranlagen

Aktuelle Projekte, u.a.:
- Konzepte und Methoden zur Überwachung der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

M. Sc. Aline Meier
Wissenschaftliche Mitarbeiterin der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“
Fachgebiete: Verfahrenstechnik zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf Kläranlagen

Aktuelle Projekte, u.a.:
- Nachbehandlungsverfahren zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

KONTAKT

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2 | 70569 Stuttgart
www.koms-bw.de

Dr. Steffen Metzger
Tel.: 0711/685-65420
E-Mail: steffen.metzger@koms-bw.de

Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
Tel.: 0711/685-63955
E-Mail: annette.roessler@koms-bw.de

Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW
c/o Grontmij GmbH
Graeffstraße 5 | 50823 Köln
www.kompetenzzentrum-mikroschadstoffe.de

Dr.-Ing. Demet Antakyali
Tel.: 0221/57402-53
E-Mail: demet.antakyali@kompetenzzentrum-mikroschadstoffe.de

M.Sc. Juliane Schulz
E-Mail: juliane.schulz@kompetenzzentrum-mikroschadstoffe.de

Dr. Jochen Türk
Tel.: 02065/418-179
E-Mail: jochen.tuerk@kompetenzzentrum-mikroschadstoffe.de

VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“
c/o EAWAG
Überlandstraße 133 | CH-8600 Dübendorf
www.micropoll.ch

Dr. Pascal Wunderlin
Tel.: 0041/587655037
E-Mail: pascal.wunderlin@vsa.ch

M. Sc. Aline Meier
Tel.: 0041/587655077
E-Mail: aline.meier@vsa.ch

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 werden[1]. 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 Schadwirkung 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].

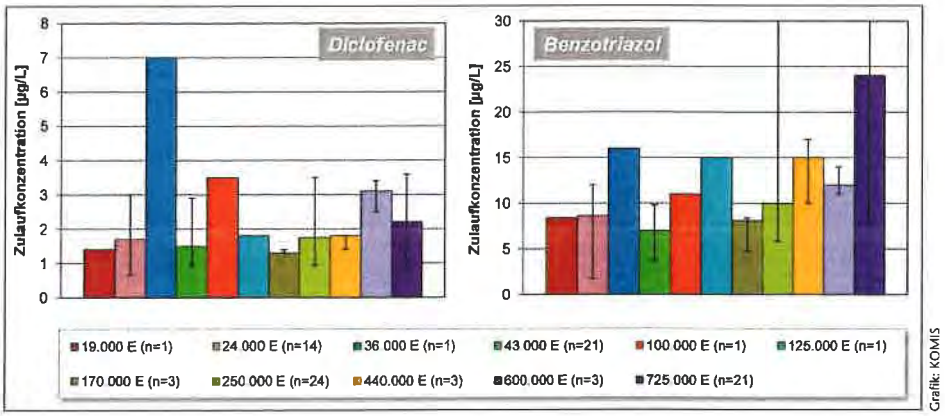


Abbildung 1
Konzentrationen von Diclofenac (Schmerzmittel) und Benzotriazol (Korrosionsschutzmittel) in der gelösten Phase im Zulauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg unterschiedlicher Größenordnung (mit Angabe von Min- und Max-Werten)

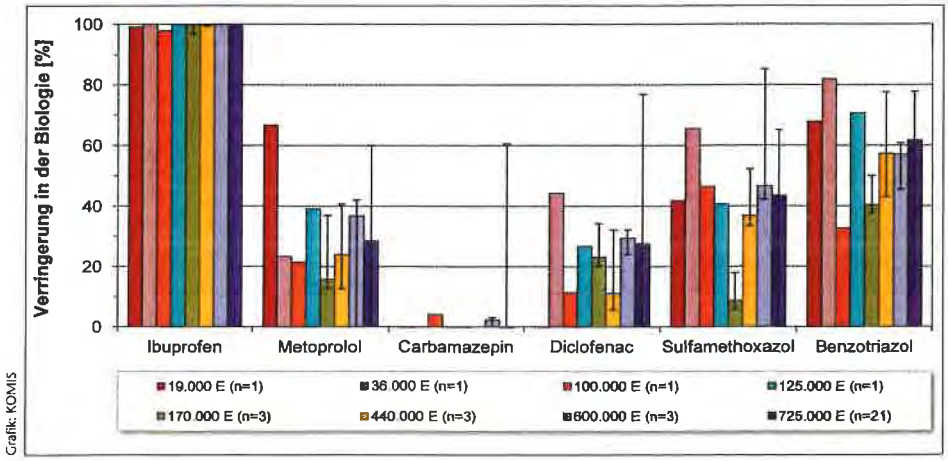
Kläranlagen als Eintragspfad

Ein Großteil der Spurenstoffe gelangt über die Kläranlagenabläufe in die Gewässer. 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 Haushalten[4]. Aber auch die industriellen und gewerblichen Abwässer sind weitere Quellen für das Vorkommen von Spurenstoffen im Abwasser.

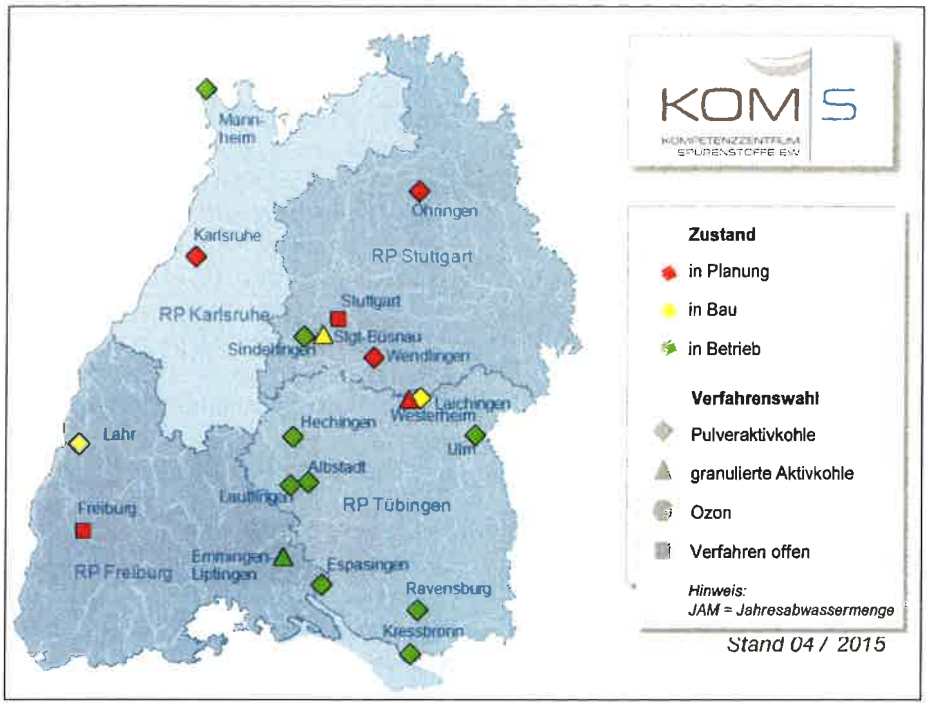
Eine Analyse des Rohzulaufs der Kläranlage Mannheim hat beispielsweise ergeben, dass in der gelösten Abwasserphase von 224 analysierten Arzneimittelwirkstoffen 81 quantitativ nachweisbar waren. Darüber hinaus konnten im Rohabwasser 5 Röntgenkontrastmittel, 8 Pestizidrückstände, 8 Stoffe aus Produkten 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
Elimination 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.



Grafik: KOMS

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 eliminiert[5].

In den vergangenen Jahren wurde daher im deutschsprachigen Raum eine Vielzahl von Untersuchungen zur Entwicklung geeigneter Reinigungsverfahren durchgeführt, um Spurenstoffe gezielt aus dem Abwasser entfernen zu können[6]. Als technisch umsetzbar haben sich für diesen Anwendungsfall bislang adsorptive Verfahren mit Einsatz von granulierter oder pulverförmiger Aktivkohle als auch die Anwendung von Ozon erwiesen[7]. Beide Stoffe finden im Übrigen bereits seit Jahrzehnten zur Aufbereitung von Trinkwasser Verwendung.

Abbildung 4:
Realisierte Adsorptionsstufen in Baden-Württemberg

Abbildungen: KOMS

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 behandelt[8].

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 Pulveraktivkoh-

Abbildung: Friedrich Stampe, Fotoagentur

Abbildung 5
Kläranlage Böblingen-Sindelfingen[9]

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 Zuflusswassermenge 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 behandelten 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						
$Q_{max.\ Ads\text{-}stufe}$	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

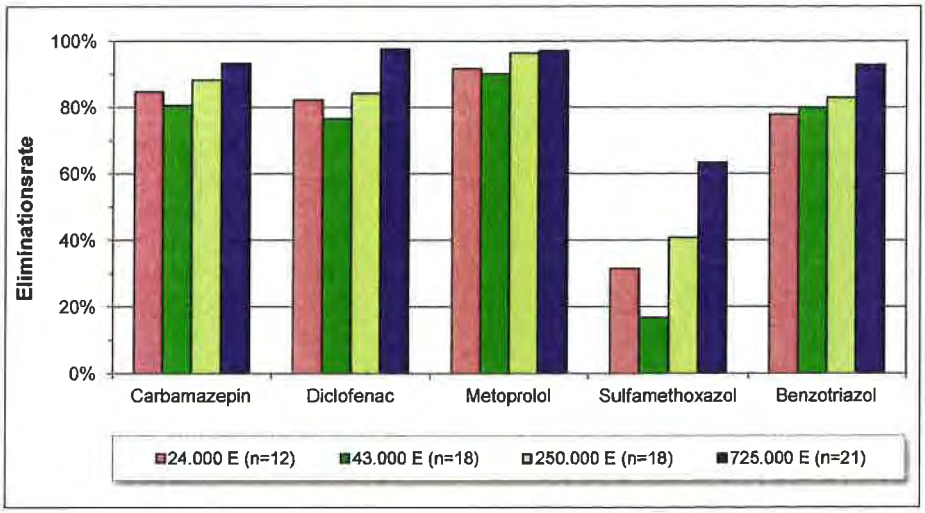


Abbildung 6
Entnahme ausgewählter Spurenstoffe in der Adsorptionsstufe bei einer Pulveraktivkohledosierung von 10 mg/L

Umfang entfernt werden können, so zeigen Messungen, dass bereits mit 10 mg/L Pulveraktivkohle die estrogene Wirkung des Abwassers gegenüber der herkömmlichen Kläranlagenablaufqualität im Mittel um über 80 Prozent vermindert wird.

Des Weiteren gilt es zu beachten, dass mit der angewandten Verfahrenstechnik 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.

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 Räumer 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. gebührenmindend 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 Auslegungsgröße 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 Einwohner[10] 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.

Az. 702.0

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 Triebskorn, 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., Schärer, M., Braun, C., Gälli, R., Junghans, M., Brocker, S., Moser, R., Rensch, D., 2009: Ozonung von gereinigtem Abwasser – Schlussbericht Pilotversuch Regensodrf. 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 Abbeglen, 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).

In der Ausgabe 12/2014 der Zeitschrift Korrespondenz Abwasser (KA) war ein Beitrag mit der Überschrift „Wohl und Wehe der 4. Reinigungsstufe“ abgedruckt. Dieser Beitrag enthält Äußerungen, die sich nicht mit den hierzulande gemachten Erfahrungen zur Anwendung einer Stufe zur Spurenstoffelimination decken. Daher haben einige Kläranlagenbetreiber aus Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem KomS einen Leserbrief auf den Beitrag verfasst, welcher u.a. in der aktuellen Mai-Ausgabe der KA veröffentlicht ist.

Vierte Reinigungsstufe jetzt – Pro und Contra

Zu dem Beitrag „Wohl und Wehe der 4. Reinigungsstufe“ von Harro Bode (KA 12/2014, S. 1088–1089) ging ein Leserbrief aus Baden-Württemberg ein. Harro Bode (Ruhrverband) verteidigt in der anschließenden Replik seine Position.

Leserbrief aus Baden-Württemberg

Der Autor führt Argumente an, die mit unseren Erfahrungen nicht übereinstimmen.

Tatsache ist, dass jeder Bürger in unserer hochentwickelten Gesellschaft tagtäglich unbewusst eine Vielzahl von Produkten konsumiert oder benutzt, deren Inhaltsstoffe nicht natürlichen Ursprungs sind. Ein Teil dieser Stoffe gelangt durch unsachgemäßen Gebrauch ins Abwasser; der Großteil jedoch wird über den Weg der natürlichen Ausscheidungen oder die Anwendung von Kosmetika, Hygieneartikeln oder Reinigungsmitteln ins Abwasser eingetragen. Aus der Industrie werden zudem schwer abbaubare Stoffe der Kläranlage zugeführt. Die bestehenden Reinigungsstufen der kommunalen Kläranlagen sind nicht dafür konzipiert, derartige Stoffe gezielt zu entfernen, sodass ein wesentlicher Anteil derer über den Ablauf der Kläranlagen in die aquatische Umwelt gelangt. Von einigen dieser Stoffe ist bekannt, dass sie hormonelle oder toxische Eigenschaften besitzen, weshalb deren Existenz in den Gewässern als „unangenehm“ empfunden wird. Der Gedanke, dass sich diese Stoffe in der Umwelt akkumulieren und in letzter Konsequenz, trotz aufwendiger Aufbereitungsverfahren, eines Tages im Trinkwasser enthalten sein könnten, entspricht nicht den Qualitätsvorstellungen an unser wichtigstes Lebensmittel. Aktuell ist keine humantoxikologische Schadwirkung durch die Existenz der Spurenstoffe in den Gewässern gegeben. Untersuchungen zeigen jedoch Veränderungen im Organismus von aquatischen Lebewesen, die auf das Vorkommen von Spurenstoffen in den Gewässern zurückzuführen sind. Offen ist die Frage nach den lang-

fristigen Auswirkungen auf die aquatische Umwelt infolge der dauerhaften Belastung unserer Gewässer durch diese Stoffe. Wenig Kenntnis besteht zudem über die kombinatorischen Effekte durch das Vorhandensein dieser Substanzen.

Mittlerweile ist nachgewiesen, dass sich durch den Betrieb einer 4. Reinigungsstufe eine Vielzahl von Spurenstoffen in erheblichem Umfang aus dem Abwasser eliminieren lässt, sodass der heutige Eintrag einzelner Spurenstoffe in die Gewässer zu über 80 Prozent reduziert werden kann. Auch wenn mit den Verfahrenstechniken der 4. Reinigungsstufe nicht alle Substanzen in gleichem Umfang eliminiert werden können, so lassen reproduzierbare Ergebnisse von wirkungsbezogenen Analyseverfahren indes eine eindeutige Verbesserung durch die zusätzliche Reinigung des Abwassers erkennen. Auch wenn sich die aus dem Betrieb der 4. Reinigungsstufe resultierenden Auswirkungen für das Gewässer nicht direkt quantifizieren lassen, so kann im Einzelfall eine unmittelbare Verbesserung im Gewässer wahrgenommen werden. Im Übrigen lassen sich aufgrund der in der heutigen Praxis geltenden Überwachungswerte für Stickstoff und Phosphor ebenfalls keine quantifizierbaren Vorteile für das aquatische Leben beziffern.

Einer möglichen Befürchtung, die zur Einhaltung des Qualitätszustands von Oberflächengewässern notwendige Ablaufkonzentration mit dem Betrieb einer 4. Reinigungsstufe nicht sicherstellen zu können, ist zu entgegnen, dass sich die Forderungen an den zu erfüllenden Reinigungsumfang in der Abwasserpraxis bislang immer an der möglichen Leistung der Verfahrenstechniken unter Einbezug von ökonomischen Randbedingungen orientierten. Auch wenn demzufolge mit der Einführung der 4. Reinigungsstufe das Vorkommen von Spurenstoffen in den Gewässern nicht alleinig gelöst werden kann, so wird es allemal sinnvoller sein, einen Teil zu entfernen, als gar nicht zu handeln. Letztlich hatten bislang alle Maßnahmen auf Kläranlagen zur Reduzierung des Eintrags der Restverschmutzung eine Verbesserung der Gewässerqualität zur Folge.

Im Zuge der Diskussion zur Umsetzung der 4. Reinigungsstufe gilt es zu berücksichtigen, dass mit den verfügbaren Verfahrenstechniken neben der Entfernung von persistenten Stoffen weitere Reinigungseffekte erlangt werden können: So kann bei Anwendung von Ozon zusätzlich eine desinfizierende Wirkung erzielt werden, der Einsatz von Aktivkohle hat unweigerlich eine Minderung der Restorganik von rund 30–40 Prozent zur Folge. Die Notwendigkeit der Fällmittelzugabe bei nachgeschalteten Verfahren zur Pulveraktivkohleanwendung bedingt eine zusätzliche P-Eliminierung. Durch die Erfordernis der Nachbehandlung des Abwassers, die meist in konventionellen Sandfiltern erfolgt, ist eine Verminderung des Eintrags von Partikeln und somit von partikulär bedingten Stoffen wie beispielsweise Schwermetallen in die Gewässer gegeben. – Nicht zuletzt führt die Einführung der 4. Reinigungsstufe zu einer Aufwertung des Berufsbildes der auf den Kläranlagen tätigen Personen und rückt zugleich den Stellenwert, den unsere Kläranlagen für die Umwelt wie auch für unsere Daseinsvorsorge haben, wieder mehr ins Bewusstsein der Bevölkerung.

Der Stromverbrauch für den Betrieb einer Adsorptionsstufe beträgt nach den bisherigen Erfahrungen 1–3 kWh/(E × a). Bezogen auf den durchschnittlichen Stromverbrauch einer modernen Abwasserreinigungsanlage [30 kWh/(E × a)] resultiert daraus ein Anstieg des Energieverbrauchs von 3–10 Prozent. Für den Betrieb einer Zweischichtfilteranlage bedarf es weiterer 3–4 kWh/(E × a).

Die erhöhte Reinigung des Abwassers kostet in der Tat zusätzliches Geld. Aktuelle Vergleichszahlen aus Baden-Württemberg belegen, dass der Betrieb einer 4. Reinigungsstufe, je nach Anlagengröße, ohne die Berücksichtigung von Zuschüssen Kosten in Höhe von ca. 2,50 bis knapp 13 €/(E × a) zur Folge hat (vgl. *KA* 11/2014, S. 1029). Mögliche Kostenminderungen durch die Verringerung der Abwasserabgabe aufgrund einer verbesserten Abwasserreinigung sind hierbei einberechnet. Gemessen an den mittleren jährlichen Gesamtkosten der Abwasserbeseitigung von 143 €/E (vgl. *KA* 8/2014, S. 701) führt dies zu einer Erhöhung der Kosten für die Abwasserentsorgung von 2–9 Prozent. Bezieht man mögliche Zuschüsse für die Erweiterung der Kläranlagen in die Gesamtbetrachtung mit ein, so resultieren daraus selbst bei einer kleineren Anlage (Anm.: 24000 E) für einen Einwohner und Jahr lediglich zusätzliche Mehrkosten in Höhe von knapp 8 €.

Es ist richtig, dass die Trinkwasserversorgung von der Einführung einer 4. Reinigungsstufe auf Kläranlagen profitiert, andernfalls bedarf es bei der Trinkwasseraufbereitung zukünftig mehr Aufwand, auch finanzieller Art.

Die Forderung quellenorientierte Maßnahmen zu ergreifen, um den Eintrag von Spurenstoffen in die Gewässer vorzubeugen, ist richtig, jedoch gilt es zu beachten, dass ein großer Anteil der in der Spurenstoffdiskussion angeführten Substanzen aus häuslicher Anwendung stammt. Beispielsweise resultieren weit mehr als 80 Prozent der im Abwasser enthaltenen Arzneimittelrückstände aus Haushalten. Demzufolge müssten die Produkte, die wir konsumieren, wie auch das Verbraucherverhalten entschieden geändert werden. Bereits heute werden an die Einleitung von Abwasser aus gewerblichen Betrieben besondere Anforderungen gestellt und Anstrengungen an anderer Stelle unternommen, um den Eintrag von unerwünschten Stoffen in die Umwelt zu minimieren (vgl. AbwV, BImSchG). Ein vorbeugender Gewässerschutz kann langfristig nur dann gelingen, wenn die Landwirtschaft, die Industrie sowie die kommunale und die industrielle Abwasserreinigung einen zusätzlichen Beitrag zur Schadstoffreduktion leisten. Im Zuge der Forderung zur Verminderung des Eintrags von Schadstoffen aus anderen Emissionsquellen gilt es daher, gerade im Hinblick auf die Wertschätzung des Wassers und der aquatischen Umwelt, die bereits verfügbaren Verfahrenstechniken im Abwasserbereich zeitnah umzusetzen und mit gutem Beispiel voranzugehen. Dass man damit weitaus höhere Anforderungen erfüllt als auf europäischer Ebene vorgeschrieben, erscheint angesichts manch national oder regional geltender Richtlinie kein Novum in der Abwasserwirtschaft darzustellen (vgl. beispielsweise die Mindestanforderung für P_{ges} im Bereich der Ostsee oder des Bodensee- sowie Neckareinzugsgebiets).

Ziel einer verantwortungsvollen und mit Weitsicht gestalteten Umweltpolitik muss es sein, Maßnahmen zur Schadstoffreduktion entsprechend dem jeweiligen Stand der Technik an allen Anfallstellen gleichwertig umzusetzen, um die Ressourcen Wasser, Luft und Boden vorbeugend und nachhaltig zu schützen. Auch zukünftig wird es trotz gesetzlicher Regelungen nicht zu verhindern sein, dass Schadstoffe von der Industrie und dem Gewerbe sowie aus dem häuslichen Bereich den Kläranlagen zugeführt werden. Daher ist, auch unter Berücksichti-

gung der zunehmend dichter werdenden Besiedelung in Teilen Deutschlands und der Tatsache, dass heute in den Gewässern Stoffe vorhanden sind, die es vor 70 oder 80 Jahren überhaupt nicht gegeben hat, die Frage zu stellen, wie viele weitere wissenschaftliche Erkenntnisse es abzuwarten gilt, um die Einführung der 4. Reinigungsstufe zu rechtfertigen. Sollte es vielmehr für die Verantwortungsträger in der Abwasserwirtschaft vor dem Hintergrund der wirtschaftlichen Lage in unserem Land nicht selbstverständlich sein, für ein vorsorgendes Handeln, ähnlich wie es in der Schweiz gesetzlich beschlossen wurde und umgesetzt wird, einzutreten und die in den vergangenen Jahren erlangten Erkenntnisse zur Erweiterung unserer Kläranlagen angesichts einer damit verbundenen moderaten Kostensteigerung umzusetzen? Nach unseren Erfahrungen unterstützt, wenn nicht sogar fordert die Bevölkerung ein solches Vorgehen.

Dr.-Ing. Steffen Metzger
(Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg)
Dipl.-Ing. Andreas Hein
(Stadtentwässerung Mannheim)
Dipl.-Ing. Gert Schwentner
(Zweckverband Kläranlage Böblingen-Sindelfingen)
Dipl.-Ing. Georg Hiller
(Zweckverband Klärwerk Steinhäule)
Prof. Dr.-Ing. Helmut Kapp
(Hochschule Biberach)

Kosten der Pulveraktivkohleanwendung zur Spurenstoffelimination am Beispiel ausgeführter und in Bau befindlicher Anlagen

Steffen Metzger, Imee O. Tjoeng, Annette Rößler (Stuttgart), Gert Schwentner (Sindelfingen) und Reinhold Rölle (Stuttgart)

Zusammenfassung

In Baden-Württemberg sind im Zuge der Spurenstoffdiskussion auf freiwilliger Basis mehrere Kläranlagen unterschiedlicher Größenordnung, die bereits eine Filteranlage besitzen, um eine Adsorptionsstufe erweitert worden. Weitere Anlagen befinden sich aktuell im Bau oder in der Planung. Die bisherigen Ergebnisse zur Spurenstoffelimination in diesen Anlagen bestätigen die Erkenntnisse halbtechnischer Untersuchungen. So zeigt sich beispielsweise, dass mit der Anwendung von 10 mg/L Pulveraktivkohle die Konzentration des Arzneimittelwirkstoffs Diclofenac in der Adsorptionsstufe dauerhaft zu mehr als 75 % verringert werden kann. Eine Auswertung der Herstellungs- und Betriebskosten der bereits realisierten bzw. sich in Bau befindlichen Anlagen auf Basis eines einheitlichen Maßstabs verdeutlicht, dass die Erweiterung der Kläranlagen um eine Adsorptionsstufe einen Anstieg der Abwassergebühr von 6 Cent bis 19 Cent pro Kubikmeter gebührenfähige Abwassermenge zur Folge hat. Bezogen auf einen Einwohner und Jahr resultieren daraus Mehrkosten für die Spurenstoffelimination zwischen 2 Euro und knapp 8 Euro.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Spurenstoff, Elimination, Pulveraktivkohle, Adsorption, Kosten

DOI: 10.3242/kae2014.11.007

Abstract

Costs of the Powdered Activated Carbon Application for the Elimination of Trace Elements using the Example of Implemented Plants and those under Construction

In Baden-Württemberg, as part of the trace element discussion, several wastewater treatment plants of various magnitudes, which already possess a filter facility, have been expanded on a voluntary basis with an adsorption stage. Several plants are currently under construction or are in the planning stage. The previous results of trace element elimination in these plants confirm the findings of semi-industrial investigations. Thus it appears, for example, that with the application of 10 mg/L powdered activated carbon the concentration of the pharmaceutical substance diclofenac in the adsorption stage can be permanently reduced by more than 75 %. An assessment of the manufacturing and operating costs of the already implemented plants respectively those under construction, on the basis of a uniform scale, illustrate that the expansion of the wastewater treatment plants by an adsorption stage have as a result an increase in the wastewater charge of 6 cents to 19 cents per cubic metre of chargeable wastewater. Related to one inhabitant and year there results an additional cost for the elimination of trace elements of between 2 Euros and just under 8 Euros.

Key words: wastewater treatment, municipal, trace element, elimination, powdered activated carbon, adsorption, costs

1 Einführung

Aufgrund der Entwicklung von immer feineren Messmethoden kann in den Gewässern zwischenzeitlich eine Vielzahl an anthropogen bedingten Substanzen nachgewiesen werden. Obwohl diese sogenannten „Spurenstoffe“ nur in sehr geringen Konzentrationen, das heißt im Nanogramm- bis Mikrogramm-Bereich, vorliegen, wurden in vereinzelten Untersuchungen dennoch negative Einflüsse auf die aquatische Umwelt festgestellt [1, 2].

Als ein Haupteintragspfad für Spurenstoffe in die Gewässer werden kommunale Kläranlagen angesehen: Diese sind aufgrund ihrer geschichtlichen Entwicklung primär für den Rückhalt von Feststoffen, den Abbau von organischen Stoffen sowie

die Elimination von Nährstoffen ausgelegt. Der überwiegende Anteil an gelösten Spurenstoffen wird jedoch mit den bisherigen Reinigungsverfahren einer Kläranlage, auch wenn sie dem Stand der Technik entspricht, nur unzureichend oder gar nicht eliminiert. Um diese Substanzen gezielt aus dem Abwasser entfernen zu können, bedarf es daher einer zusätzlichen Reinigungsstufe (sogenannte vierte Reinigungsstufe). Als technisch umsetzbar haben sich für diesen Anwendungsfall bislang Verfahren mit Einsatz von granulierter oder pulverförmiger Aktivkohle als auch die Ozonung erwiesen.

Zu den Kosten für den Bau und Betrieb der vierten Reinigungsstufe existiert mittlerweile eine Reihe von Studien. Die bisher veröffentlichten Kostenangaben zur Spurenstoffentfernung unterscheiden sich jedoch oftmals durch unterschiedliche Ermittlungsansätze, was einen Vergleich erschwert. Hinzu kommt, dass für die Kostenabschätzungen der Betriebsmittel oftmals kein kläranlagenspezifischer Nachweis vorliegt, um die Wirksamkeit der angenommenen Dosiermenge an Aktivkohle oder Ozon für eine umfangreiche Spurenstoffelimination tatsächlich zu verifizieren. So sind in der Literatur beispielsweise für die simultane Anwendung von Pulveraktivkohle (PAC) Kostenangaben zur verzeichnen, die auf Dosiermengen von 20 mg/L PAC bis hin zu 60 mg/L PAC beruhen [3–6]. Demzufolge ergeben sich deutliche Unterschiede bei den Aussagen zu den Kosten.

In Baden-Württemberg sind inzwischen auf freiwilliger Basis mehrere Kläranlagen unterschiedlicher Größenordnung, die bereits eine Filteranlage besitzen, um eine vierte Reinigungsstufe erweitert worden. Weitere Anlagen befinden sich aktuell im Bau oder in der Planung [7]. Von einigen dieser Anlagen, bei denen allesamt Pulveraktivkohle zur Anwendung kommt, liegen mittlerweile belastbare Zahlen für die Kosten der Spurenstoffelimination vor.

Mit der nachfolgenden Darstellung können, basierend auf ausgeführten bzw. in Bau befindlichen Anlagenstufen und unter Berücksichtigung eines vergleichbaren Maßstabs, die Kosten für die Anwendung von Pulveraktivkohle zur Spurenstoffelimination aufgezeigt werden.

2 Umsetzung der vierten Reinigungsstufe

2.1 Verfahrensprinzip

Bei allen im Nachfolgenden betrachteten Kläranlagen wird das in Abbildung 1 dargestellte Verfahrensprinzip der Anwendung von Pulveraktivkohle zur Spurenstoffentfernung angewandt.

Das wesentliche Merkmal dieser Verfahrenstechnik besteht in der Verfahrensweise zur Beladung der Aktivkohle. Diese zeichnet sich in erster Linie durch die Entkopplung der Aufenthaltszeit des Abwassers von der Aufenthaltszeit der Pulveraktivkohle im System aus. Des Weiteren wird die Pulveraktivkohle innerhalb des Abwasserreinigungsprozesses der Kläranlage entgegen der Fließrichtung des Abwassers zur Anwendung gebracht.

Hierzu wird die frische Pulveraktivkohle zunächst dem biologisch gereinigten Abwasser im Bereich des Kontaktreaktors der sogenannten Adsorptionsstufe zugegeben. Um die Kohle im anschließenden Sedimentationsbecken abtrennen zu können, müssen dem Abwasser zusätzlich Flockungsmittel (Fällmittel) zum Aufbau einer absetzbaren Flocke wie auch Polymere (= Flockungshilfsmittel) zudosiert werden. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte „Kohleschlamm“ wird zur besseren Ausnutzung der Aktivkohle wieder als „Rücklaufkohle“ in den Kontaktreaktor, der mit einem Feststoffgehalt von ca. 2,5 bis 4 g/L betrieben wird, kontinuierlich zurückgeführt. Während die Aufenthaltszeit des Abwassers im Kontaktreaktor für den Bemessungsfall oftmals weitaus weniger als eine Stunde beträgt, verbleibt die Pulveraktivkohle durch die ständige Kreislaufführung mehrere Tage im System der Adsorptionsstufe und wird aus diesem in Form der „Überschusskohle“ entnommen und im Sinne des Gegenstromprinzips in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Da dort ein höheres Konzentrationsniveau gegeben ist, kann eine weitere Beladung der Aktivkohle erfolgen.

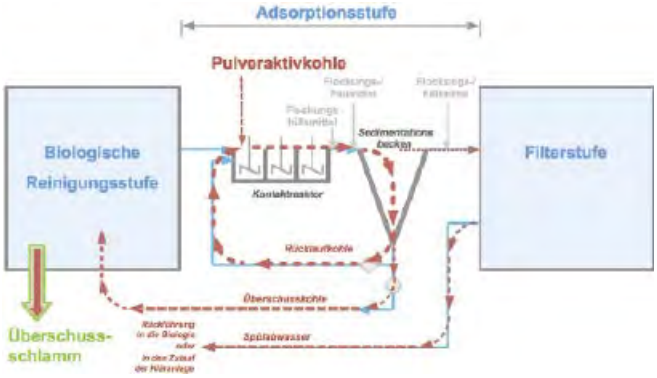


Abb. 1: Einbindung der Adsorptionsstufe in den Reinigungsprozess

Die unzureichende Abtrennung der Pulveraktivkohle durch Sedimentation erfordert es, dass nach der eigentlichen Verringerung von gelösten, organischen Substanzen als letzter Verfahrensschritt eine Filteranlage zur Sicherstellung eines nahezu feststofffreien Kläranlagenablaufs anzuordnen ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Feinstabtrennung durch einen konventionellen Sandfilter erfolgen kann [8]. Allerdings muss dieser für einen dauerhaften Rückhalt der Pulveraktivkohle als Flockungsfiltration betrieben werden [9–11]. Darüber hinaus konnte im halbtechnischen Maßstab festgestellt werden, dass sich ein Tuchfilter ebenfalls grundsätzlich zur Feinstabtrennung eignet [12]. Diese Alternative zum Sandfilter wird, im Anschluss an eine Adsorptionsstufe, erstmals in Baden-Württemberg auf der Kläranlage Lahr großtechnisch realisiert.

2.2 Realisierung in den betrachteten Kläranlagen

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Kenndaten der betrachteten Kläranlagen wie auch über die Realisierung der adsorptiven Verfahrenstechnik. In vier der sechs Anlagen wurde die Adsorptionsstufe als Teilstrombehandlung ausgelegt. Auswertungen haben gezeigt, dass mit dem jeweils gewählten Teilstrom rund 85 % der jährlich biologisch gereinigten Abwassermenge gezielt behandelt werden kann [13].

Die Bemessung der Kontaktreaktoren sowie der Sedimentationsbecken wurde von den Planern wegen fehlender einheitlicher Vorgaben nach unterschiedlichen Ansätzen und unter Berücksichtigung der vorhandenen Platzverhältnisse durchgeführt. So wurden für die Bemessung der Kontaktreaktoren minimale Aufenthaltszeiten zwischen 30 Minuten und knapp einer Stunde gewählt. Die Volumina der Sedimentationsbecken wurden für eine minimale Aufenthaltszeit von einer Stunde bis hin zu knapp drei Stunden ausgelegt. Daraus resultieren, bezogen auf den maximal zu behandelnden Volumenstrom, unterschiedliche Beckengrößen und somit auch spezifische Investitionskosten.

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						
$Q_{max,\ Ads\text{-}stufe}$	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
Kontaktreaktor						
- Volumen	552 m³	852 m³	1.030 m³	3.750 m³	1.800 m³	740 m³ | 3.700 m³
- minimale Aufenthaltszeit	35 min	57 min	49 min	57 min	30 min	39 min
Sedimenationsbecken						
- Volumen	2.540 m³	924 m³	3.550 m³	8.500 m³	7.200 m³	2.350 m³ | 11.750 m³
- minimale Aufenthaltszeit	2,6 h	1,0 h	2,8 h	2,1 h	2,0 h	2,2 h
- maximale Oberflächenbeschickung	1,6 m/h	0,82 m/h **	1,4 m/h	1,9 m/h	2,0 m/h	1,1 m/h
Filteranlage						
bereits vor Bau der Ads.-stufe vorhanden	ja	ja	nein	ja	ja	ja
Art des Filters	Zweischichtfilter	Zweischichtfilter	Tuchfilter	Zweischichtfilter	Zweischichtfilter	Zweischichtfilter

* ermittelt über die mittlere CSB-Fracht der Jahre 2010 bis 2012

** Die angegebene Oberflächenbeschickung von 0,82 m/h bezieht sich auf die durch den Einbau von Lamellenabscheidern erzielte "wirksame" Oberfläche.

Tabelle 1: Kenndaten der betrachteten Kläranlagen

Auf der Kläranlage Stockacher Aach wurden zum Beispiel wegen der beengten Platzverhältnisse hydraulisch hochbelastete Sedimentationsbecken mit Lamellenabscheidern realisiert. Andererseits werden in der Kläranlage Mannheim nicht mehr benötigte Regenüberlaufbecken zur Adsorptionsstufe umgebaut, weshalb dort, im Vergleich zu den anderen Kläranlagen, die Einrichtung der vierten Reinigungsstufe nur sehr geringe spezifische Investitionskosten erfordert. Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass die Integration einer Adsorptionsstufe in eine bestehende Anlagenkonfiguration eine individuelle Aufgabenstellung ist. Die in Kapitel 4 dargestellten Ausführungen zu den Kosten erheben daher nicht den Anspruch einer allgemeingültigen Aussage, sondern spiegeln den Kostenrahmen wider, der bei realisierten Anlagen bzw. in der fortgeschrittenen Realisierung befindlicher Anlagen aufgetreten ist.

3 Reinigungsleistung

3.1 Beurteilungsmaßstab

Die Reinigungsleistung durch die angewandte adsorptive Verfahrenstechnik beinhaltet sowohl die Entnahme in der nachgeschalteten Adsorptionsstufe als auch die Entnahme in der biologischen Stufe aufgrund der zurückgeführten „Überschusskohle“. Die nachfolgend dargestellten Reinigungsleistungen berücksichtigen allerdings nur die Entnahmen in den jeweiligen Adsorptionsstufen, da der zusätzliche Reinigungseffekt durch die Rückführung der „Überschusskohle“ in die biologische Stufe aufgrund einer fehlenden Vergleichsstraße nicht näher beziffert werden kann. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Daten der Kläranlage Lahr um Ergebnisse aus halbtechnischen Untersuchungen handelt. Für die Kläranlage Langwiese (Ravensburg) liegen bislang keine vergleichbaren Daten zur Reinigungsleistung vor, da man sich dort noch in der Einfahrphase befindet.

Die Bilanzierung erfolgt anhand von 24-h-Mischproben, die im Zu- und Ablauf der Adsorptionsstufe mengenproportional gezogen wurden. Vor der Analyse wurden sämtliche Proben

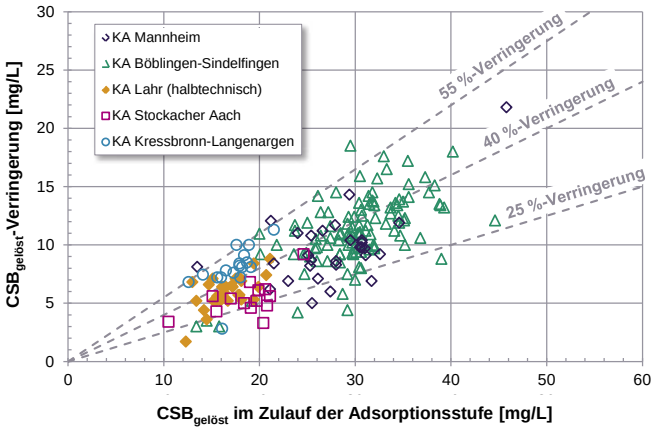


Abb. 2: $CSB_{gelöst}$-Verringerung in der Adsorptionsstufe bei einer Pulveraktivkohledosierung von 10 mg/L

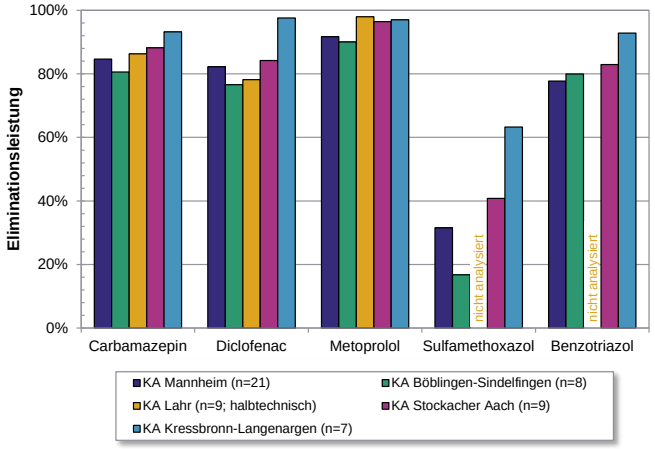


Abb. 3: Entnahme ausgewählter Spurenstoffe in der Adsorptionsstufe bei einer Pulveraktivkohledosierung von 10 mg/L

membranfiltriert (Porengröße 0,45 μm), da die Anwendung von Pulveraktivkohle ausschließlich auf eine Verbesserung der gelösten Abwasserfraktion abzielt. Zudem ist ein Vergleich zwischen den Leistungen verschiedener Adsorptionsstufen nur auf Basis der gelösten Phase möglich.

3.2 Verringerung der gelösten Restorganik

Aus Abbildung 2 geht hervor, dass bereits durch den Einsatz von rund 10 mg/L PAC die gelöste Restorganik in der Adsorptionsstufe signifikant verringert wird. Mit derselben Pulveraktivkohledosiermenge wird dabei je betrachteter Kläranlage mit zunehmendem $CSB_{gelöst}$ im Zulauf zur Adsorptionsstufe absolut eine höhere Verringerung der gelösten Restorganik erzielt. Die jeweilige prozentuale Verringerung bleibt indes allerdings gleich.

Trotz derselben eingesetzten Adsorbensdosiermengen zeigen sich jedoch kläranlagenspezifische Unterschiede im Hinblick auf die erzielten Verringerungen an gelöster Restorganik. Bei einem $CSB_{gelöst}$-Eingangswert von 20 mg/L beträgt beispielsweise die Verringerung für die Kläranlage Stockacher Aach rund 5 mg/L bzw. 25 %, wohingegen für die Kläranlage Kressbronn-Langenargen eine rund doppelt so hohe Verringerung festgestellt werden kann.

3.3 Entnahme von Spurenstoffen

Die mittleren Eliminationsraten für ausgewählte Spurenstoffe in den Adsorptionsstufen sind in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Konzentrationen von adsorptiv sehr gut entfernbaren Substanzen, wie beispielsweise Metoprolol oder Carbamazepin, mit den eingesetzten Dosiermengen von 10 mg/L PAC auf allen Kläranlagen bereits zu über 80 % vermindert werden. Ähnlich hohe Entfernungsraten ergeben sich für Benzotriazol sowie Diclofenac. Sulfamethoxazol hingegen wird bei derselben Adsorbensdosiermenge in einem weitaus geringeren Umfang entnommen. Je nach Kläranlage liegt die mittlere Eliminationsleistung für dieses Antibiotikum bei rund 15 bis 65 %.

Aus Untersuchungen auf der Kläranlage Mannheim ist inzwischen bekannt, dass vorrangig Substanzen, die als gut adsorbierbar einzustufen sind, bereits durch die Rückführung der „Überschusskohle“ in die biologische Reinigungsstufe in einem gewissen Umfang aus dem Abwasser entfernt werden, sodass

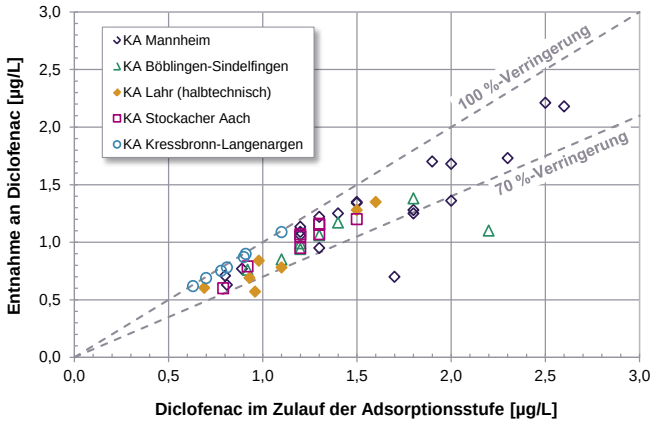


Abb. 4: Entnahme des Arzneimittelwirkstoffs Diclofenac in Abhängigkeit von der jeweiligen Zulaufkonzentration der einzelnen Adsorptionsstufen bei einer Pulveraktivkohledosierung von 10 mg/L

die Gesamtentnahme für derartige Stoffe somit noch etwas größer ist als in Abbildung 3 gezeigt.

Aus den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagen geht zudem hervor, dass mit einer gleichbleibenden Pulveraktivkohledosiermenge mit zunehmender Konzentration einer Substanz im Zulauf zur Adsorptionsstufe eine absolut höhere Entnahme vorliegt [14]. Abbildung 4 zeigt dies beispielhaft für den Arzneimittelwirkstoff Diclofenac.

4 Kosten

4.1 Hinweise zur Kostenbetrachtung

In der nachfolgenden Kostenbetrachtung werden nur die Kosten für die Adsorptionsstufe in Ansatz gebracht. Die Kosten für eine der Adsorptionsstufe nachzuschaltende Filteranlage werden nicht mit einbezogen, da, mit Ausnahme der Kläranlage Lahr, wo aktuell eine Tuchfilteranlage erstellt wird, bei allen anderen Kläranlagen bereits seit mehreren Jahren ein Zweischichtfilter in Betrieb ist.

Als Bezugsgröße für die Ermittlung der zusätzlichen spezifischen Kosten wird die jeweilige gebührenfähige Abwassermenge herangezogen.

Gliederung der Kosten	Kurz-zeichen	Dim	Adsorptionsstufe der Kläranlage					
			Kressbronn-Langenargen	Stockacher Aach	Lahr*	Langwiese**	Böblingen-Sindelfingen	Mannheim***
Anlagenkapazität Adsorptionsstufe	$Q_{max.,Ads.}$	L/s	252	250	350	1.100	1.000	1.500
gebührenfähige Abwassermenge	**GebQ**	**m³/a**	**900.000**	**1.500.000**	**2.600.000**	**5.200.000**	**7.000.000**	**21.000.000**
Bauwerk	BW	€	1.730.000	2.175.000	2.580.000	6.776.000	3.320.000	1.323.778
technische Ausrüstung	TA	€	1.290.000	1.185.000	3.050.000	3.197.000	980.000	5.447.222
Summe Herstellungskosten	HK	€	3.020.000	3.360.000	5.630.000	9.973.000	4.300.000	6.771.000
Abschreibung [$BW/NZ_B + TA/NZ_{TA}$]	**AfA**	**€/a**	**129.250**	**133.375**	**267.833**	**382.533**	**148.333**	**396.243**
durchschnittlicher gewichteter AfA-Satz	AfA	%	4,28	3,97	4,76	3,84	3,45	5,85
Zinsen [(HK/2)]* 4%	**KaZi**	**€/a**	**60.400**	**67.200**	**112.600**	**199.460**	**86.000**	**135.420**
Kapitalkosten (ohne Zuwendungen)	**KKoZu**	**€/a**	**189.650**	**200.575**	**380.433**	**581.993**	**234.333**	**531.663**
spez. Kapitalkosten (Bezug auf GebQ)		***€/m³***	***0,211***	***0,134***	***0,146***	***0,112***	***0,033***	***0,025***
Zuwendungen	Zu	€	1.730.000	2.016.000	2.160.000	4.851.000	2.100.000	1.354.200
Förderquote		%	57	60	38	49	49	20
Auflösung der Zuwendungen Mittelwert über 40 /15 Jahre	**AlZu**	**€/a**	**./. 74.044**	**./. 80.035**	**./. 102.816**	**./. 186.278**	**./. 72.450**	**./. 79.221**
Zinseinsparung durch Zuwendung	**KaZi**	**€/a**	**./. 34.600**	**./. 40.320**	**./. 43.200**	**./. 97.020**	**./. 42.000**	**./. 27.084**
Kapitalkosten (mit Zuwendungen)	**KKmZu**	**€/a**	**81.006**	**80.220**	**234.417**	**298.695**	**119.883**	**425.358**
spez. Kapitalkosten (Bezug auf GebQ)		***€/m³***	***0,090***	***0,053***	***0,090***	***0,057***	***0,017***	***0,020***

* Kostenanschlag: ohne Investitionskosten der Tuchfiltration und ohne Kosten für die Erneuerung der Fällmitteldosierstation und Brauchw asserversorgung

** Kostenanschlag, da in Ausführung bzw . in der Phase der Inbetriebnahme

*** Kostenberechnung

Tabelle 2: Kapitalkosten

4.2 Kapitalkosten

Für die bereits vor mehreren Jahren in Betrieb gegangenen Adsorptionsstufen in den Kläranlagen Kressbronn-Langenargen, Stockacher Aach und Böblingen-Sindelfingen liegen die Kostenfeststellungen vor. Die Adsorptionsstufen der Kläranlagen Langwiese und Lahr befinden sich aktuell in der Phase der Inbetriebnahme bzw. noch im Bau, sodass hier der Kostenanschlag angesetzt wurde. Für den Ausbau der Kläranlage Mannheim wird auf die Kostenberechnung zurückgegriffen. Bei allen angegebenen Kosten handelt es sich um Bruttokosten.

Die Kapitalkosten setzen sich aus den Aufwendungen für Abschreibung und Zinsen sowie den Auflösungen der erhaltenen Zuwendungen (Förderungen) zusammen. Maßgeblich für die Höhe der Abschreibungen sind die jeweiligen Herstellungskosten und Abschreibungsdauern. Zur Vergleichbarkeit wurden für alle Anlagen die Abschreibungsdauern entsprechend der erwarteten Nutzungsdauer für die Bauwerke auf 40 Jahre und für die Maschinentechnik auf 15 Jahre festgelegt. Die Abschreibung der Herstellungskosten erfolgt linear, das heißt über die gesamte Abschreibungsdauer mit jeweils gleichen Jahreskosten.

Die Zinsaufwendungen, die sich aus den aufgenommenen Krediten ergeben, wurden gemäß dem Kommunalabgabengesetz nach der Durchschnittsmethode berechnet, bei welcher die Hälfte des Kreditbetrags mit dem gewählten Zinssatz beaufschlagt wird. Der Zinssatz wurde einheitlich mit 4 % angesetzt.

Für die Realisierung der Adsorptionsstufen werden in allen Fällen Fördermittel gewährt. In Bezug auf die Herstellungskosten betragen die Förderquoten zwischen 20 und 60 %. Die gewährten Fördermittel bewirken eine Verminderung der Kapitalkosten. Diese setzt sich aus der Auflösung der

Fördermittel, berechnet mit dem durchschnittlichen AfA-Satz, und den Zinseinsparungen infolge der geringeren Kreditaufnahme zusammen. Letztere wurden analog den Zinsaufwendungen berechnet, sodass die Hälfte des Zuwendungsbetrags mit dem gewählten Zinssatz beaufschlagt und in Abzug gebracht wurde.

Ohne die gewährten Zuwendungen beträgt die aus den Kapitalkosten resultierende Erhöhung der Abwassergebühr für die Adsorptionsstufe zwischen 3 Cent/m³ (Mannheim) und 21 Cent/m³ (Kressbronn-Langenargen) (Tabelle 2). Die großen Unterschiede sind auf die individuellen Randbedingungen in Bezug auf die Anlagengröße, die vor Ort erforderlichen Baulichkeiten bzw. die Nutzung vorhandener Anlagenteile und die jeweiligen Baugrundverhältnisse zurückzuführen.

Die in unterschiedlicher Höhe gewährten Zuwendungen bzw. Förderquoten führen zu einer Verminderung der auf die Abwassergebühren umzulegenden Kapitalkosten. Die Bandbreite der aus den Kapitalkosten resultierenden Abwassergebühr beträgt zwischen 2 und 9 Cent/m³.

Da mit dem Betrieb einer Adsorptionsstufe die Reinigungsleistung beim CSB in der Regel um mehr als 20 % verbessert wird, ist eine Verrechnung der anfallenden Herstellungskosten mit der Abwasserabgabe grundsätzlich möglich. Hierdurch können sich erhebliche Einsparungen ergeben. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde dies in der hier dargestellten Betrachtung jedoch nicht berücksichtigt, da in einigen Fällen andere Maßnahmen zur Verrechnung herangezogen wurden.

4.3 Betriebskosten

Die Betriebskosten der Adsorptionsstufen setzen sich aus verschiedenen Kostenarten zusammen, auf die im Folgenden einzeln eingegangen wird.

Zu den Betriebsmitteln zählen die Pulveraktivkohle sowie die Flockungshilfsmittel (Polymere) und die Flockungsmittel (Fällmittel), die zur Ausbildung einer gut absetzbaren bzw. abtrennbaren Flocke vor dem Sedimentationsbecken und vor dem Filter dosiert werden. Die Kosten für die Flockungsmittel (Fällmittel) im Zulauf des Sedimentationsbeckens wurden in der Kostenbetrachtung nicht angesetzt, da eine entsprechende Verminderung der Fällmittelmenge für die vorgelagerte Simultanfällung, ohne Einbußen in der Phosphorelimination hinnehmen zu müssen, möglich ist. Lediglich die Einsatzmengen vor der Filtration wurden kostenmäßig berücksichtigt. Aus Vergleichsgründen wurden bei allen Anlagen für die Ermittlung der Betriebsmittelkosten jeweils dieselben spezifischen Preise (Bruttopreise) und spezifischen Verbrauchsmengen angesetzt. Durch die mengenproportionale Dosierung wird der Vollstrom- wie Teilstrombehandlung ebenso Rechnung getragen wie dem individuellen Fremdwasser- und Niederschlagswasseranteil. Die spezifischen Betriebsmittelkosten werden durch die Beschaffungskosten der Aktivkohle dominiert und betragen zwischen 2,4 und 6,3 Cent je Kubikmeter gebührenfähiger Abwassermenge.

Nach den bisherigen Erfahrungen sind für den Betrieb der Adsorptionsstufen und zur Unterhaltung der Einrichtungen je nach Anlagengröße zwischen 0,5 bis 1,0 Stellenanteile erforderlich. Die Jahreskosten für eine Stelle wurden einheitlich mit 50 000 Euro veranschlagt. Auf die gebührenfähige Abwassermenge bezogen, liegen die Personalkosten unter 3 Cent/m³, bei den größeren Anlagen sogar deutlich darunter.

Die Angaben zum Stromverbrauch der Adsorptionsstufen beruhen bei den im Bau befindlichen Anlagen auf den Hochrechnungen aus der Planung und, soweit die Anlagen bereits in Betrieb sind, auf den tatsächlich gemessenen Verbräuchen. Dabei zeigt sich, dass die spezifischen Stromverbräuche der Adsorptionsstufen in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse (zum Beispiel hydraulische Verluste, Fremdwasseranfall) zwischen 1,3 und 3,1 kWh/(EW $\times$ a) betragen. Zur Berechnung der Stromkosten wurde für alle Anlagen ein mittlerer Strompreis von 0,20 €/kWh angesetzt, der den Arbeitspreis und Leistungspreis sowie alle Zuschläge enthält. Auf die gebührenfähige Abwassermenge bezogen resultieren daraus Stromkosten zwischen 0,6 und 2,3 Cent/m³.

Der in der Adsorptionsstufe entstehende Schlamm wird bei allen Anlagen der vorgeschalteten biologischen Stufe zugeführt. Aufgrund der geringen Menge ist der Anstieg des zu entsorgenden Schlamms in der Praxis messtechnisch nur schwer erfassbar. Deshalb wird der zusätzliche Schlammanfall auf der Basis der dosierten Aktivkohle berechnet. Überschlägig wird angenommen, dass sich durch die Adsorption von ehemals gelösten Abwasserinhaltsstoffen die Masse der dosierten Aktivkohle verdoppelt. Die bislang gesammelten Betriebserfahrungen zeigen keine signifikante Verbesserung der Entwässerungseigenschaften des zu entsorgenden Schlamms [15]. Der Preis für die Entsorgung wurde mit 240 € je Mg Trockenrückstand angesetzt. Dies entspricht einem Entsorgungspreis von 80 € je Mg entwässertem Klärschlamm mit einem Trockenrückstand von rund 33 %. Die Mehrkosten der Schlammentsorgung liegen demzufolge bei rund 1 Cent pro Kubikmeter gebührenfähiger Abwassermenge.

Zur Überwachung der Spurenstoffelimination sind in regelmäßigen Abständen an den Stellen „Zulauf Kläranlage“, „Zulauf Adsorptionsstufe“ und „Kläranlagenablauf“ Proben zu ziehen und das Abwasser auf relevante Leitparameter zur Beurteilung der Adsorption (fünf Arzneimittelwirkstoffe, fünf Röntgenkontrastmittel sowie Benzotriazol) analysieren zu lassen. Es wird empfohlen, mindestens sechs Messkampagnen pro Jahr durchzuführen, bei größeren Anlagen ($>$ 100 000 EW) sollte eine Beprobung pro Kohleanlieferung vorgenommen werden, jedoch maximal einmal pro Monat. Die Analysekosten betragen ca. 1000 Euro für eine Messkampagne. Auf die gebührenfähige Abwassermenge bezogen, sind diese Betriebskosten von untergeordneter Bedeutung.

Da die Adsorptionsstufen auf den Anlagen erst seit wenigen Jahren in Betrieb sind, können derzeit die erforderlichen Instandhaltungskosten nur grob abgeschätzt werden. Die bislang gesammelten Betriebserfahrungen zeigen jedoch keine ungewöhnlichen Verschleiß- oder Korrosionserscheinungen. Die jährlichen Instandhaltungskosten werden deshalb pauschal mit 0,5 % der Herstellungskosten angesetzt und liegen zwischen 0,2 und 1,7 Cent/m³.

Die Anwendung der Aktivkohle führt neben einer weitgehenden Spurenstoffentnahme auch zu einer Verminderung des CSB im Ablauf. Durch die Zugabe der Flockungs- bzw. Fällmittel in der Adsorptionsstufe erfolgt zudem eine weitere Verringerung des P_{ges} im Ablauf. Diese Reduzierung der eingeleiteten Schadstofffrachten aufgrund der Verbesserung der Reinigungsleistung nutzen die Betreiber je nach Ausgangslage in unterschiedlichem Umfang bei der Erklärung der Abwasserabgabe. Bei günstigen Randbedingungen kann dies sogar zu einer Unterschreitung der Schwellenwerte (CSB $<$ 20 mg/L, $P_{ges} < 0{,}1$

Betriebskosten	Kurz-zeichen	Dim	Adsorptionsstufe der Kläranlage					
			Kressbronn-Langenargen	Stockacher Aach	Lahr	Langwiese	Böblingen-Sindelfingen	Mannheim
Anlagenkapazität	$Q_{max.,Ads.}$	L/s	252	250	350	1.100	1.000	1.500
behandelte Abwassermenge Kläranlage	$BehQ_{KA}$	m³/a	2.300.000	5.700.000	6.100.000	16.000.000	14.500.000	30.000.000
behandelte Abwassermenge Adsorptionsstufe	$BehQ_{PAC}$	m³/a	2.300.000	4.800.000	5.185.000	16.000.000	12.200.000	25.500.000
gebührenfähige Abwassermenge	GebQ	m³/a	900.000	1.500.000	2.600.000	5.200.000	7.000.000	21.000.000
Aktivkohleverbrauch (Dosierung 10 g/m³)		Mg/a	23	48	52	160	122	255
Aktivkohlekosten (1.785 €/Mg)		€/a	41.055	85.680	92.552	285.600	217.770	455.175
Flockungs-/Fällmittel vor Filter (0,5 g Fe/m³)		Mg/a	9	20	21	65	50	104
Fällmittelkosten (160 €/Mg)		€/a	1.496	3.122	3.372	10.407	7.935	16.585
Flockungshilfsmittel (0,3 g Wirksubstanz/m³)		Mg/a	0,7	1,4	1,6	4,8	3,7	7,7
Flockungshilfsmittel-/Polymerkosten (4.000 €/Mg)		€/a	2.760	5.760	6.222	19.200	14.640	30.600
Summe Betriebsmittelkosten	**BMK**	**€/a**	**45.311**	**94.562**	**102.147**	**315.207**	**240.345**	**502.360**
spez. Betriebsmittelkosten (Bezug auf GebQ)		**€/m³**	**0,050**	**0,063**	**0,039**	**0,061**	**0,034**	**0,024**
Stellenanteile (für eine Stelle 50.000 €/a)			0,50	0,50	1,00	0,65	0,65	1,00
Personalkosten	**PK**	**€/a**	**25.000**	**25.000**	**50.000**	**32.500**	**32.500**	**50.000**
spez. Personalkosten (Bezug auf GebQ)		**€/m³**	**0,028**	**0,017**	**0,019**	**0,006**	**0,005**	**0,002**
Stromverbrauch		kWh/a	102.000	133.000	227.000	260.000	206.000	1.000.000
Stromkosten (0,20 €/kWh)	**SK**	**€/a**	**20.400**	**26.600**	**45.400**	**52.000**	**41.200**	**200.000**
spez. Stromkosten (Bezug auf GebQ)		**€/m³**	**0,023**	**0,018**	**0,017**	**0,010**	**0,006**	**0,010**
zusätzlicher Schlammanfall		Mg/a	46	96	104	320	244	510
Entsorgungskosten (240 €/Mg TR)	**EnK**	**€/a**	**11.040**	**23.040**	**24.888**	**76.800**	**58.560**	**122.400**
spez. Entsorgungskosten (Bezug auf GebQ)		**€/m³**	**0,012**	**0,015**	**0,010**	**0,015**	**0,008**	**0,006**
Spurenstoffanalysen		Anzahl	6	6	6	12	12	12
Analysekosten (1.000 €/Messkampagne)	**AK**	**€/a**	**6.000**	**6.000**	**6.000**	**12.000**	**12.000**	**12.000**
spez. Analysekosten (Bezug auf GebQ)		**€/m³**	**0,007**	**0,004**	**0,002**	**0,002**	**0,002**	**0,001**
Herstellungskosten	HK	€	3.020.000	3.360.000	5.630.000	9.973.000	4.300.000	6.771.000
Instandhaltungskosten (0,5% der HK)	**IK**	**€/a**	**15.100**	**16.800**	**28.150**	**49.865**	**21.500**	**33.855**
spez. Instandhaltungskosten (Bezug auf GebQ)		**€/m³**	**0,017**	**0,011**	**0,011**	**0,010**	**0,003**	**0,002**
Jahresschmutzwassermenge nach Abwasserabgabe		m³/a	1.520.000	3.450.000	3.800.000	9.750.000	8.900.000	21.220.000
Abwasserabgabe	**Abwa**	**€/a**	**./. 29.000**	**./. 55.000**	**./. 115.000**	**./. 36.500**	**./. 28.000**	**./. 153.000**
spez. Abwasserabgabe (Bezug auf GebQ)		**€/m³**	**0,032**	**0,037**	**0,044**	**0,007**	**0,004**	**0,007**
Summe Betriebskosten	**BK**	**€/a**	**93.851**	**137.002**	**141.585**	**501.872**	**378.105**	**767.615**
spez. Betriebskosten (Bezug auf GebQ)		***€/m³***	***0,104***	***0,091***	***0,054***	***0,097***	***0,054***	***0,037***

Tabelle 3: Betriebskosten bei den Anlagenstufen zur Spurenstoffelimination

mg/L) führen und damit zu einer Befreiung der auf die Parameter CSB und Phosphor entfallenden Abwasserabgabe. Aus den individuellen Angaben der Kläranlagenbetreiber resultieren Gebührenminderungen zwischen 0,4 und 4,4 Cent/m³.

Bei sämtlichen Kostenarten der Betriebskosten schneiden, wie die Tabelle 3 zeigt, größere Kläranlagen günstiger ab als kleinere Kläranlagen. In der Summe bewegen sich die spezifischen Betriebskosten in einer Spanne zwischen 4 und 10 Cent/m³.

4.4 Gesamtkosten

Insgesamt führt die Erweiterung um eine Adsorptionsstufe bei den betrachteten Anlagen zu einem Anstieg der Abwassergebühr in Höhe von 6 bis zu 19 Cent/m³ (Tabelle 4). Bezogen auf die derzeitigen Abwassergebühren (umgerechnet auf den einheitlichen Gebührenmaßstab) zwischen 1,80 und 2,68 €/m³, ergeben sich daraus für eine verbesserte Abwasserreinigung Gebührenerhöhungen von 3 bis 7 %.

Der durch die Adsorptionsstufe verursachte Gebührenanstieg fällt bei den betrachteten Anlagen mit zunehmender Anlagengröße deutlich ab (Abbildung 5).

Den größten Anteil an den Betriebskosten haben die Betriebsmittelkosten (Abbildung 6), die wiederum durch die Beschaffungskosten der Aktivkohle geprägt sind. Deshalb ist ein besonderes Augenmerk auf einen ordnungsgemäßen Betrieb der Dosieranlagen und auf die tatsächlich erforderlichen Dosiermengen zu legen.

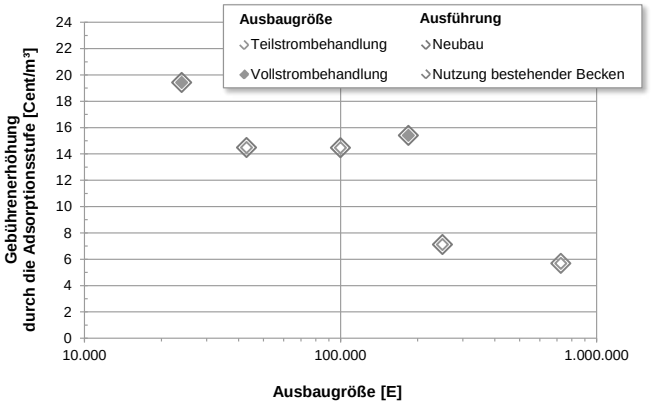


Abb. 5: Erhöhung der Abwassergebühr in Abhängigkeit von der Ausbaugröße (bezogen auf die gebührenfähige Abwassermenge)

5 Diskussion und Fazit

Von der Bevölkerung werden die Risiken aus der Einleitung von Spurenstoffen in die Gewässer vermehrt mit einem spürbaren Unbehagen wahrgenommen. Deshalb ist die Akzeptanz

Gliederung der Kosten	Kurz-zeichen	Dim	Adsorptionsstufe der Kläranlage					
			Kressbronn-Langenargen	Stockacher Aach	Lahr	Langwiese	Böblingen-Sindelfingen	Mannheim
gebührenfähige Abwassermenge	**GebQ**	m³/a	900.000	1.500.000	2.600.000	5.200.000	7.000.000	21.000.000
Kapitalkosten (ohne Zuwendungen)	**KK**	**€/a**	**189.650**	**200.575**	**380.433**	**581.993**	**234.333**	**531.663**
spez. Kapitalkosten (Bezug auf GebQ)		*€/m³*	*0,21*	*0,13*	*0,15*	*0,11*	*0,03*	*0,03*
Kapitalkosten (mit Zuwendungen)	**KKmZu**	€/a	**81.006**	**80.220**	**234.417**	**298.695**	**119.883**	**425.358**
spez. Kapitalkosten (Bezug auf GebQ)		*€/m³*	*0,09*	*0,05*	*0,09*	*0,06*	*0,02*	*0,02*
Betriebskosten	**BK**	€/a	93.851	137.002	141.585	501.872	378.105	767.615
spez. Betriebskosten (Bezug auf GebQ)		*€/m³*	*0,10*	*0,09*	*0,05*	*0,10*	*0,05*	*0,04*
Jahreskosten (ohne Zuwendungen)	**JK**	**€/a**	**283.501**	**337.577**	**522.018**	**1.083.865**	**612.438**	**1.299.278**
spez. Gesamtkosten *(Bezug auf GebQ)*		***€/m³***	***0,32***	***0,23***	***0,20***	***0,21***	***0,09***	***0,06***
spez. Gesamtkosten *(Bezug auf Einwohner)*		**€/(E*a)**	**12,60**	**9,00**	**8,03**	**8,34**	**3,50**	**2,47**
Jahreskosten (mit Zuwendungen)	**JK**	**€/a**	**174.857**	**217.222**	**376.002**	**800.566**	**497.988**	**1.192.973**
spez. Gesamtkosten *(Bezug auf GebQ)*		***€/m³***	***0,19***	***0,14***	***0,14***	***0,15***	***0,07***	***0,06***
spez. Gesamtkosten *(Bezug auf Einwohner)*		**€/(E*a)**	**7,77**	**5,79**	**5,78**	**6,16**	**2,85**	**2,27**

Tabelle 4: Gesamtkosten und Gebührenänderung

für weitergehende Maßnahmen auf den Kläranlagen sehr hoch, zumal die damit einhergehenden Gebührenerhöhungen mit 3 bis 7 % vergleichsweise moderat ausfallen.

Der mehr als zweijährige Betrieb der Adsorptionsstufen in den Kläranlagen Kressbronn-Langenargen, Stockacher Aach, Böblingen-Sindelfingen und Mannheim sowie der Einfahrbetrieb der Kläranlage Langwiese hat gezeigt, dass die angesetzten Bemessungsgrößen und Dosiermengen einen sicheren Betrieb und eine weitgehende Spurenstoffentfernung ermöglichen. So kann bereits mit einer Pulveraktivkohledosiermenge von 10 g/m³ eine Vielzahl von Stoffen in einem hohen Umfang aus dem Abwasser entfernt werden. Zudem zeigt sich, dass die Stoffe, unabhängig von deren Konzentration im Zulauf zur Adsorptionsstufe, immer in gleichem prozentualen Umfang aus dem Abwasser eliminiert werden. Des Weiteren werden auf den betrachteten Kläranlagen, trotz der verschieden gewählten Bemessungsansätze und der sich daraus ergebenden unterschiedlichen Aufenthaltszeiten sowohl in den Kontaktreaktoren als auch in den Sedimentationsbecken, unter Anwendung der gleichen Pulveraktivkohlemenge, ähnliche Spurenstoffentnahmeraten erzielt. Der Einsatz der Pulveraktivkohle bewirkt zudem eine erhebliche Verminderung der in die Gewässer eingeleiteten Restorganik. Je nach Abwasserzusammensetzung ist eine Halbierung der eingeleiteten Fracht möglich.

Die Herstellungskosten der betrachteten Adsorptionsstufen betragen je nach Anlagengröße und vorhandenen Randbedingungen zwischen 3 und 10 Millionen Euro. Unter Berücksichtigung der in unterschiedlicher Höhe gewährten Zuschüsse resultieren daraus Gebührenerhöhungen zwischen 2 und 9 Cent/m³ gebührenfähiger Abwassermenge. Die Betriebskosten der Adsorptionsstufen betragen zwischen 4 und 10 Cent/m³. Die spezifischen Gesamtkosten betragen demzufolge zwischen 6 und 18 Cent/m³ und können so mit einem entsprechenden Gebührenanstieg einhergehen. Die spezifischen Kosten nehmen dabei mit zunehmender Anlagengröße ab.

Unter Zugrundelegung eines durchschnittlichen gebührenpflichtigen Abwasseranfalls von rund 40 m³ je Einwohner betragen die jährlichen Mehrkosten für einen Einwohner somit zwischen 2,40 und 7,40 Euro. Ohne die tatsächlich gewährten

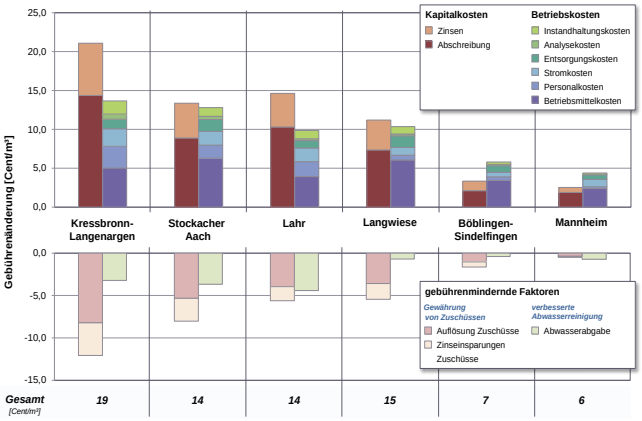


Abb. 6: Zusammensetzung der Gesamtkosten und Gebührenänderung in den jeweiligen Kläranlagen

Zuschüsse wäre der auf einen Einwohner entfallende Gebührenanstieg zwischen 0,20 € und 4,80 € höher ausgefallen.

Soweit jedoch noch günstigere Randbedingungen vorliegen (zum Beispiel höhere Zuschussquote, optimale Verrechnung mit der Abwasserabgabe, Unterschreitung der Schwellenwerte) sind im Einzelfall auch noch geringere Gebührenanstiege bis hin zu einer vollständigen Kompensation möglich.

Laut einer bundesweiten Erhebung der DWA [16] lagen im Jahr 2013 die mittleren jährlichen Gesamtkosten der Abwasserbeseitigung bei 143 Euro je Einwohner. Die ermittelte Kostenspanne der realisierten Adsorptionsstufen zeigt deutlich, dass die damit verbundene zusätzliche finanzielle Belastung für einen Einwohner, selbst ohne die Berücksichtigung von Zuschüssen, vergleichsweise gering ist. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass nach derzeitigem Kenntnisstand der Betrieb einer Adsorptionsstufe gleichzeitig die Nachschaltung einer Filterstufe erfordert. Sofern diese noch nicht vorhanden sein sollte, ergäben sich tatsächlich höhere Kosten als hier dargestellt. Beispielsweise hat der im Jahr 2007 auf der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen in Betrieb genommene Flockungsfilter zu einer Gebührenerhöhung von rund 10 Cent/m³ bzw. von jährlich rund 4 Euro je Einwohner geführt. In Böblingen-Sindelfingen beträgt die Mehrbelastung eines Einwohners bei der Abwasser-

beseitigung durch eine Adsorptionsstufe und einen Flockungsfilter weniger als 10 %.

Dank

Die Autoren danken dem Betriebspersonal der Kläranlagen Kressbronn-Langenargen, Stockacher Aach, Lahr, Langwiese, Böblingen-Sindelfingen und Mannheim für die Bereitstellung der notwendigen Angaben zur Erstellung des Kostenvergleichs. Zugleich gilt der Dank dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, das mit der finanziellen Förderung zur Einrichtung des Kompetenzzentrums Spurenstoffe Baden-Württemberg die Zusammenführung von Erfahrungen und Erkenntnissen rund um die vierte Reinigungsstufe in Baden-Württemberg ermöglicht.

Literatur

[1] Triebskorn, R.: *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, 2012

[2] Knörzer, B., Pfluger, P., Wasserrab, B., Dietrich, D. R.: *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, 2000

[3] Fahlenkamp, H., Nöthe, T., Nowotny, N., Launer, M.: *Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen: Phase 3*, Abschlussbericht, 2008

[4] Ivashechkin, P.: *Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser*, Dissertation, RWTH Aachen, 2006

[5] Knollmann, J., Hübner, H.: *Ertüchtigung der Zentralkläranlage Rietberg zur Elimination von Spurenstoffen: Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie*, Hannover, 2013

[6] Tacke, D., Herbst, H., Köster, S., Beier, S., Bergmann, A., Mälzer, H.-J.: *Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen: Gütebetrachtungen und Kostenbetrachtungen*, Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Aachen, 2008

[7] Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg, *www.koms-bw.de/klaeranlage* (Stand 31. Juli 2014)

[8] Rößler, A.: *Betriebsbedingungen und Leistung einer Sandfilteranlage nach Aktivkohlebehandlung von Abwasser*, Diplomarbeit am Institut für GEO und UMWELT der Hochschule Biberach, 2007

[9] Mayer, V.: Anwendung von Aktivkohlepulver in zweischichtigen Schnellsandfiltern zur weitergehenden Abwasserreinigung, *gwf – Wasser|Abwasser* 1984, *125* (8), 373–380

[10] Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H.: *Optimierung der Pulveraktivkohleabtrennung durch Filtration als Grundlage zur Analgendimensionierung* – Abschlussbericht Teilprojekt 2B des BMBF-Verbundprojektes „Erweiterung kommunaler Kläranlagen durch eine adsorptive Stufe zur Elimination organischer Spurenstoffe“ (Förderkennzeichen 02WA1023)

[11] Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H.: *Machbarkeitsstudie zur Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung*, Februar 2013, unveröffentlicht

[12] Kapp, H.: *Feststoffabtrennung nach der Adsorptionsstufe mit Hilfe der Tuchfiltration im Klärwerk Lahr*, Untersuchungsbericht im Auftrag des Abwasserverbandes Raumschaft Lahr, November 2011, unveröffentlicht

[13] Metzger, S., Kapp, H.: Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen, Vortrag bei der VSA-Fachtagung „Technische Verfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser“ am 28. Oktober 2008 in Regensdorf/Schweiz, veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

[14] Rößler, A., Metzger, S.: *Bestimmung der Spurenstoffelimination in Kläranlagen mit Aktivkohleeinsatz*, Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Dezember 2013, unveröffentlicht

[15] Kopp, J.: *Untersuchung des Entwässerungsverhaltens von sechs ausgefaulten ÜS-Schlammproben der Kläranlage Mannheim aus einer Versuchsanlage*, Abschlussbericht zu den Untersuchungen im Auftrag des Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL), April 2014, unveröffentlicht

[16] DWA: Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung, Ausgabe 2014, *http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/StOeP/DWA_Wirtschaftsdaten_2014.pdf* (Stand: 31. Juli 2014), *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2014, *61* (8), 701–707

Autoren

Der Beitrag wurde von Mitgliedern der Arbeitsgruppe „Kosten und Energiebedarf der 4. Reinigungsstufe“ des Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg sowie Mitarbeitern des KomS erarbeitet.

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

Dr. Steffen Metzger
Imee O. Tjoeng, M. Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg

E-Mail: steffen.metzger@koms-bw.de

Dipl.-Ing. Gert Schwentner
Stadt Sindelfingen

Dr.-Ing. Reinhold Rölle
Ingenieurbüro Götzelmann & Partner

Die Kläranlage Albstadt-Ebingen: 20 Jahre Pulveraktivkohleeinsatz im Vollstrom

Abwassertechnische Besonderheiten und Effizienz für die Elimination von Spurenstoffen

Hans-Joachim Vogel (Tübingen), Steffen Baur (Ulm), Rita Triebskorn (Tübingen), Annette Rößler und Steffen Metzger (Stuttgart)

Zusammenfassung

Die Kläranlage Albstadt-Ebingen wird seit 1992 erfolgreich im Vollstrom mit einer adsorptiven Reinigungsstufe und einer nachgeschalteten Sandfiltration zur Elimination der Farbigkeit betrieben, die ihren Ursprung in den dort ansässigen Textilbetrieben hat. In der vorliegenden Arbeit werden abwassertechnische Besonderheiten dieser Kläranlage sowie Daten zur Spurenstoffelimination zusammengefasst. Die chemisch-analytischen Untersuchungen zeigen eine große Effizienz der Anwendung von Pulveraktivkohle hinsichtlich der Elimination bestimmter Spurenstoffe. Die Ergebnisse sind allerdings vor dem Hintergrund der farbabhängigen Dosierung der Pulveraktivkohle zu interpretieren. Mit 6 mg/L Pulveraktivkohle im Jahresmittel ist die Dosierung nicht sehr hoch, in den Phasen mit hoher Farbigkeit werden maximal 45 mg/L Pulveraktivkohle dosiert. Durch ergänzende Ablaufuntersuchungen auf der Grundlage des jetzigen Dosier-Reglements soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, sodass zukünftig auch die Spurenstoffelimination zusätzlich berücksichtigt werden kann.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Industrieabwasser, Spurenstoff, Elimination, Pulveraktivkohle, Betriebserfahrung, Textilindustrie, Farbstoff

DOI: 10.3242/kae2014.10.005

Abstract

The Albstadt-Ebingen Wastewater Treatment Plant: 20 Years Employment of Powdered Activated Carbon in Full Flow
Wastewater Engineering Characteristics and Efficiency for the Elimination of Trace Elements

Since 1992 the Albstadt-Ebingen wastewater treatment plant has been operated successfully in full flow with an adsorptive treatment stage and a downstream sand filtration for the elimination of the chromaticity which has its origin in the there located firms. Wastewater engineering characteristics of this wastewater treatment plant and data for the elimination of trace elements are summarized in the paper presented. The chemical-analytic investigations indicate the considerable efficiency of the employment of powdered activated carbon with regard to the elimination of certain trace elements. The results are, however, to be interpreted against the background of the colour-dependent dosing of the powdered activated carbon. With 6 mg/L powdered activated carbon as the annual mean the dosing is not very high; in the phases with high chromaticity a maximum of 45 mg/L powdered activated carbon is dosed. Through supplementary effluent investigations on the basis of the current dosing regulation, a basis for decision is to be created so that, in future, the trace element elimination can additionally be taken into account.

Key words: wastewater treatment, municipal, industrial wastewater, trace element, elimination, powdered activated carbon, operational experience, textile industry, dye

1 Einleitung

Der Kläranlagenablauf der baden-württembergischen Kläranlage Albstadt-Ebingen mit einer Ausbaugröße von 125 000 Einwohnerwerten war über Jahrzehnte von der Farbigkeit der dort ansässigen Textilbetriebe geprägt, die letztlich sogar zu zeitweise starken Verfärbungen des aufnehmenden, abflussschwachen Gewässers Schmiecha führte. Die Schmiecha entspringt unweit von Albstadt und gehört zum Einzugsgebiet der Donau. Die 1992 in Betrieb gegangene nachgeschaltete adsorptive Reinigungsstufe mit nachfolgender Sandfiltration (= PAK-Anlage) im Vollstrom war das Produkt einer erfolgreichen Zusammenarbeit von Wasserwirtschaftsverwaltung, dem Institut für Siedlungswasserbau der Universität Stuttgart

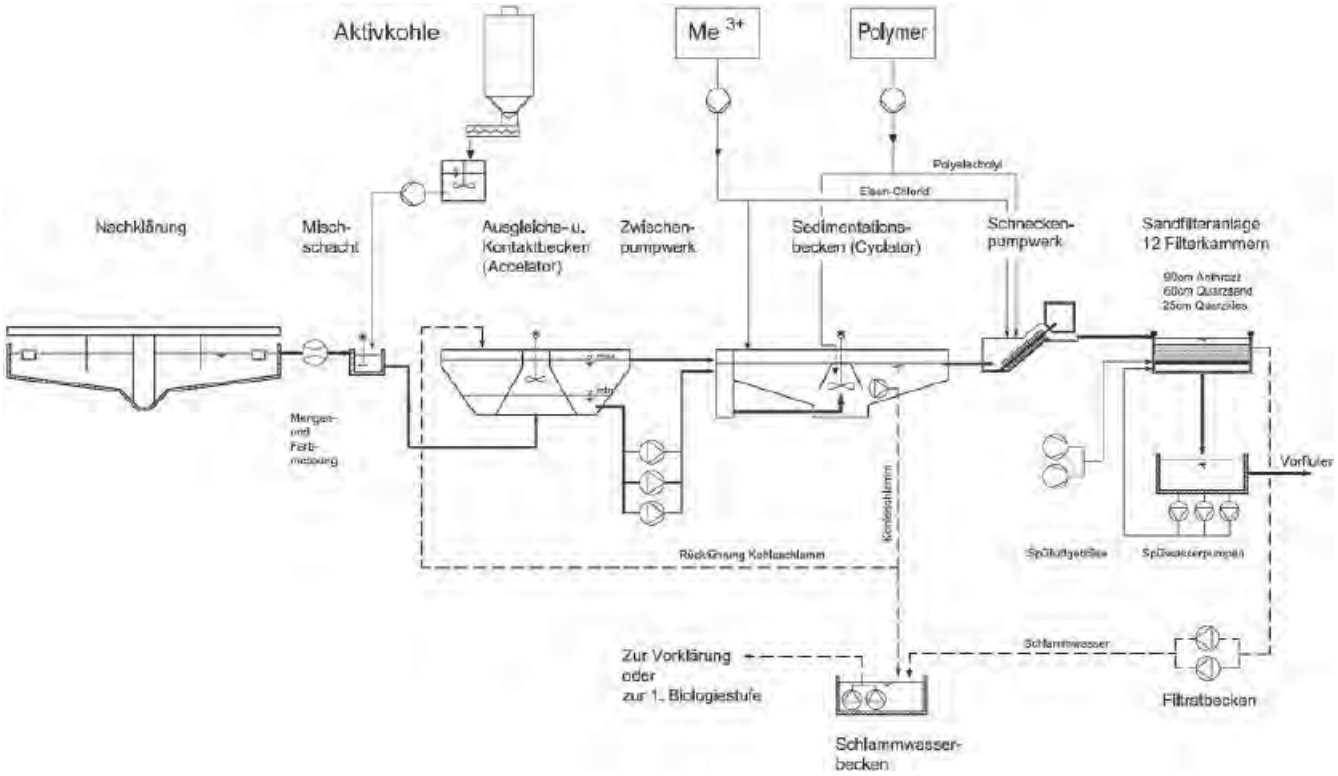


Abb. 1: Schematisches Verfahrensfließbild der PAK-Anlage der Kläranlage Albstadt-Ebingen

(ISWA) und der Stadt Albstadt. Der Bund und das Land Baden-Württemberg haben die Maßnahme seinerzeit großzügig gefördert. Mit der Entwicklung des Pulveraktivkohleverfahrens wurde auch gleichzeitig eine Analysemethode zur Bestimmung der Farbigkeit auf der Kläranlage eingeführt. Mit der Durchsichtigkeitsfarbzahl (DFZ) für verschiedene Farbbereiche wird die Farbigkeit auch wasserrechtlich begrenzt und die Dosierung der Pulveraktivkohle bislang ausschließlich gesteuert.

Parallel zur Kläranlage Albstadt-Ebingen wurde das Verfahrenskonzept 1992 auch auf der Verbandskläranlage Albstadt-Lautlingen mit 36 000 Einwohnerwerten umgesetzt und die Anlage analog bis heute betrieben. Auf die Anlage in Lautlingen wird hier nicht weiter eingegangen.

Seit einiger Zeit ist schon bekannt, dass mit dem Einsatz der Pulveraktivkohle auch Spurenstoffe entfernt werden [1]. Dies wurde auch durch viele stichprobenartige Einzelanalysen in den vergangenen Jahren bestätigt, unter anderem um Vergleiche zu anderen Behandlungsverfahren anzustellen. Mit der Neuerteilung der Einleitungserlaubnis durch das Regierungspräsidium Tübingen für die Kläranlage Albstadt-Ebingen im Jahr 2011 wurde das zusätzliche Themenfeld Spurenstoffelimination gezielt angegangen. In der nachfolgend beschriebenen Untersuchung wurde die Pulveraktivkohledosierung der vergangenen Jahre zur Einschätzung der betrieblichen Situation näher beleuchtet. Im Rahmen einer im Auftrag des Landes Baden-Württemberg im Jahr 2013 durchgeführten Messkampagne wurden fünf Kläranlagen mit einer adsorptiven Reinigungsstufe hinsichtlich der Konzentrationen an Spurenstoffen untersucht, aus der unter anderem die nachfolgend dargestellten Daten zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen resultieren. Hierbei ist zu betonen, dass die Pulveraktivkohledosierung wasserrechtlich korrekt in Abhängigkeit von der Farbigkeit erfolgte und somit in der Vergangenheit keine Dosierung zum Beispiel in den Werksferien der Textilbetriebe, an den Wochenenden und bei längeren Regenereignissen erfolgte. Die Lage der Kläranlage Albstadt-Ebingen am oberen Ende des Einzugsgebietes der Schmiecha war Anlass für eine weitere Untersuchung, die sich dem Gesundheitszustand von Fischen sowie der gewässerökologischen Güte des Gewässers vor dem Hintergrund einer langfristigen Spurenstoffelimination widmete [2]. Über die Ergebnisse dieser Arbeit wird parallel in der *KW – Korrespondenz Wasserwirtschaft* berichtet [3]. Sie zeigen, wie ein Gewässer aussieht, in das temporäre Entlastungen aus der Mischwasserkanalisation stattfinden und der Kläranlagenablauf über einen langen Zeitraum im Vollstrom unter Berücksichtigung der oben genannten Modalitäten mit Aktivkohle behandelt wurde. Die dort gefundenen Ergebnisse sind sehr positiv und weisen auf den nachhaltigen Schutz von Ökosystemen durch den Einsatz zusätzlicher Reinigungsstufen auf Kläranlagen hin.

2 Resultate Abwassertechnik

2.1 Situation/Veranlassung

Bereits Ende der 1980er-Jahre wurden durch die Universität Stuttgart (ISWA, Prof. Hanisch) verschiedene Verfahren zur Farbstoffentnahme erprobt. Das daraus entwickelte Verfahren der Kombination von Aktivkohleadsorption, chemischer Flockung und Filtration wurde als wirtschaftlichste Lösung für den Anwendungsfall Albstadt-Ebingen identifiziert und zur Realisierung empfohlen.

Nach Untersuchungen diverser Ausbaualternativen wurde unter Nutzung bestehender Bausubstanz (Umbau Accelator und Cyclator zur adsorptiven Reinigungsstufe) sowie dem Neu-

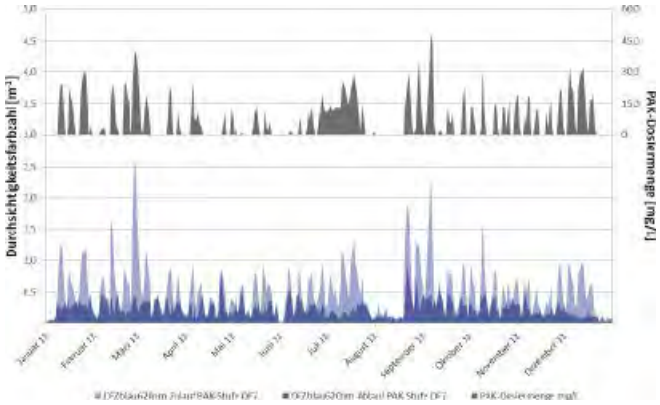


Abb. 2: Durchsichtigkeitsfarbzahl blau im Zu- und Ablauf der PAK-Anlage sowie zugehörige Pulveraktivkohledosiermengen im Jahr 2013

bau eines Flockungssandfilters die PAK-Anlage im Jahr 1992 in Betrieb genommen. Die gesamte Abwassermenge (Vollstrom, Q_m = 980 L/s) wird über die Anlagenstufe geführt. Seit der Inbetriebnahme wird die nahezu vollständige Entfärbung und AOX-Elimination (< 10 μg/L) erfolgreich betrieben. Eine dauerhafte Absenkung der Kohlenstoffkonzentration im Ablauf des Klärwerks wurde als „Abfallprodukt" erreicht.

2.2 Anlagenkenndaten/Funktionsweise der PAK-Anlage

In Abbildung 1 ist die PAK-Anlage schematisch dargestellt. Das aus der Nachklärung abfließende Abwasser fließt über einen Messschacht in einen sogenannten Mischschacht. In diesem wird dem Abwasser Pulveraktivkohle beigemischt und eingerührt (hochturbulent). Das durchmischte Abwasser fließt in das Ausgleichs- und Kontaktbecken (V = 4640 m³). Dieses Becken besteht aus einem Innen- und Außenbereich (ehemaliger Accelator). Durch ständige Umwälzung wird das Abwasser mit der Pulveraktivkohle durchmischt, und die Inhaltsstoffe werden angelagert (adsorbiert).

Der Ablauf des Ausgleichs- und Kontaktbeckens wird in das Sedimentationsbecken (ehemaliger Cyclator, V = 2260 m³) gefördert (Teilstromführung über Zwischenpumpwerk möglich). Durch Sedimentationsprozesse wird ein Teil der Pulveraktivkohle aus dem Abwasserstrom abgetrennt. Je nach hydraulischer Belastung liegt die Abscheidewirkung der Sedimentation zwischen 12 und 45 % der zugeführten Aktivkohlemenge. Die sedimentierte Aktivkohle wird zurzeit direkt in den Zulauf der biologischen Anlagenstufe (VDN = 5500 m³, VN = 7850 m³, VNKB = 14100 m³) geführt. Die in Abbildung 1 gezeigte Verfahrensoption der internen Rückführung in das Ausgleichs- und Kontaktbecken besteht, wird aktuell aber nicht betrieben. Die restliche Aktivkohle muss über die nachgeschaltete Filteranlage (zwölf Kammern, je 30 m²) entnommen werden. Der Ablauf des Sedimentationsbeckens wird über Schneckenpumpen der Sandfilteranlage zugeführt. Dort wird das Abwasser gleichmäßig über die Filterkammern verteilt. Die in den Filterkammern zurückgehaltenen Schmutz- bzw. Inhaltsstoffe werden durch Spülvorgänge ausgespült. Die zurückgehaltenen Schmutzstoffe werden durch das Spülabwasser über einen Spülabwasserschacht bzw. -speicher in der Regel wieder in den Zulauf der biologischen Anlagenstufe zurückgeführt. Die entnommene Pulveraktivkohle wird somit im biologischen Anlagenteil weitergenutzt, kann weiter beladen werden und wirkt als „Strukturverbesserer" der Schlammflocken und trägt zur Verbesserung der Schlammabsetzeigenschaften bei (Schlammindex im Mittel: 85 mL/g).

2.3 Betriebsergebnisse

Auf der Kläranlage wird gemäß der Eigenkontrolle eine Vielzahl von Parametern aufgenommen bzw. analysiert. Langjährige Betriebserfahrungen sowie Betriebsergebnisse liegen somit vor. Für die Funktionsbetrachtung der PAK-Anlage sind vor allem die Inhaltsstoffe von Relevanz, die durch den Einsatz von Pulveraktivkohle und deren chemischen Begleitprodukten (Fällmittel, Polymere) beeinflussbar sind. Neben der Farbigkeit, überwacht durch die Durchsichtigkeitsfarbzahl, sind vor allem die Parameter CSB und Phosphor sowie abfiltrierbare Stoffe relevant.

Für die Kläranlage Albstadt-Ebingen bestehen zusätzlich zu den üblichen Überwachungsgrenzwerten die „besonderen Ablaufgrenzwerte" der Farbigkeit mit DFZ Gelb (Messbereich 436 Nm) = 1,2 m^{-1}, DFZ Rot (Messbereich 525 Nm) = 0,6 m^{-1} und DFZ Blau (Messbereich 620 Nm) = 0,6 m^{-1}. Diese Grenzwerte sind jeweils in der qualifizierten Stichprobe einzuhalten. Die zudosierte Aktivkohlemenge liegt im Bereich von 5 bis zu 45 mg/L (in Abhängigkeit von der Farbigkeit), was einem jährlichen Kohleeinsatz von 70 bis 100 Mg entspricht. Mit der bestehenden Dosieranlage kann eine Dosiermenge von 10–150 kg/h abgedeckt werden. Die Zudosierung der Pulveraktivkohle erfolgt über die Regelkenngröße einer Farb-Online-Messung (Fabrikat: Optek, Typ: Control 4000). Vereinfacht ausgedrückt: viel Farbe im Zulauf = erhöhte Kohledosiermenge pro Liter, wenig Farbe im Zulauf = spezifisch geringe Kohledosiermenge. In Abhängigkeit von der Farbmessung kann die Kohledosierung auch ausgesetzt werden. Eine feste Grunddosierung wird nicht vorgenommen. Die Pulveraktivkohledosierung erfolgt über gravimetrische Messung (Waage). Es kann festgehalten werden, dass die Kohledosierung über die Steuergröße der Farb-Online-Messung hervorragend funktioniert. In Abbildung 2 ist beispielhaft die vorgenommene Kohledosierung parallel zur Farbigkeit im Zulauf zur PAK-Anlage des Jahres 2013 dargestellt.

Eine Auswertung der Messergebnisse der letzten Jahre hat ergeben, dass die PAK-Anlage hervorragende Reinigungsergebnisse liefert [4]. Die Werte bzw. Konzentrationen der Leitparameter CSB, Phosphor sowie abfiltrierbare Stoffe können als au-

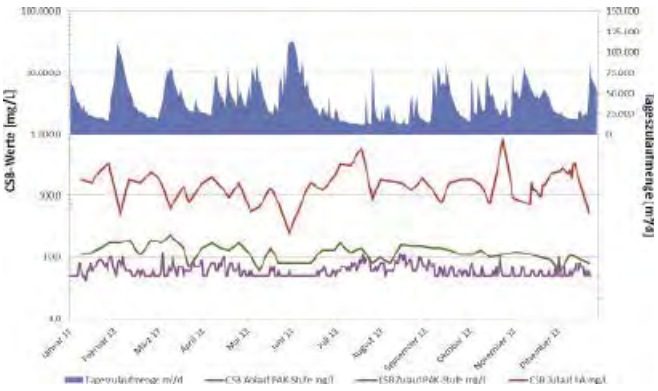


Abb. 3: Zulaufwassermengen 2013 sowie CSB-Werte an unterschiedlichen Probenahmestellen der Kläranlage Albstadt-Ebingen

ßerordentlich niedrig eingestuft werden: Die CSB-Ablaufwerte liegen im Mittel unter 10 mg/L, für P_{ges} sind im Mittel Konzentrationen unter 0,1 mg/l zu verzeichnen, und die Ablaufkonzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe liegen üblicherweise zwischen 1 und maximal 2 mg/L. In Abbildung 3 sind die CSB-Werte der homogenisierten Probe des Jahres 2013 im Zulauf zur Kläranlage sowie im Zulauf und Ablauf der PAK-Anlage dargestellt. Zur Information sind die zugehörigen Zulaufwassermengen zur Einschätzung möglicher Verdünnungseffekte aufgeführt.

Eine Unterschreitung der Überwachungsgrenzwerte konnte jederzeit stabil und gesichert eingehalten werden, obwohl über den Jahresverlauf an 146 Tagen keine Pulveraktivkohledosierung vorgenommen wurde. Speziell der CSB-Ablaufwert liegt ganzjährig deutlich unterhalb des abwasserabgaberelevanten Grenzwerts von 20 mg/L.

Bei genauer Betrachtung der Betriebsdaten der Kläranlage Albstadt-Ebingen für den Teilbereich der PAK-Anlage wurde festgestellt, dass die eigentliche Entnahmeleistung der adsorptiven Reinigungsstufe bezüglich der gelösten CSB-Inhaltsstoffe als sehr gering eingestuft werden kann und maßgeblich relevante Adsorptionsprozesse bereits in der biologischen Stufe stattgefunden haben müssen. Die Differenz der CSB-Werte im Zulauf und Ablauf der PAK-Anlage entspricht größtenteils dem Gehalt an entnommenen abfiltrierbaren Stoffen in dieser Stufe [4].

3 Spurenstoffelimination

3.1 Historische Daten

Im Rahmen einer in [2] enthaltenen Literaturstudie wurden Ergebnisse für 58 Spurenstoffe zusammengestellt, die vom ISWA der Universität Stuttgart zwischen 2000 und 2009 an Zu- und Ablaufproben der PAK-Anlage der Kläranlage Albstadt-Ebingen ermittelt wurden [5–10]. Es zeigten sich zu verschiedenen Zeitpunkten sehr unterschiedliche Eliminationsraten für den gleichen Stoff (zum Beispiel Carbamazepin: 48,6–92 %; Diclofenac: 22–76 %, Iomeprol: – 12–54,9 %, Phenazon: – 13,8–94 %). Zudem waren die Eliminationsraten stoffspezifisch sehr unterschiedlich. Relativ gut eliminiert wurden zum Beispiel Tramadol (98–99 %), Lidocain (88–91 %), Triclosan (86–91 %), Terbutryn

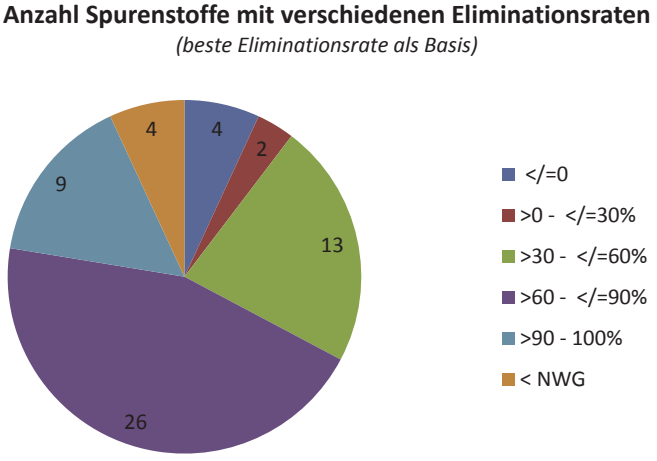


Abb. 4: Anzahl Spurenstoffe, die zu einem bestimmten Prozentsatz durch die PAK-Anlage in der Kläranlage Albstadt-Ebingen entnommen werden (Basis: beste Eliminationsrate)

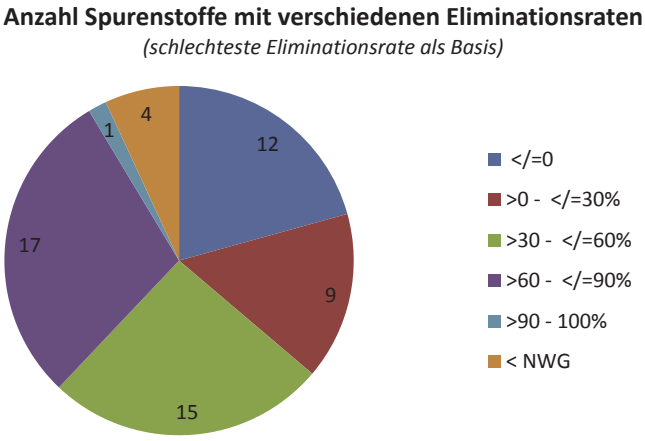


Abb. 5: Anzahl Spurenstoffe, die zu einem bestimmten Prozentsatz durch die PAK-Anlage in der Kläranlage Albstadt-Ebingen entnommen werden (Basis: schlechteste Eliminationsrate)

(76–84 %) oder Octylphenol (72 –75 %). Sehr schlecht eliminiert wurden zum Beispiel Clofibrinsäure (– 120 %), Amidotrizoesäure (– 50–54 %), Ifosamid (0–37 %) oder Diazepam (2–10 %). Zu mehr als 60 % eliminiert wurden, bezogen auf die jeweils beste Eliminationsrate für den jeweiligen Stoff, 68 % der Stoffe, das heißt 39 von 58 Stoffen (Abbildung 4). Bezogen auf die jeweils schlechteste Eliminationsrate für den jeweiligen Stoff waren dies dagegen nur 38 % der Stoffe, das heißt 22 von 58 Stoffen (Abbildung 5). Mithilfe des E-screen-Assays konnte gezeigt werden, dass die östrogene Aktivität des Abwassers durch die Reinigung in der Kläranlage Albstadt-Ebingen um 60–99 % reduziert werden kann und im Ablauf sehr niedrige Werte zur Östrogenität (EEQ: 0,2 ng/L) vorliegen.

3.2 Messkampagne 2013

Im Sommer 2013 wurden durch das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg auf insgesamt fünf Kläranlagen, die allesamt Pulveraktivkohle zur weitergehenden Abwasserreinigung einsetzen, Spurenstoffmessungen über einen jeweils zusammenhängenden Zeitraum von rund neun Tagen durchgeführt. Ziel dieser Messkampagne war es insbesondere, Erkenntnisse zur Entnahmeleistung durch die Anwendung von Pulveraktivkohle in einer Adsorptionsstufe zu gewinnen. Daher wurden im Rahmen der Untersuchungen alle vier Kläranlagen in Baden-Württemberg beprobt, die zum damaligen Zeitpunkt mit dieser noch vergleichsweise neuen Verfahrenstechnik ausgerüstet waren. Daneben wurde aber auch die Kläranlage Albstadt-Ebingen als eine Anlage mit bereits vielen Jahren Betriebserfahrung bei der Anwendung von Pulveraktivkohle in der kommunalen Abwasserreinigung mit berücksichtigt. Obwohl für diese Anlage bereits vielfach Spurenstoffuntersuchungen durchgeführt wurden (zusammengefasst in [2]), ist eine Interpretation der Messdaten und Eliminationsraten nur schwer möglich, da diese beispielsweise keine Angaben zur Betriebsweise der Anlage sowie zur Art der Probenahme und der Probenaufbereitung beinhaltet.

3.3 Randbedingungen

Um mit den Spurenstoffmessungen sowohl die Verringerung in der gesamten Kläranlage als auch separat in der biologischen

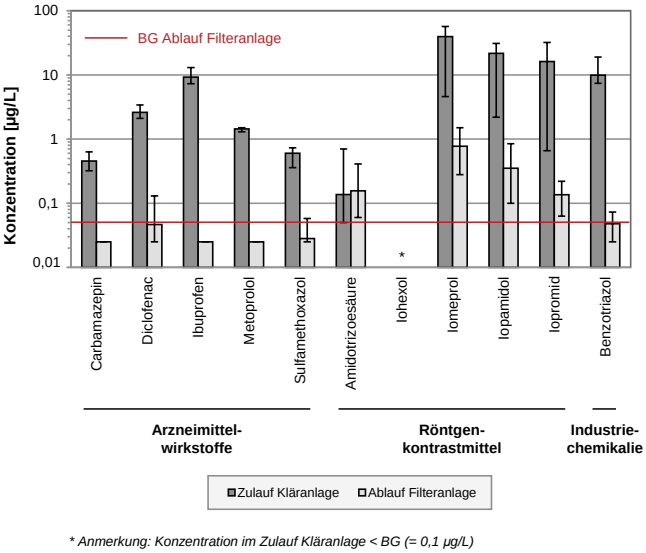
Stufe und der PAK-Anlage bestimmen zu können, wurden im Zulauf, im Ablauf der Nachklärung und im Ablauf der Filteranlage über einen Zeitraum von zehn Tagen jeweils mengenproportionale 24-h-Mischproben gezogen. Vor der Spurenstoffanalyse wurden sämtliche Proben membranfiltriert, da ausschließlich die Verbesserung der gelösten Abwasserfraktion bewertet werden sollte. Die Analysen erfolgten durch das DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe.

Die Beprobung erfolgte bei Trockenwetter mit Zulaufmengen zur Kläranlage zwischen rund 12 700 und 16 300 m³/d. Die gelöste Restorganik, ausgedrückt durch den $CSB_{gelöst}$, lag im Ablauf der Nachklärung, das heißt im Zulauf der PAK-Anlage, mit Werten zwischen 10 und 14 mg/L in einem für kommunale Kläranlagen eher niedrigen Bereich. Aufgrund vergleichsweise hoher sowie täglich schwankender Farbfrachten im Ablauf der Nachklärung betrug die Dosiermenge an frischer Pulveraktivkohle in der PAK-Anlage zwischen 14 und 28 mg/L.

3.4 Ergebnisse

In Abbildung 6 sind die mittleren Konzentrationen der analysierten Substanzen im Zu- und im Ablauf der Kläranlage dargestellt. Ausgewählt wurden für die Messungen Substanzen, die sich für die Überprüfung der Reinigungsleistung einer adsorptiven Reinigungsstufe als geeignet erwiesen haben [11]. Anhand des Entnahmeverhaltens dieser sogenannten Indikatorsubstanzen kann abgeschätzt werden, inwieweit Stoffe, die ein ähnliches Entnahmeverhalten aufweisen, eliminiert werden. Sulfamethoxazol und Amidotrizoesäure stehen hierbei stellvertretend für Substanzen, die als schlecht adsorbierbar gelten. Metoprolol und Carbamazepin hingegen sind adsorptiv sehr gut entfernbar. Während sämtliche Arzneimittelwirkstoffe sowie Benzotriazol an allen zehn Tagen im Zulauf nachgewiesen werden, liegen einzelne Substanzen aus der Gruppe der Röntgenkontrastmittel nur zeitweise bzw. nicht im Zulauf vor. Iohexol wird an keinem Tag oberhalb der für die Messung der Zulaufproben angewandten Bestimmungsgrenze von 100 ng/L nachgewiesen, wohingegen Amidotrizoesäure zumindest an vier Tagen in Konzentrationen von über 100 ng/L vorliegt. Weiterhin zeigt sich, dass die Zulaufkonzentrationen der dauerhaft vorliegenden Röntgenkontrastmittel mit Werten von im Mittel mehr als 10 µg/L im Allgemeinen deutlich höher sind als die Konzentrationen der analysierten Arzneimittelwirkstoffe. Darüber hinaus kann Abbildung 6 entnommen werden, dass bei den Zulaufkonzentrationen der Röntgenkontrastmittel größere Schwankungen vorliegen als bei denjenigen der Arzneimittelwirkstoffe bzw. von Benzotriazol. Dies ist hauptsächlich auf das deutlich verminderte Vorkommen von Röntgenkontrastmitteln im Kläranlagenzulauf am Wochenende zurückzuführen [12]. Im Ablauf der Filteranlage werden für alle Substanzen im Mittel Konzentrationen von weniger als 1 µg/L festgestellt, wobei die analysierten Arzneimittelwirkstoffe großteils sogar nur noch in Konzentrationen kleiner der Bestimmungsgrenze (= 50 ng/L) vorliegen. In diesen Fällen wurde für die Berechnung der mittleren Ablaufkonzentration die halbe Konzentration der Bestimmungsgrenze, das heißt 25 ng/L, angesetzt.

Die Gesamtentnahme von Spurenstoffen innerhalb der Kläranlage setzt sich aus der Entnahme in der biologischen Stufe und derjenigen in der PAK-Anlage zusammen. In diesem Zusammenhang gilt es allerdings darauf hinzuweisen, dass der biologische Schlamm die aus der PAK-Anlage ausgeschleuste Pulveraktivkohle beinhaltet und somit eine mögliche, adsorptive Entnahme impliziert. Die in Abbildung 7 dargestellten Entnahmeraten innerhalb der Kläranlage beruhen hierbei auf der Gegenüberstellung der jeweiligen Zu- und Ablauffracht über den gesamten Untersuchungszeitraum von zehn Tagen, wodurch der Einfluss eines individuellen Zeitversatzes, der bei einer Beurteilung anhand von 24-h-Mischproben in Ansatz gebracht werden müsste, weitgehend umgangen wird [12]. Es zeigt sich, dass unter den im Beprobungszeitraum gegebenen Randbedingungen im Allgemeinen sehr hohe Entnahmeraten mit Werten von über 90 Prozent erzielt werden. Selbst Sulfamethoxazol, das als adsorptiv schlecht entfernbar gilt, wird in einem solch hohen Umfang eliminiert. Lediglich für das ionische Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure kann keine Verringerung nachgewiesen werden. Dasselbe Entnahmeverhalten hat sich für dieses Röntgenkontrastmittel allerdings auch auf den anderen untersuchten Kläranlagen gezeigt [12]. Hinsichtlich der Zusammensetzung der Gesamtentnahme ist zu sagen, dass bei fast allen Substanzen der überwiegende Teil der Spurenstoffelimination bereits in der biologischen Stufe erfolgt. Da sich durch die verfahrenstechnische Führung der Pulveraktivkohle im System keine bzw. nur eine ge-



** Anmerkung: Konzentration im Zulauf Kläranlage < BG (= 0,1 µg/L)*

Abb. 6: Mittlere Konzentrationen der analysierten Substanzen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Albstadt-Ebingen

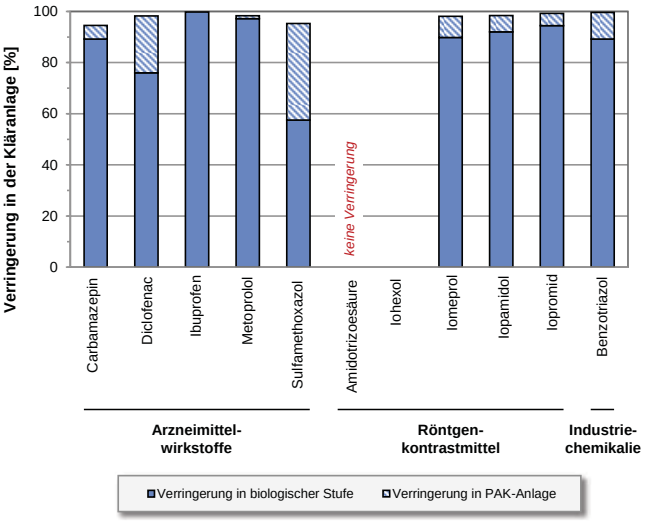


Abb. 7: Zusammensetzung der Gesamtentnahme von Spurenstoffen

ringe Anreicherung und damit Mehrfachbeladung im Bereich des Ausgleichs- und Kontaktbeckens der PAK-Anlage ergibt, steht aber gleichzeitig in der biologischen Reinigungsstufe, durch die Rückführung von gering beladener Aktivkohle, eine noch vergleichsweise hohe Adsorptionskapazität zur Verfügung. Dies erklärt möglicherweise die starke Verlagerung der Spurenstoffentnahme in Richtung der biologischen Stufe.

4 Fazit

Der Stadt Albstadt ist es gelungen, das PAK-Verfahren dauerhaft über 20 Jahre unter Betriebsbedingungen anzuwenden. Neben der Entwicklungsleistung des neuen Verfahrens waren es viele anspruchsvolle Teilaufgaben wie die exakte Dosierung der Pulveraktivkohle, die erst in der Summe das heutige Ergebnis ermöglichen. Grundvoraussetzung ist, dass kompetentes Personal engagiert und vor allem in der Anfangsphase mit großer Geduld die Anlage betreut. Gewässerökologische und ökotoxikologische Untersuchungen untermauern die These, dass die PAK-Verfahrenstechnik die Spurenstoffe in einem solchen Maß reduziert, dass nahezu keine Wirkungen im Gewässer zu erkennen sind. Hinzu kommt, dass die konventionellen Ablaufwerte CSB, Stickstoff, Ammonium und Phosphor außerordentlich gut sind.

Die Spurenstoffergebnisse wie auch die CSB-Werte der Kläranlage Albstadt-Ebingen verdeutlichen, dass durch die Anwendung der Pulveraktivkohle im Gegenstromprinzip ein Teil der biologisch nicht abbaubaren organischen Stoffe bereits in der biologischen Stufe in signifikantem Umfang entfernt wird. So zeigt sich, dass bei dem bestehenden System mit einer Pulveraktivkohledosiermenge von etwas mehr als 20 mg/L die Adsorption der Spurenstoffe im Wesentlichen bereits in der biologischen Stufe erfolgt, was auf die geringe Beladung der Pulveraktivkohle in der nachgeschalteten PAK-Anlage zurückzuführen ist. Gleichzeitig wird deutlich, dass, mit einer Adsorbensmenge von rund 20 mg/L und der bestehenden Anlagentechnik, als „Abfallprodukt" der Entfärbung, ein Großteil der untersuchten Spurenstoffe zu mehr als 90 Prozent eliminiert werden.

Zukünftig wird auf der Kläranlage Albstadt-Ebingen angestrebt, neben der Reduzierung der Farbfracht die Spurenstoffelimination stärker zu berücksichtigen. Hierzu ist vorgesehen, im Rahmen einer Untersuchung insbesondere für Zeiträume ohne Aktivkohledosierung zu überprüfen, welchen Entnahmeumfang an Spurenstoffen die bereits im System der biologischen Stufe befindliche, teilbeladene Aktivkohle bewirkt. Bei Bedarf soll die Betriebsweise, unter Einbezug von ökonomischen Gesichtspunkten, an die neue Zielsetzung der Spurenstoffentnahme angepasst werden.

Dank

Der Dank gilt dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg sowie der Stadt Albstadt für die Finanzierung der Teilprojekte. Der Stadt Albstadt danken wir für die tatkräftige Unterstützung bei den Arbeiten und des Projekts insgesamt.

Literatur

[1] Joss, A., Siegrist, H., Ternes, T. A.: Are we about to upgrade wastewater treatment for removing organic micropollutants?, *Water Sci. Technol.* 2008, *57* (2), 251–255

[2] Triebskorn, R., Thellmann, P., Wurm, K.: *Untersuchungen zur Effektivität der Aktivkohleanlagen in den Kläranlagen Albstadt-Ebingen und Albstadt-Lautlingen hinsichtlich der Wirkung bei Gewässerorganismen*, Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und der Stadt Ebingen, Februar 2014

[3] Triebskorn, R., Thellmann, P., Vogel, H.-J., Wurm, K.: Die Kläranlage Albstadt-Ebingen: Aktivkohlefilterung im Vollstrom seit 1992. Ein langfristiger Erfolg für die Fischgesundheit und die Gewässerökologie?, *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2014, *7* (9)

[4] SAG-Ingenieure/Stadt Albstadt: *Konzeption AFF-Anlage zur gleichzeitigen Elimination von Mikroschadstoffen und Farbigkeit*, November 2013, unveröffentlicht

[5] Ecotec: *Verminderung der Emission schwer abbaubarer Komplexbildner in Baden-Württemberg: Phase II: Bewertender Stofffluss in Baden-Württemberg*, Ergebnisse der Kläranlagenmessungen 2002 – Kläranlage Albstadt-Ebingen, 2003

[6] Kuch, B.: *Analysebericht 2009-07-27-1*, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart vom 31. Juli 2009

[7] Metzger, J. W., Spengler, P., Körner, W., Bolz, U.: *Abschlussbericht für das Forschungsvorhaben „Schwer abbaubare Substanzen mit estrogenartiger Wirkung im Abwasser. Identifizierung, Quantifizierung und Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch Kombination von HPLC-MS und in vitro-Biotest (E-Screen-Assay)*, Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, 1998–2000

[8] Metzger, J. W., Kuch, B., Schneider, C.: *Pharmaka und Hormone in der aquatischen Umwelt*, Teilbericht ISWA, Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, 2000–2002

[9] Schneider, C.: *Synthetische organische Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt und ihr Verhalten im Klärprozess*, Dissertation, Universität Stuttgart, 2004

[10] Schwarz, T.: *Nachweis von Antibiotika und Röntgenkontrastmitteln im Abwasser*, Diplomarbeit, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart, 2001

[11] Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H.: *Spurenstoffbericht, Abschlussbericht zu dem im Auftrag des Regierungspräsidiums Karlsruhe durchgeführten Forschungsvorhaben zu Untersuchungen der Elimination von Spurenschadstoffen in der PAC-Anlage der Kläranlage Mannheim*, Dezember 2012, *www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Adsorptionsstufe_Spurenstoffbericht.pdf* (Stand: 6. Juni 2014)

[12] Rößler, A., Metzger, S.: *Bestimmung der Spurenstoffelimination in Kläranlagen mit Aktivkohleeinsatz*, Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Dezember 2013, unveröffentlicht

Autoren

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Vogel
Regierungspräsidium Tübingen, Referat 54.3
72072 Tübingen

Dipl.-Ing. Steffen Baur
SAG
Hörvelsinger Weg 23, 89081 Ulm

Prof. Dr. Rita Triebskorn
Physiologische Ökologie der Tiere
Institut für Evolution und Ökologie
Universität Tübingen
Konrad-Adenauer-Str. 20, 72072 Tübingen

Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
Dr.-Ing. Steffen Metzger
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden- Württemberg
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

E-Mail: hans-joachim.vogel@rpt.bwl.de KA

Spurenstoffvorkommen und -entnahme in Kläranlagen mit Aktivkohleanwendung in Baden-Württemberg

Annette Rößler und Steffen Metzger (Stuttgart)

Zusammenfassung

In Baden-Württemberg wurden in den letzten Jahren mehrere kommunale Kläranlagen um eine adsorptive Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination erweitert, die tatsächliche Leistung dieser neuen Verfahrenstechnik wurde bislang aber nur für die Kläranlage Mannheim umfangreich dokumentiert. Um diese Wissenslücke zu schließen, führte das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg auf fünf Kläranlagen mit einer adsorptiven Stufe eine mehrtägige Beprobung auf ausgewählte Spurenstoffe durch. Hierbei wurden zunächst Erkenntnisse zum dauerhaften Vorliegen dieser Substanzen in den Zuläufen kleinerer und größerer Kläranlagen gewonnen. In einem zweiten Schritt wurden anschließend die Entnahmeraten für die Spurenstoffe bestimmt und unter Berücksichtigung der jeweils gegebenen Randbedingungen der einzelnen Kläranlagen vergleichend bewertet.

Schlagwörter: Abwasserbehandlung, kommunal, weitergehende Reinigung, Spurenstoff, anthropogen, Elimination, Aktivkohle

DOI: 10.3242/kae2014.05.004

Abstract

Trace Element Incidence and Removal in Wastewater Treatment Plants using Active Carbon in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg, in recent years, several municipal wastewater treatment plants have been expanded by an adsorptive treatment stage for deliberate trace element removal. The actual performance of this new process technology, however, has been documented comprehensively for the Mannheim wastewater treatment plant only. In order to close this knowledge gap, the Baden-Württemberg Trace Element Competence Centre, has carried out several day testing for selected trace elements in five wastewater treatment plants with an absorptive stage. With this, first knowledge about the steady presence of these substances in the inflows of smaller and larger wastewater treatment plants was gathered. In a second step, the types of removal for the trace elements were subsequently determined and were assessed comparatively, taking into account the respectively laid-down constraints of individual wastewater treatment plants.

Key words: wastewater treatment, municipal, advanced treatment, trace element, anthropogenic, (here) removal, active carbon

1 Einleitung

In Baden-Württemberg wird bereits seit mehr als 20 Jahren auf drei kommunalen Kläranlagen Pulveraktivkohle zur Entfärbung von Abwässern aus der Textilveredelungsindustrie eingesetzt. Dabei hat sich gezeigt, dass mit dem sogenannten AFF-Verfahren (= Adsorption, chemische Fällung/Flockung und Filtration) der Universität Stuttgart gleichzeitig die gelöste Restorganik des Abwassers gesenkt wird [1]. Auf Grundlage dieser Kenntnisse führte die Hochschule Biberach in Zusammenarbeit mit dem Zweckverband Klärwerk Steinhäule in Neu-Ulm von 2003 bis Anfang 2011 mehrere FuE-Vorhaben zur Pulveraktivkohleanwendung bei der kommunalen Abwasserreinigung durch. Während dieser Zeit wurde im halbtechnischen Maßstab eine zusätzliche „vierte“ Reinigungsstufe, die sogenannte Adsorptionsstufe, entwickelt, die zwischenzeitlich in Baden-Württemberg auf fünf Kläranlagen unterschiedlicher Größenordnung umgesetzt wurde. Weitere Anlagen befinden sich aktuell im Bau bzw. in der Planung zur Nachrüstung einer solchen Verfahrensstufe. Die Umsetzung sämtlicher Maßnahmen erfolgte hierbei auf freiwilliger Basis.

Umfangreiche Spurenstoffmessungen zur Beurteilung der Leistung dieser neuen Verfahrenstechnik lagen allerdings bislang nur für die Kläranlage Mannheim vor [2]. Um diese Wissenslücke zu schließen, führte das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg im Sommer 2013 auf mehreren Kläranlagen mit einer adsorptiven Reinigungsstufe eine mehrtägige Beprobung auf ausgewählte Spurenstoffe durch. Untersucht wurden alle vier Kläranlagen mit einer sich bereits in Betrieb befindlichen Adsorptionsstufe sowie zusätzlich eine der

drei Kläranlagen, die bereits seit vielen Jahren Pulveraktivkohle in einer AFF-Anlage einsetzen.

Ein wesentliches Ziel der Messkampagne war es, den Entnahmeumfang in der gesamten Kläranlage sowie separat in den einzelnen adsorptiven Reinigungsstufen zu bestimmen und vergleichend zu bewerten. Darüber hinaus sollten weitere Erkenntnisse zum dauerhaften Vorkommen der analysierten Substanzen in kleineren und größeren Kläranlagen gewonnen werden.

2 Verfahrenstechnik

Auf den untersuchten Kläranlagen kommen zwei unterschiedliche Pulveraktivkohleverfahren zur Anwendung: das AFF-Verfahren sowie der Einsatz von Pulveraktivkohle (PAC) in einer Adsorptionsstufe.

Bei beiden Verfahren erfolgt die Zugabe der frischen Pulveraktivkohle nach der biologischen Reinigung des Abwassers in einer separaten Reinigungsstufe. Im Gegensatz zur simultanen Dosierung von Pulveraktivkohle in die biologische Reinigungsstufe bietet diese Anwendungsform den Vorteil, dass Stoffe, die biologisch abbaubar sind, bereits entfernt wurden. Dadurch kann die Aktivkohle effizienter für die Entfernung von Spurenstoffen eingesetzt werden. Eine weitere Ausnutzung des Adsorbens erfolgt durch die Rückführung der teilbeladenen Pulveraktivkohle in die biologische Reinigungsstufe. Um feinste, mit Spurenstoffen beladene Pulverkohlepartikel nicht in das Gewässer gelangen zu lassen, ist als letzter Verfahrensschritt eine Filtereinheit zur Feinstabtrennung angeordnet. Bislang werden hierfür konventionelle Sandfilter eingesetzt, die nach den bisherigen Erfahrungen allerdings als Flockungsfilter zu betreiben sind, um einen ausreichenden Feststoffrückhalt sicherzustellen [3, 4].

2.1 Verfahrensprinzip der Adsorptionsstufe

Aus Abbildung 1 geht das Verfahrensprinzip der Adsorptionsstufe hervor, das auf der Entkopplung der Aufenthaltszeit des Abwassers von der Aufenthaltszeit der Pulveraktivkohle im System basiert, wodurch eine Mehrfachbeladung der Aktivkohle ermöglicht wird: Hierzu wird die Pulveraktivkohle zunächst dem biologisch gereinigten Abwasser im Zulaufbereich

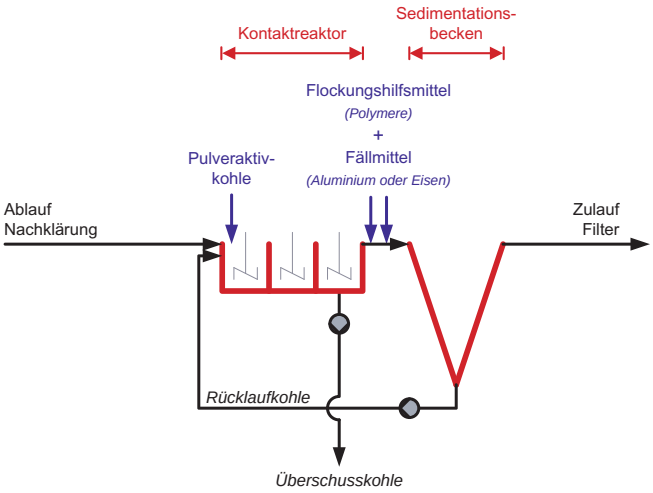


Abb. 1: Verfahrensprinzip der Adsorptionsstufe

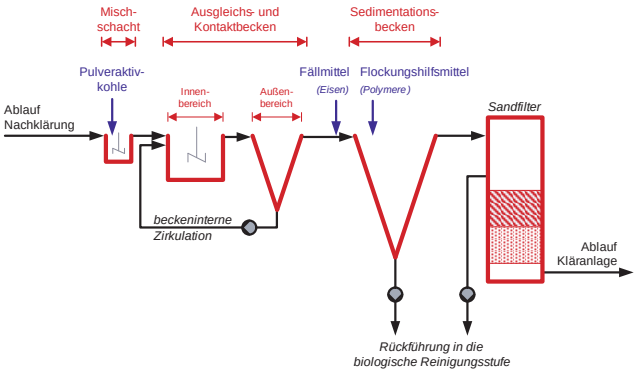


Abb. 2: Verfahrensprinzip der AFF-Anlage

des Kontaktreaktors zugegeben. Um die Kohle im anschließenden Sedimentationsbecken abtrennen zu können, müssen dem Abwasser zusätzlich Fällmittel zum Aufbau einer absetzbaren Flocke als auch Polymere (= Flockungshilfsmittel) zudosiert werden. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte „Kohleschlamm“ wird zur besseren Ausnutzung der Aktivkohle als „Rücklaufkohle“ wieder in den Kontaktreaktor zurückgeführt, sodass dort bei Trockenwetterbedingungen ein Feststoffgehalt von rund 3 bis 4 g/L vorliegt. Zu beachten ist jedoch, dass hiervon nur etwa ein Drittel, d. h. 1,0 bis 1,3 g/L, Pulveraktivkohle ist.

Während die Aufenthaltszeit des Abwassers im Kontaktreaktor für den Bemessungsfall minimal etwa 30 Minuten beträgt, verbleibt die Pulveraktivkohle durch die ständige Kreislaufführung mehrere Tage im System der Adsorptionsstufe. Die Entnahme des „Kohleschlamms“ aus der Adsorptionsstufe erfolgt in Form der „Überschusskohle“, welche zur weiteren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der Pulveraktivkohle in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt wird. Zusammen mit dem biologischen Überschussschlamm wird die Pulveraktivkohle letztlich aus dem Reinigungsprozess entfernt.

2.2 Verfahrensprinzip der AFF-Anlage

Das Verfahrensprinzip der AFF-Anlage zeigt Abbildung 2. Bei diesem Verfahren wird dem aus der Nachklärung abfließenden Abwasser in einem Mischschacht ebenfalls zunächst frische Pulveraktivkohle zudosiert. Anschließend gelangt das Abwasser in ein Ausgleichs- und Kontaktbecken, bestehend aus einem Innen- und einem Außenbereich. Der Innenbereich des Beckens dient zunächst als „Kontaktraum“ für die Adsorptionsvorgänge, bevor das Abwasser in den äußeren Bereich fließt. Von diesem Bereich aus besteht die Möglichkeit, einen Teilstrom in den inneren Bereich zurückzufördern (= beckeninterne Zirkulation), bevor das Abwasser in das Sedimentationsbecken fließt. Unter Zugabe von Fällmittel und Polymeren wird ein Großteil der Pulveraktivkohle in diesem Becken abgetrennt und für eine Weiterbeladung in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt.

Da Pulveraktivkohle ohne die Zugabe von Fäll- und/oder Flockungshilfsmitteln nur sehr schlecht sedimentiert, kann durch die im Ausgleichs- und Kontaktbecken optional durchgeführte interne Zirkulation nur ein sehr geringer Teil an Pulveraktivkohle vom äußeren in den inneren Bereich des Beckens zurückgeführt werden. Dadurch ergibt sich direkt in der adsorptiven Reinigungsstufe nur eine sehr geringfügige

	Kläranlage				
	A	**B**	**C**	**D**	**E**
Allgemeine Angaben					
Ausbaugröße	24 000 E	43 000 E	250 000 E	725 000 E	125 000 E
Einwohnerwert[1)]	25 600 E	56 300 E	141 200 E	517 700 E	58 100 E
maximaler Zufluss Q_m	252 L/s	450 L/s	2000 L/s	4000 L/s	980 L/s
biologisches Verfahren	einstufiges Belebungsverfahren		Tropfkörper mit nachgeschalteter Denitrifikation	einstufiges Belebungsverfahren	
Adsorptive Reinigungsstufe					
eingesetztes Verfahren	Adsorptionsstufe				AFF-Anlage
maximaler Durchsatz $Q_{max, ads.}$	265 L/s	250 L/s	1000 L/s	300 L/s[2)]	980 L/s
minimale Aufenthaltszeit im Kontaktreaktor bzw. im Kontakt- und Ausgleichsbecken	35 min	57 min	30 min	39 min	79 min
Betriebsbedingungen im Untersuchungszeitraum					
$CSB_{gelöst}$ im Zulauf (= Ablauf NKB)	12–16 mg/L	14–18 mg/L	21–25 mg/L	18–31 mg/L	10–14 mg/L
Pulveraktivkohleprodukt	SAE Super (Fa. Norit)				
PAC-Dosiermenge im Tagesmittel	11–12 mg/L	5–9 mg/L	10 mg/L	10 mg/L	14–28 mg/L
Feststoffgehalt im Kontaktreaktor bzw. im Kontakt- und Ausgleichsbecken im Tagesmittel	4,1–4,4 g/L	3,2–3,9 g/L	2,6–3,3 g/L	2,0–3,1 g/L	13–33 mg/L

1) Mittelwert der Jahre 2010 bis 2012, Ermittlung über den mittleren CSB-Wert im Zulauf und die Jahresabwassermenge [6]
2) Es ist geplant, den maximalen Durchsatz auf 1500 L/s zu erhöhen.

Tabelle 1: Kenndaten der untersuchten Kläranlagen

Anreicherung und somit Mehrfachbeladung der Aktivkohle. Gleichzeitig steht aber in der biologischen Reinigungsstufe, durch die Rückführung von gering beladener Aktivkohle, eine noch vergleichsweise hohe Adsorptionskapazität zur Verfügung. Im Vergleich dazu wird die Pulveraktivkohle bei der Anwendung in einer Adsorptionsstufe bereits in der adsorptiven Reinigungsstufe deutlich höher beladen, sodass die in der Biologie noch zur Verfügung stehende Adsorptionskapazität geringer ist.

3 Randbedingungen

Bei den untersuchten Kläranlagen handelt es sich um Anlagen der Größenklassen 4 und 5 mit Ausbaugrößen zwischen 24 000 E und 725 000 E. Als biologisches Verfahren findet in der Regel das einstufige Belebungsverfahren Anwendung. Lediglich auf der Kläranlage C erfolgt die biologische Reinigung über Tropfkörper.

Weitere Unterschiede bestehen in der gewählten adsorptiven Verfahrenstechnik und deren Umsetzung. Während auf den Kläranlagen A bis D die Pulveraktivkohle in einer Adsorptionsstufe eingesetzt wird, findet auf der Kläranlage E das AFF-Verfahren Anwendung. Da mit der Nachrüstung einer Kläranlage um eine zusätzliche Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffentnahme das Ziel verfolgt wird, den Frachteintrag dieser Substanzen in ein Gewässer zu reduzieren, genügt es, diese Stufe als Teilstrombehandlung auszulegen. Auswertungen von Jahresdaten mehrerer Kläranlagen in Baden-Württemberg haben gezeigt, dass mit einer Ausbaugröße der zusätzlichen Reinigungsstufe für einen Teilstrom von etwa 50 Prozent des maximal behandelbaren Mischwasserzuflusses etwa 90 Prozent der jährlich biologisch gereinigten Abwassermenge gezielt behandelt werden kann [5]. Während auf den Kläranlagen B und C bereits die gesamte vorgesehene Ausbaugröße zur Teilstrombehandlung umgesetzt wurde, ist auf der Kläranlage D bislang nur ein Fünftel der geplanten Ausbaugröße realisiert, was einem Zufluss von maximal 300 L/s entspricht. Im Zeitraum der durchgeführten Messkampagne wurde die Adsorptionsstufe allerdings mit einer konstanten Abwassermenge von 200 L/s beschickt.

Die wesentlichen Kenngrößen zur Beschreibung der Kläranlagen sowie zum Betrieb der adsorptiven Reinigungsstufen während der Untersuchungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Untersuchungen auf den verschiedenen Kläranlagen erfolgten im Juni und Juli 2013 jeweils über einen zusammenhängenden Zeitraum, welcher zwischen acht und zehn Tage betrug. Eine zeitliche Parallelität der entsprechenden Beprobungen war allerdings nicht gegeben. Obwohl beabsichtigt war, die Beprobungen bei Trockenwetter durchzuführen, kam es bei einer der Kläranlagen mit Teilstrombehandlung an drei Tagen zur zeitweisen Bypassführung. Entsprechende Tage wurden bei den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Um die einzelnen Reinigungsleistungen der adsorptiven Stufen miteinander vergleichen zu können, wurde für den Beprobungszeitraum eine Dosiermenge von 10 mg/L PAC vorgegeben. Aufgrund einer Lieferverzögerung konnte diese Vorgabe auf der Kläranlage B allerdings nicht durchgehend erfüllt werden. Da auf der Kläranlage E die Zugabe an Pulveraktivkohle in Abhängigkeit der im Abwasser vorliegenden Farbstofffracht erfolgen muss, wurden im Untersuchungszeitraum, aufgrund täglich schwankender Frachten, zwischen 14 und 28 mg/L PAC dosiert.

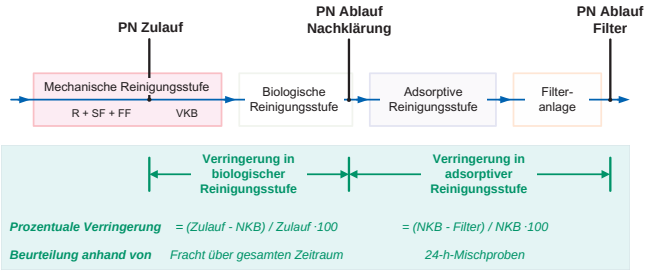


Abb. 3: Bilanzierung der Reinigungsleistung

Die Feststoffgehalte in den Kontaktreaktoren der Adsorptionsstufen lagen zwischen 2,0 und 4,4 g/L, wohingegen die Feststoffgehalte im Kontakt- und Ausgleichsbecken der Kläranlage E mit Werten zwischen 15 und 30 mg/L ungefähr den zudosierten Mengen an Pulveraktivkohle entsprachen.

4 Beurteilungskonzept

Um sowohl Erkenntnisse über die Spurenstoffsituation in den Zuläufen der Kläranlagen zu gewinnen als auch für die Beurteilung der Reinigungsleistung innerhalb der Kläranlage, wurden im Zulauf, im Ablauf der Nachklärung und im Ablauf der Filteranlage mengenproportionale 24-h-Mischproben gezogen. Vor der Spurenstoffanalyse wurden sämtliche Proben membranfiltriert, da ausschließlich die Verbesserung der gelösten Abwasserfraktion bewertet werden sollte. Zudem ist ein Vergleich zwischen den Leistungen verschiedener adsorptiver Reinigungsstufen nur auf Basis der gelösten Phase möglich.

Die Standorte der Probenehmer im Zulauf befinden sich je nach untersuchter Kläranlage entweder vor dem Sand- und Fettfang oder, wie in Abbildung 3 dargestellt, vor der Vorklärung. Da jedoch davon ausgegangen werden kann, dass die im Rahmen dieser Messkampagne analysierten Spurenstoffe in der mechanischen Reinigungsstufe in keinem nennenswerten Umfang entfernt werden [7], wird mit der „Zulauf"-Probe sowohl der Eintrag in die Kläranlage als auch in die biologische Reinigungsstufe hinreichend genau erfasst.

Die Beurteilung der Verringerung in der biologischen Stufe erfolgt anhand der Gegenüberstellung der Zu- und Ablauffracht über den gesamten auswertbaren Zeitraum. Hierdurch wird der Einfluss eines individuellen Zeitversatzes weitgehend umgangen, der bei einer Beurteilung anhand von 24-h-Mischproben in Ansatz gebracht werden müsste [8]. Für die Kläranlage D kann eine Entnahme in der Biologie nicht berechnet werden, da die Probenahme im Ablauf der Nachklärung aufgrund der konstanten Beschickung der Adsorptionsstufe mit 200 L/s zeitproportional erfolgte.

Durch die beiden Probenahmestellen „Ablauf Nachklärung" und „Ablauf Filter" wird die Verbesserung der Abwasserqualität durch das „adsorptive Gesamtsystem" erfasst, das sich aus der adsorptiven Reinigungsstufe und dem Filter zusammensetzt. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die überwiegende Entnahme der Spurenstoffe in der adsorptiven Stufe und nicht im Filter erfolgt. Dies bestätigen Spurenstoffmessungen, die auf der Kläranlage Mannheim sowohl im Ablauf des Sedimentationsbeckens als auch im Ablauf des Filters durchgeführt wurden [9]. Zudem kann mit der Probenahmestelle „Ablauf Filter" annähernd die Ablaufqualität der Kläranlage bestimmt werden, sofern im Filter ein weitestgehender Partikelrückhalt gegeben ist.

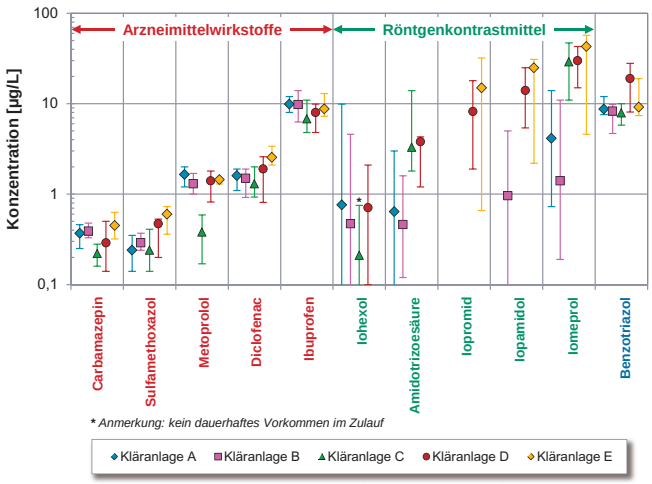


Abb. 4: Mediankonzentrationen der analysierten Substanzen in den Zuläufen der Kläranlagen

5 Spurenstoffvorkommen in den Zuläufen der Kläranlagen

In Abbildung 4 sind die Mediankonzentrationen der analysierten Substanzen in den Zuläufen der Kläranlagen dargestellt. Mediankonzentrationen von unter 100 ng/L wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt, zumal sich gezeigt hat, dass in diesen Fällen die Substanzen nicht dauerhaft im Zulauf vorliegen. Als „dauerhaft" wird hierbei das Vorkommen oberhalb der Bestimmungsgrenze in über 80 Prozent aller Messungen je Kläranlage definiert.

Auffallend ist zunächst, dass sämtliche Arzneimittelwirkstoffe sowie Benzotriazol in den Zuläufen aller Kläranlagen dauerhaft vorliegen. Gleichzeitig zeigt sich, dass je betrachteter Substanz die Konzentrationen in den einzelnen Kläranlagen in der Regel ähnlich hoch sind, wobei Carbamazepin und Sulfamethoxazol in vergleichsweise geringen Konzentrationen ($c_{Medi-an} < 1\ \mu g/L$) nachgewiesen werden, während Metoprolol, Diclofenac und Ibuprofen in Konzentrationen zwischen 1 und 10 $\mu g/L$ in die Kläranlagen gelangen. Ein wesentlich uneinheitlicheres Bild ergibt sich für die untersuchten Röntgenkontrastmittel, sowohl in Bezug auf deren generelles Vorkommen als auch hinsichtlich der jeweiligen Konzentrationen: Von insgesamt fünf Röntgenkontrastmitteln werden je Kläranlage meist nur zwei bis vier Vertreter dieser Substanzklasse dauerhaft oberhalb deren Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Iomeprol ist hierbei das einzige Röntgenkontrastmittel, das zwar auf allen fünf Kläranlagen dauerhaft im Zulauf vorliegt, dies jedoch, wie auch die übrigen Röntgenkontrastmittel, in sehr unterschiedlichen Konzentrationen. Der Faktor zwischen der minimal und der maximal ermittelten Mediankonzentration liegt für Iomeprol bei rund 30. Darüber hinaus kann Abbildung 4 entnommen werden, dass bei den Zulaufkonzentrationen der Röntgenkontrastmittel größere Schwankungen vorliegen als bei denjenigen der Arzneimittelwirkstoffe. Dies ist hauptsächlich auf das deutlich verminderte Vorkommen von Röntgenkontrastmitteln im Kläranlagenzulauf am Wochenende zurückzuführen [8].

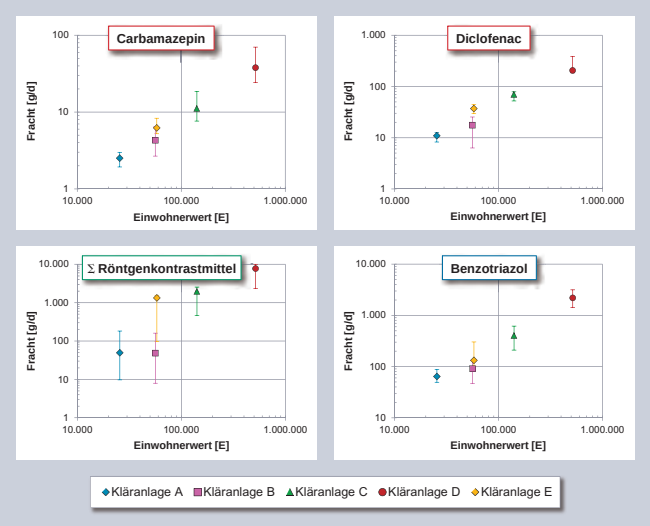


Abb. 5: Zulauffrachten ausgewählter Spurenstoffe in Abhängigkeit des Einwohnerwerts der Kläranlage (Medianwerte)

Anhand gemessener Konzentrationen kann allerdings keine Aussage über das absolute Vorkommen von Substanzen in den Kläranlagenzuläufen getroffen werden, da es sich hierbei um eine Gehaltsangabe handelt, die auf das Volumen bezogen ist. Ein und dieselbe Fracht kann sich demnach in einer niedrigen oder in einer hohen Konzentration darstellen. Ausschlaggebend ist lediglich die vorliegende Abwassermenge, die wiederum von der Höhe des Fremdwasseranteils oder von Regenereignissen beeinflusst werden kann. Daher sind in Abbildung 5 zusätzlich die Zulauffrachten für ausgewählte Substanzen in Abhängigkeit der tatsächlichen Belastung der Kläranlage, ausgedrückt durch deren Einwohnerwert, dargestellt. Für Carbamazepin und Diclofenac, welche stellvertretend für die übrigen drei Arzneimittelwirkstoffe abgebildet sind, sowie für Benzotriazol ergibt sich jeweils ein näherungsweise linearer Zusammenhang. Bei den Röntgenkontrastmitteln erscheint es sinnvoll, diese in Summe zu betrachten, da die einzelnen Vertreter in jeweils unterschiedlichen Mengen, aber letztlich zum selben Zweck, eingesetzt werden. Es ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den „kleineren“ und den „größeren“ Kläranlagen: Für die beiden Kläranlagen A und B beträgt die Zulauffracht an Röntgenkontrastmitteln im Median jeweils rund 50 g/d, wohingegen die Zulauffrachten der übrigen Anlagen sowohl absolut als auch insbesondere auf die Einwohnerwerte bezogen deutlich höher liegen. Für die Kläranlage E beispielsweise, die vergleichbare Einwohnerwerte aufweist wie die Kläranlage B, liegt die Zulauffracht im Median bei rund 1300 g/d und damit um den Faktor 25 höher als diejenige der Kläranlage B.

6 Gesamtentnahme von Spurenstoffen in den Kläranlagen

Die Gesamtentnahme von Spurenstoffen innerhalb der Kläranlage setzt sich aus der Entnahme in der biologischen Stufe und derjenigen in der adsorptiven Stufe zusammen. In diesem Zusammenhang gilt es allerdings nochmals darauf hinzuweisen, dass der biologische Schlamm die zurückgeführte Überschusskohle beinhaltet und somit eine mögliche, adsorptive Entnahme impliziert. Auswertungen zu dieser Gesamtentnahme zeigt

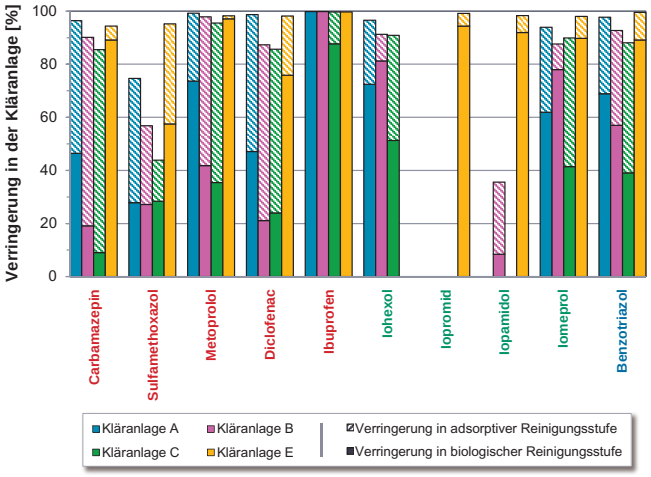


Abb. 6: Zusammensetzung der Gesamtentnahme von Spurenstoffen in den Kläranlagen

Abbildung 6. Dargestellt ist die Entnahmerate für die entsprechende Substanz allerdings nur dann, wenn die Medankonzentration im Zulauf der betrachteten Kläranlage bei über 100 ng/L liegt. Da Amidotrizoesäure auf allen Kläranlagen in keinem nennenswerten Umfang entfernt wird, ist dieses Röntgenkontrastmittel in der Abbildung nicht berücksichtigt.

Es zeigt sich, dass die untersuchten Stoffe großteils zu über 80 Prozent in den Kläranlagen eliminiert werden. Die Zusammensetzung der Gesamtentnahme ist allerdings je nach Substanz und Kläranlage unterschiedlich. Beispielweise wird Carbamazepin in der Kläranlage A bereits etwa zur Hälfte in der biologischen Stufe entfernt, wohingegen für diese Substanz auf der Kläranlage B der Anteil der Entnahme in der biologischen Stufe nur etwa 20 Prozent an der Gesamtentnahme ausmacht. Ibuprofen ist die einzige der untersuchten Substanzen, die als vergleichsweise gut biologisch entfernbar gilt und deren Analyse daher eine allgemeingültige Aussage über den Eliminationsumfang von Spurenstoffen in der biologischen Stufe erlaubt. In den Kläranlagen A, B und E, allesamt Kläranlagen mit einer Belebungsanlage, weist Ibuprofen bereits in der Biologie eine nahezu vollständige Entnahme auf. Auf der Kläranlage C hingegen, bei der die biologische Reinigung über Tropfkörper

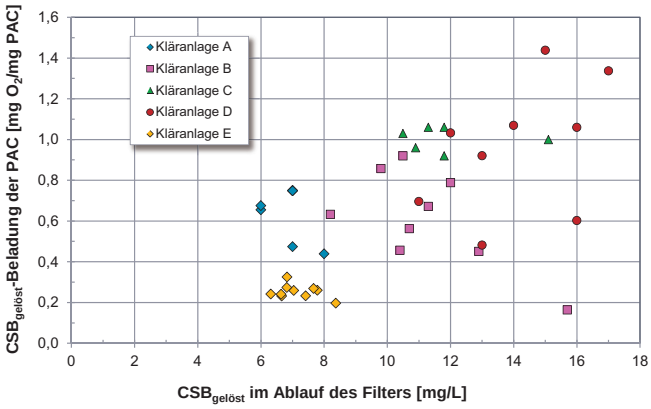


Abb. 7: Rechnerische CSB$_{gelöst}$-Beladung der Pulveraktivkohle in den adsorptiven Reinigungsstufen unter der Annahme, dass die gesamte Entnahme an gelöster Restorganik der Pulveraktivkohle zuzuschreiben ist

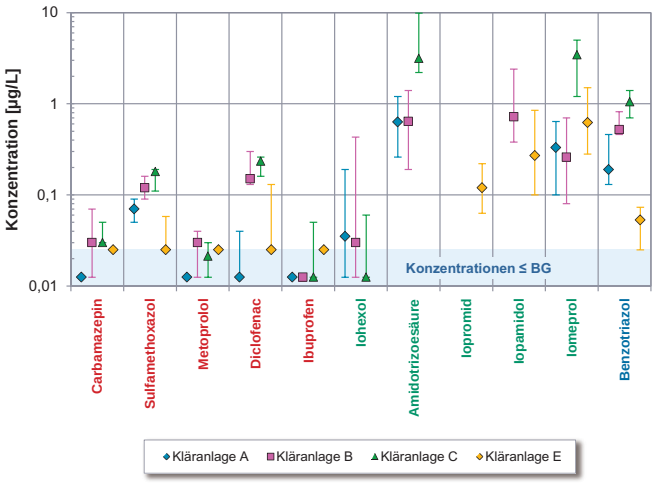


Abb. 8: Mediankonzentrationen der analysierten Substanzen in den Abläufen der Kläranlagen

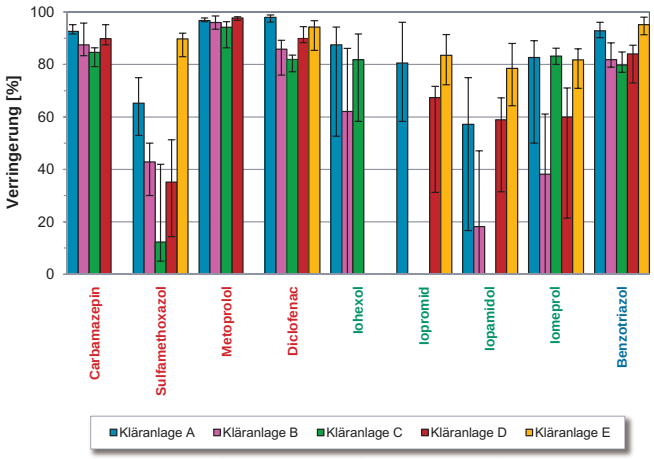


Abb. 9: Entnahme von Spurenstoffen im System „adsorptive Stufe + Filter“ (Medianwerte)

erfolgt, beträgt die Verringerung in dieser Stufe rund 10 Prozentpunkte weniger.

Auffallend ist zudem, dass auf der Kläranlage E, im Vergleich zu den anderen Kläranlagen, bei fast allen Substanzen der überwiegende Teil der Spurenstoffelimination bereits in der biologischen Stufe erfolgt. Da auf dieser Kläranlage während der Beprobung im Mittel etwa 20 mg/L PAC und damit doppelt so viel wie auf den anderen Kläranlagen dosiert wurde, erklärt dies möglicherweise die starke Verlagerung der Spurenstoffentnahme in Richtung Biologie, zumal die Aktivkohle in der AFF-Anlage mit rund 0,25 mg O_2/mg PAC am geringsten beladen war (vgl. Abbildung 7).

In den Abläufen der Kläranlagen liegen die analysierten Substanzen, je nach Konzentration im Zulauf der Kläranlage und deren Verringerung während des Reinigungsprozesses, in unterschiedlich hohen Konzentrationen vor. Meist liegen die Konzentrationen der Arzneimittelwirkstoffe unter 100 ng/L, teilweise sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze, die je nach Analysenintitut 25 bzw. 50 ng/L beträgt. Bei einer Unterschreitung der Konzentration der Bestimmungsgrenze ist in Abbildung 8 die halbe Konzentration der Bestimmungsgrenze dargestellt. Die Röntgenkontrastmittel sowie Benzotriazol kommen hingegen in rund 10-fach höheren Konzentrationen vor.

7 Entnahme von Spurenstoffen in den adsorptiven Reinigungsstufen

Während im vorangegangenen Abschnitt die Spurenstoffentnahme in Bezug auf die gesamte Kläranlage dargestellt wurde, zeigt Abbildung 9 die Entnahme in den adsorptiven Stufen. Im Diagramm sind die jeweiligen Entnahmeraten nur dann dargestellt, wenn die entsprechende Substanz in über 80 Prozent der Beprobungsdauer im Ablauf der Nachklärung oberhalb deren Bestimmungsgrenze vorlag. Adsorptiv sehr gut entfernbare Substanzen wie beispielsweise Carbamazepin oder Metoprolol werden bei einer Dosiermenge von etwa 10 mg/L PAC auf allen Kläranlagen in einem hohen Umfang, d. h. zu mindestens 80 Prozent, entfernt. Auf der Kläranlage E hingegen liegen die Konzentrationen im Zulauf der AFF-Anlage für diese beiden Substanzen aufgrund der fast vollständigen Entnahme in der Biologie meist bereits unterhalb der Bestimmungsgrenze. Deutlichere Unterschiede in Bezug auf die Reinigungsleistung der einzelnen adsorptiven Verfahrensstufen ergeben sich erst bei Betrachtung der schlechter entfernbaren Substanzen wie beispielsweise Sulfamethoxazol oder Iopamidol. Hier zeigt sich, dass die AFF-Anlage der Kläranlage E generell eine eher hohe Reinigungsleistung aufweist. Dies ist in erster Linie auf die vergleichsweise hohen Dosiermengen an frischer Pulveraktivkohle zurückzuführen. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass der sehr niedrige Gehalt an gelöster Restorganik im Zulauf der adsorptiven Stufe ($CSB_{gelöst} < 14$ mg/L) die Spurenstoffentnahme generell begünstigt, da somit weniger Konkurrenz um die Sorptionsplätze auf der Aktivkohle herrscht. Für die Kläranlage A liegen die $CSB_{gelöst}$-Werte im Zulauf der Adsorptionsstufe in einem ähnlichen Bereich, allerdings wurden hier im Mittel nur etwa 11 mg/L PAC zudosiert. Generell schlecht adsorbierbare Substanzen werden zwar in einem geringeren Umfang entfernt als auf der Kläranlage E, im Vergleich zu den übrigen Kläranlagen ist die Reinigungsleistung aber etwas höher.

Weiterhin zeigt Abbildung 9, dass die Reinigungsleistung für einzelne Substanzen umso stabiler ist, je besser die Substanzen adsorptiv entfernbar sind. Mit „stabil“ ist hierbei eine möglichst geringe Abweichung zwischen der im Untersuchungszeitraum minimal und maximal ermittelten Eliminationsleistung gemeint. Während diese Spannweite für sehr gut entfernbare Stoffe maximal etwa 15 Prozentpunkte beträgt, erreicht sie bei schlecht eliminierbaren Stoffen teilweise 60 Prozentpunkte oder mehr.

8 Fazit

Die Messungen in den Zuläufen der Kläranlagen zeigen, dass sowohl die analysierten Arzneimittelwirkstoffe als auch Benzotriazol unabhängig von der Größenklasse einer Kläranlage dauerhaft in Konzentrationen von über 100 ng/L im Abwasser auftreten. Anhand der stoffspezifischen Frachteinträge können folglich die Zulaufbelastungen anderer Kläranlagen mit diesen Stoffen prognostiziert werden. Von den fünf untersuchten Röntgenkontrastmitteln lassen sich hingegen im Kläranlagenzulauf meist jeweils nur zwei bis vier Vertreter dieser Substanzklasse dauerhaft in Konzentrationen von über 100 ng/L nachweisen, wobei der generelle Eintrag je Kläranlage meist von einer Substanz dominiert wird. Dies verdeutlicht, dass je nach Region unterschiedliche Röntgenkontrastmittel bevorzugt eingesetzt werden.

Anhand der Ergebnisse der durchgeführten Messkampagne kann weiterhin gezeigt werden, dass sich der bislang überwiegend aus halbtechnischen Untersuchungen bekannte Eliminationsumfang für Spurenstoffe bei der Anwendung von Pulveraktivkohle in entsprechendem Maße auch im technischen Betrieb dauerhaft darstellt [10]. Bei allen Kläranlagen, unabhängig der jeweiligen Größenklasse, werden die untersuchten Substanzen bei einer Dosierung von rund 10 mg/L PAC innerhalb der Kläranlage großteils zu über 80 Prozent entfernt. Individuelle Unterschiede zwischen den einzelnen Reinigungsleistungen der fünf untersuchten Kläranlagen lassen sich primär für adsorptiv schlechter entfernbare Substanzen wie beispielsweise Sulfamethoxazol oder Iopamidol feststellen. Ein direkter Vergleich zwischen den Eliminationsleistungen gestaltet sich allerdings schwierig, da jeweils andere Randbedingungen gegeben sind. So ist bei einer Bewertung grundsätzlich der Gehalt an gelöster Restorganik als auch die Dosiermenge an Pulveraktivkohle zu berücksichtigen.

Die Gesamtentnahme innerhalb der Kläranlage lässt sich wiederum untergliedern in die Verringerung in der biologischen Stufe und die Verringerung in der nachgeschalteten adsorptiven Stufe. Es hat sich gezeigt, dass die Substanzen zum Teil bereits in erheblichem Umfang in der biologischen Reinigungsstufe aus dem Abwasser entfernt werden. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass die Entnahme in der biologischen Stufe die Wirkung der zurückgeführten Überschusskohle mit beinhaltet. Um demnach eine Aussage über die zusätzliche Reinigungsleistung durch die Anwendung der Pulveraktivkohle machen zu können, bedarf es Kenndaten zum Eliminationsumfang der untersuchten Spurenstoffe durch die bislang erfolgte biologische Abwasserbehandlung. Zukünftig sollte daher vor dem Ausbau einer Kläranlage der „Ist-Zustand" der Spurenstoffelimination aufgenommen werden. In der adsorptiven Reinigungsstufe werden die meisten der analysierten Substanzen, gegenüber deren Eintrag in diese Stufe, ebenfalls zu über 80 Prozent eliminiert. Berücksichtigt man, dass die Rückführung der Aktivkohle in die biologische Stufe bereits zu einer Entnahme in dieser Stufe führt, kann durch die Anwendung von Pulveraktivkohle die bislang nach rein biologischer Behandlung vorliegende Ablaufqualität in einem tendenziell noch höheren Umfang verbessert werden.

Wenngleich die Untersuchungen belegen, dass mit dieser neuen Verfahrenstechnik keine „Null-Emission" hinsichtlich der Spurenstoffe möglich ist, so zeigen sie doch, dass mit der Anwendung von Aktivkohle auf Kläranlagen ein Beitrag zur Verringerung von anthropogen bedingten Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt geleistet werden kann.

Dank

Die Autoren danken dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg für die finanzielle Förderung des Vorhabens 351/2013. Darüber hinaus gilt der Dank Herrn Müller (Kläranlage Kressbronn-Langenargen), Herrn Bucksch (Kläranlage Stockacher Aach), Herrn Krause (Kläranlage Albstadt-Ebingen), Herrn Schwentner (Kläranlage Böblingen-Sindelfingen) und Herrn Hein (Kläranlage Mannheim) sowie ihren jeweiligen Mitarbeitern, welche die Durchführung der Messkampagne tatkräftig unterstützt haben.

Literatur

[1] Menzel, U.: *Optimierter Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination organischer Reststoffe aus Kläranlagenabläufen*, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 143, 1997

[2] Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H.: *Spurenstoffbericht*, Abschlussbericht zu dem im Auftrag des Regierungspräsidiums Karlsruhe durchgeführten Forschungsvorhaben zu Untersuchungen der Elimination von Spurenschadstoffen in der PAC-Anlage der Kläranlage Mannheim, Dezember 2012, *www.koms-bw.de/pulsepro/data/img/uploads/Adsorptionsstufe_Spurenstoffbericht.pdf* (Stand: 18. Februar 2014)

[3] Rößler, A.: *Betriebsbedingungen und Leistung einer Sandfilteranlage nach Aktivkohlebehandlung von Abwasser*, Diplomarbeit am Institut für GEO und UMWELT der Hochschule Biberach, 2007

[4] Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H.: *Machbarkeitsstudie zur Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung*, Februar 2013 (unveröffentlicht)

[5] Metzger, S., Kapp, H.: *Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen*, Vortrag bei der VSA-Fachtagung „Technische Verfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser" am 28. Oktober 2008 in Regensdorf/Schweiz, veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

[6] Schwentner, G. (Kläranlage Böblingen-Sindelfingen): persönliche E-Mail, 27. September 2013

[7] DWA: *DWA-Themenband „Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen"*, in Vorbereitung

[8] Rößler, A., Metzger, S.: *Bestimmung der Spurenstoffelimination in Kläranlagen mit Aktivkohleeinsatz*, Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Dezember 2013 (unveröffentlicht)

[9] Schönung, J. (Kläranlage Mannheim): persönliche E-Mail, 27. November 2012

[10] Neifer, H.: *Technische Möglichkeiten bei der Abwasserbeseitigung*, Vortrag beim Kongress „Arzneimittel – Spurenschadstoffe im Wasserkreislauf und Boden" am 17. Mai 2006 in Stuttgart, veranstaltet vom Umweltministerium Baden-Württemberg, *www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/104613/Dokumentation_Arzneimittelkongress.pdf?command=downloadContent&filename=Dokumentation_Arzneimittelkongress.pdf* (Stand: 20. Februar 2014)

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
Dr.-Ing. Steffen Metzger
Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

E-Mail: annette.roessler@koms-bw.de

Interview mit Dr.-Ing. Steffen Metzger, Leiter des Kompetenzzentrums Spurenstoffe Baden-Württemberg und André Hildebrand, Geschäftsführer des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg

Mit gebündelter Kompetenz gegen Spurenstoffe im Abwasser

Eine Vielzahl an synthetischen Rückständen findet sich zunehmend im Abwasser wieder. Da diese organischen Spurenstoffe mit den üblichen technischen Klärverfahren nicht entfernt werden können, gelangen sie in die Umwelt. Dort werden sie nur sehr langsam oder gar nicht abgebaut. Wegen zunehmender Bestrebungen, diese Spurenstoffe aus dem Kläranlagenablauf zu eliminieren, wurden in Baden-Württemberg mehrere Kläranlagen um eine Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffentnahme nachgerüstet. Begleitend hierzu wurde im April 2012 das „Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden Württemberg" (KomS) ins Leben gerufen. Diese Kooperation zwischen der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg wird gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

Wasser und Abfall: *Herr Dr. Metzger, können Sie die Problematik zum Thema Spurenstoffe im Abwasser kurz erläutern – warum sollten diese Stoffe auf jeden Fall eliminiert werden?*
Dr.-Ing. Steffen Metzger: Die Palette der auch in kleinsten Mengen im Wasser bzw. Abwasser nachweisbaren Spurenstoffe ist breit gefächert, was freilich auch darauf zurückzuführen ist, dass die Analytik in den letzten Jahren immer leistungsfähiger geworden ist. Bislang besteht keine Gefahr für den Menschen durch das Vorhandensein dieser Stoffe in unseren Gewässern. Aber wir dürfen bei diesem Thema nicht einfach wegsehen: Auswirkungen auf Organismen in den aquatischen Ökosystemen sind leider nicht wegzudiskutieren. So haben Versuche gezeigt, dass bestimmte Verunreinigungen im Wasser schon in geringsten Konzentrationen binnen weniger Wochen zu einer nachweislichen „Verweiblichung" von männlichen Fischen führen! Die Eliminierung von Spurenstoffen aus dem Abwasser ist vor diesem Hintergrund ein grundlegender Baustein, wenn es darum geht, die Umwelt präventiv vor bislang unabsehbaren Folgen unseres Konsums zu schützen.

Dr.-Ing. Steffen Metzger

André Hildebrand

Wasser und Abfall: *Herr Hildebrand, wie sieht diese Prävention konkret aus?*
André Hildebrand: Nach heutigem Kenntnisstand werden sowohl die Anwendung von Ozon als auch der Einsatz von Aktivkohle als technisch realisierbare Verfahren angesehen, um Spurenstoffe gezielt aus dem Abwasser zu eliminieren. Beide Verfahrensprinzipien finden im Übrigen bereits seit langem in der Trinkwasseraufbereitung Anwendung. Der Einsatz von Ozon zielt darauf ab, die Spurenstoffe zu oxidieren, sprich chemisch zu spalten, damit sie keine umweltschädliche Wirkung mehr aufweisen; diesem Verfahren wird in der Schweiz ein hoher Stellenwert beigemessen. Baden-Württemberg hingegen setzt auf die Adsorption an Pulveraktivkohle, die dem Abwasser in einer zusätzlichen Reinigungsstufe zugeführt wird und, sobald sie mit den Mikroverunreinigungen angereichert ist, zusammen mit dem Klärschlamm wieder aus dem Reinigungssystem entnommen wird.

Wasser und Abfall: *Welche Rolle spielt in diesem Zusammenhang das Kompetenzzentrum?*

Dr.-Ing. Steffen Metzger: Das KomS versteht sich als Plattform für den Wissensaustausch rund um die Thematik der Spurenstoffe und deren Elimination wie auch als Kontaktbörse, wenn es um den Informationsaustausch zu den Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffentnahme geht. Ab 2003 wurde in Baden-Württemberg erstmals das beschriebene Aktivkohle-Verfahren in einem Pilotprojekt im Klärwerk Ulm im halbtechnischen Maßstab ausführlich untersucht. Auf Basis der daraus gewonnenen Ergebnisse sind auch einige Klärwerke im Land bereits mit einer zusätzlichen Klärstufe nachgerüstet worden. Nun gilt es vor allem zu prüfen und zu dokumentieren, wie sich das Verfahren im großtechnischen Maßstab bewährt, wie es verbessert und kosteneffizient betrieben werden kann, welche Standards sich auf technischer Ebene ableiten lassen und wie sich das ständig hinzugewonnene Wissen bündeln und verbreiten lässt.

André Hildebrand: Hinzu kommt, dass wir die Betreiber von Kläranlagen bei Implementierung und Betrieb von Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination auch aktiv unterstützen und durch gezielte Aufklärung und Bewusstseinsbildung das Thema in die Öffentlichkeit tragen. Im Kompetenzzentrum werden verschiedene Interessensgruppen – aus den Kommunen, Zweckverbänden, aus Forschung, Industrie und Verwaltung – gezielt zusammengeführt. Verfahrensentwicklung, Wissensaufbau und transparenter Wissenstransfer sind also zentrale Stichworte im Aufgabenkatalog des KomS.

Wasser und Abfall: *Im Kompetenzzentrum haben sich drei Kooperationspartner zusammengefunden – wer übernimmt dabei welchen Part?*

Dr.-Ing. Steffen Metzger: In dieser Kooperation aus drei unabhängigen Partnern liegt eine große Stärke des KomS. Die Universität Stuttgart und die Hochschule Biberach bringen ihre wissenschaftliche Kompetenz und das technologische Know-how in die Optimierung und Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik, Dokumentation und Auswertung von Messergebnissen etc. ein. Der DWA-Landesverband übernimmt schwerpunktmäßig das breite Spektrum an organisatorischen Aufgaben sowie die Öffentlichkeitsarbeit. Dank seiner gewachsenen Verbindungen und Strukturen kann er hier die Brücke zu den Kommunen und den kommunalen Verbänden bauen und leistet so einen wertvollen Beitrag zur Verbreitung und Verankerung der Thematik wie auch des technischen Verfahrens.

André Hildebrand: Was man im kommunalen Zusammenhang nicht vergessen darf, ist die Bedeutung der Nachbarschaftsidee, die auf interkommunalen Erfahrungsaustausch, Vernetzung und gemeinschaftliches Handeln abzielt. Die damit verbundenen Synergieeffekte fördert der DWA-Landesverband in verschiedenen Themenbereichen seit langem gezielt und mit großem Erfolg.

Wasser und Abfall: *Herr Hildebrand, Sie erwähnten die Öffentlichkeitsarbeit. Was ist hier Ihr vorrangiges Ziel?*

André Hildebrand: Ein Großteil der organischen Spurenstoffe wird nach der Einnahme von hormonellen Verhütungs-

oder Schmerzmitteln (z. B. Diclofenac) bzw. dem Konsum von Lebensmitteln, die synthetische Substanzen (z. B. Süßstoffe) beinhalten, mit den menschlichen Ausscheidungen ins Abwasser eingebracht; darüber hinaus spielen auch Inhaltsstoffe aus Pflege- und Putzmitteln bzw. die unsachgemäße Entsorgung von Arzneimitteln über die Toilette im Kontext der Mikroverunreinigungen eine Rolle. Zu den Hauptverursachern gehört in diesem Fall nicht, wie man zunächst vielleicht vermuten möchte, die chemische Industrie, sondern vielmehr Haushalte und Endverbraucher. Die Bürgerinnen und Bürger müssen also über die Kommunen aktiv in das Thema einbezogen werden, um zu erkennen, dass die Entfernung der Stoffe aus dem Wasser nur einen präventiven Baustein darstellt. Durch das eigene Verhalten zu vermeiden, dass solche Stoffe überhaupt erst in die Umwelt gelangen, ist mindestens genauso wichtig – zumal die Herstellung von Aktivkohle (wie auch die Anwendung von Ozon) mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist. Fazit: Die beste Prävention ist, die Stoffe von vornherein aus dem Abwasser fernzuhalten – und das fordert eine entsprechend starke Öffentlichkeitsarbeit in Sachen Bewusstseinsbildung beim Konsumenten!

Wasser und Abfall: *Herr Dr. Metzger, Sie haben Kooperationen mit anderen Kompetenzzentren angesprochen. Welche sind das und wie sieht diese Zusammenarbeit konkret aus?*
Dr.-Ing. Steffen Metzger: Wir stehen im regen Kontakt mit der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen". Man trifft sich regelmäßig und wechselweise im Rahmen von Veranstaltungen und zum Erfahrungsaustausch. In dieser länderübergreifenden Kooperation mit den Schweizer Kollegen (– die auch so etwas wie einen Symbolcharakter hat, weil schließlich ja auch das Wasser vor Ländergrenzen keinen Halt macht! –) geht es z. B. darum, Synergieeffekte beim Austausch von Messergebnissen zu nutzen – schließlich muss das Rad nicht immer wieder neu erfunden werden. Ähnlich gestaltet sich auch die Kooperation mit dem „Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe" des Landes Nordrhein-Westfalen.

Wasser und Abfall: *Inwieweit entspricht das Pulveraktivkohle-Verfahren dem aktuellen Stand der Technik?*
Dr.-Ing. Steffen Metzger: Das Verfahren wurde bereits in mehreren Klärwerken im Land in den großtechnischen Zusammenhang überführt; dabei ist die Technik von Anfang an im Wesentlichen betriebsstabil gelaufen. Man könnte auch sagen: Die „Kinderkrankheiten" sind mittlerweile überwunden. Da der Betrieb der einzelnen Verfahrenskomponenten bis auf die Dosierung von Pulveraktivkohle dem Kläranlagenpersonal aus der bisherigen Arbeit bekannt ist, bedarf es hier keines zusätzlichen Spezialwissens. Zudem gehen die Betreiber durchwegs sehr souverän damit um. Im Grundsatz läuft die zusätzliche Reinigungsstufe also rund. Jetzt geht es eher darum, das Verfahren – auch im Hinblick auf die verwendeten Hilfsstoffe – zu optimieren, die Gegebenheiten vor Ort anzupassen und Wege zu finden, wie die Betreiber die Spurenstoffeliminierung selbstständig, also ohne die Spezialanalytik für die Bestimmung der Spurenstoffe, kontrollieren können. Hier gilt es für das KomS, seinen Beitrag zu leisten.

Wasser und Abfall: *„Aller Anfang ist schwer!" – Herr Hildebrand, hat dieses Sprichwort auch für den Start des Kompetenzzentrums gegolten? Wie waren bzw. sind die Resonanzen?*
André Hildebrand: Zugegebenermaßen ist der Anfang anstrengend und entsprechend „schwer" gewesen. Das lag vor allem auch daran, dass die vielen unterschiedlichen Fragestellungen erst einmal gebündelt und kanalisiert werden mussten. Aber inzwischen ist das KomS längst da angekommen, wo es sich selbst sehen möchte – und es kommt auch in den Kommunen an. Anders formuliert: Der Stein ist zu unserer Zufriedenheit ins Rollen gekommen!

Wasser und Abfall: *Mit wem arbeitet das KomS denn nun konkret vor Ort zusammen?*
André Hildebrand: Wir sind quasi Ansprechpartner auf allen Ebenen. Wir stehen im Kontakt mit Behörden und der Industrie ebenso wie mit den Ingenieurbüros oder dem Fachpersonal im Klärbetrieb. Die Kommunen als Anlagenbetreiber erhalten vom Kompetenzzentrum Beratung vor Ort und technischen Support, aber auch Unterstützung bei der Schulung des Betriebspersonals und in der Öffentlichkeitsarbeit – wenn es darum geht, die Bürger für die Thematik „ins Boot zu holen" und aufzuklären.

Wasser und Abfall: *Herr Dr. Metzger, die letzte Frage geht an Sie: Das KomS ist nunmehr seit über einem Jahr offiziell am Start. Welches Fazit ziehen Sie zu der bisherigen Arbeit?*
Dr.-Ing. Steffen Metzger: Wie bereits erwähnt, gab es dank der erwähnten Forschungsaktivitäten und Pilotprojekte die Jahre zuvor schon entsprechenden Vorlauf, um in die Thematik hineinzuwachsen. In diesem vergangenen Jahr seit der offiziellen Gründung des Kompetenzzentrums hat sich dann erfreulicherweise vieles bewegt. Der Kontakt zu den Kläranlagen ist hergestellt, wichtige Strukturen sind inzwischen ausgebildet, und so kann unser Kompetenzzentrum mit seinem Anliegen und in seiner Arbeit nun weiterwachsen. Maßgeblich zu verdanken ist das der offenen und guten Zusammenarbeit mit all jenen Menschen, die sich vor Ort auf allen Ebenen für die Spurenstoffelimination engagieren, den damit verbundenen Mehraufwand in Kauf nehmen und alles tun, dass sich was bewegt. Will hinzugefügt sein, dass das bislang alles auf freiwilliger Ebene und ohne gesetzliche Verpflichtung passiert. Allen, die zu diesem Erfolg und Vorwärtskommen ihren Beitrag leisten, sei an dieser Stelle im Namen des KomS ganz herzlich gedankt.

Das Interview führte unser Redaktionsmitglied Heidrun Steinmetz.

Kontaktdaten

Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW c/o
Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart
Internet: http://www.koms-bw.de/

Gert Schwentner, Walter Kremp, Alexander Mauritz,
Andreas Hein, Dr. Steffen Metzger und Annette Rößler*

Spurenstoffelimination in den Klärwerken Böblingen-Sindelfingen und Mannheim

Im Zuge der Diskussion über organische Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt werden Kläranlagen als einer der Hauptemittenten für das Vorkommen dieser Substanzen in den Gewässern angesehen. Neben Arzneimittelrückständen finden sich heute eine Vielzahl von Stoffen aus dem alltäglichen Gebrauch im Ablauf von kommunalen Kläranlagen wieder. Von einer Gefährdung des Menschen durch das Vorliegen von „Spuren" dieser Substanzen in den Gewässern ist nach Ansicht der Toxikologen derzeit nicht auszugehen, jedoch können langfristige Risiken durch die nicht wieder rückgängig zu machende Anreicherung von biologisch aktiven, organisch-synthetischen Substanzen in Organismen und Ökosystemen nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund haben sich in Baden-Württemberg mehrere Kläranlagenbetreiber dazu entschlossen, durch den Bau einer zusätzlichen adsorptiven Reinigungsstufe einen Beitrag zum Gewässerschutz zu leisten. Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse zur Reinigungsleistung sowie den daraus resultierenden Kosten am Beispiel der Klärwerke Böblingen-Sindelfingen und Mannheim vorgestellt.

1. Einführung

In Baden-Württemberg wurden in den letzten Jahren vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Vorsorge zur Gewässerreinhaltung mehrere Kläranlagen um eine zusätzliche adsorptive Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffentnahme erweitert[1]. Die bislang initiierten Maßnahmen beruhen auf freiwilliger Basis.

Die Anwendung von Aktivkohle zur Spurenstoffreduktion impliziert zugleich eine Verminderung der gelösten Restorganik des Abwassers. Untersuchungen haben gezeigt, dass bereits mit einer Dosiermenge von 10 mg/l Pulveraktivkohle die heutige nach biologischer Behandlung vorliegende gelöste Restorganik (CSB bzw. DOC) um etwa 40 Prozent verringert werden kann[2]. Hieraus ergibt sich einerseits eine teilweise Verrechnung der Investitionskosten für die Einrichtung der zusätzlichen Reinigungsstufe sowie andererseits eine dauerhafte Absenkung der jährlich fälligen Abwasserabgabe. Somit sind bei Anwendung der Technik und der damit

Foto: Klärwerk Mannheim

Abbildung 1: Aktuell realisierter Teil der Adsorptionsstufe im Klärwerk Mannheim

* Gert Schwentner ist Mitarbeiter beim Zweckverband Kläranlage Böblingen-Sindelfingen, Dipl.-Ing. Walter Kremp ist Mitarbeiter der Stadt Sindelfingen. Dipl.-Ing. Alexander Mauritz und Dipl.-Ing. Andreas Hein sind Mitarbeiter bei der Stadtentwässerung Mannheim. Dr. Steffen Metzger und Dipl.-Ing. Annette Rößler arbeiten beim Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg.

verbundenen Kosten neben den ökologischen Aspekten auch finanzielle Gesichtspunkte in die Bewertung mit einzubeziehen.

Im Klärwerk Mannheim wurde erstmals die von der Hochschule Biberach in Zusammenarbeit mit dem Zweckverband Klärwerk Steinhäule im halbtechnischen Maßstab untersuchte adsorptive Verfahrenstechnik großtechnisch umgesetzt (Abbildung 1). Durch Umnutzung vorhandener Becken konnte in einem ersten Schritt ein Fünftel der vorgesehenen Ausbaugröße, was einem Zufluss von 300 l/s entspricht, als adsorptive Stufe realisiert werden[3, 4], um zunächst Betriebserfahrungen mit der neuen Technik zu sammeln. Gleichzeitig erlaubt dieser Teilausbau einen direkten Vergleich zwischen der herkömmlichen mechanisch-biologischen und der um eine Adsorptionsstufe erweiterten Abwasserreinigung. Die Inbetriebnahme der adsorptiven Technik erfolgte im Juni 2010.

Im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen wurde die Adsorptionsstufe (Abbildung 2) entsprechend den Bemessungsvorgaben für eine Mindestaufenthaltszeit im Kontaktreaktor von 30 Minuten sowie einer Mindestaufenthaltszeit im Sedimentationsbecken von 120 Minuten und einer Oberflächenbeschickung von 2 m/h konsequent auf einen Zufluss von 1.000 l/s geplant und nach einer Bauzeit von 16 Monaten bereits im Oktober 2011 als bislang größte Adsorptionsstufe in Betrieb genommen.

2. Verfahrensprinzip

Das wesentliche Kennzeichen der angewandten Verfahrenstechnik zur weitergehenden Abwasserreinigung ist die Mehrfachbeladung von Aktivkohle. Diese wird zum einen durch die Führung der Pulveraktivkohle im Gegenstromprinzip und zum anderen durch die Entkopplung der Aufenthaltszeit des Abwassers von der Aufenthaltszeit der Pulveraktivkohle im System ermöglicht.

Hierzu wird die frische Pulveraktivkohle zunächst dem biologisch gereinigten Abwasser im Bereich des Kontaktreaktors der so genannten Adsorptionsstufe zugegeben (vgl. Abbildung 3). Um die Kohle im anschließenden Sedimentationsbecken abtrennen zu können, müssen dem Abwasser zusätzlich Flockungs- bzw. Fällmittel zum Aufbau einer absetzbaren Flocke als auch Polymere als Flockungshilfsmittel zudosiert werden. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte „Kohle-Schlamm" wird zur besseren Ausnutzung der Aktivkohle wieder als „Rücklaufkohle" in den Kontaktreaktor, der mit einem Feststoffgehalt von zirka 4 g/l betrieben wird, kontinuierlich zurückgeführt.

Während die Aufenthaltszeit des Abwassers im Kontaktreaktor für den Bemessungsfall minimal etwa 30 Minuten beträgt, verbleibt die Pulveraktivkohle durch die ständige Kreislaufführung mehrere Tage im System der Adsorptionsstufe und wird aus diesem in Form von Überschusskohle entnommen und im Sinne des Gegenstromprinzips in die biologische Reinigungsstufe zugegeben. Da dort ein höheres Konzentrationsniveau gegeben ist, kann eine weitere Beladung der Aktivkohle erfolgen.

Die unzureichende Abtrennung der Pulveraktivkohle durch Sedimentation erfordert es, dass nach der eigentlichen Verringerung von gelösten, organischen Substanzen als letzter Verfahrensschritt eine Filtration zur Sicherstellung eines nahezu feststofffreien Kläranlagenablaufs anzuordnen ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Feinstabtrennung durch einen konventionellen Sandfilter erfolgen kann[5]. Allerdings muss dieser für einen dauerhaften Rückhalt der Pulveraktivkohle als Flockungsfiltration betrieben werden[6, 7].

Abbildung 2: Adsorptionsstufe im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen

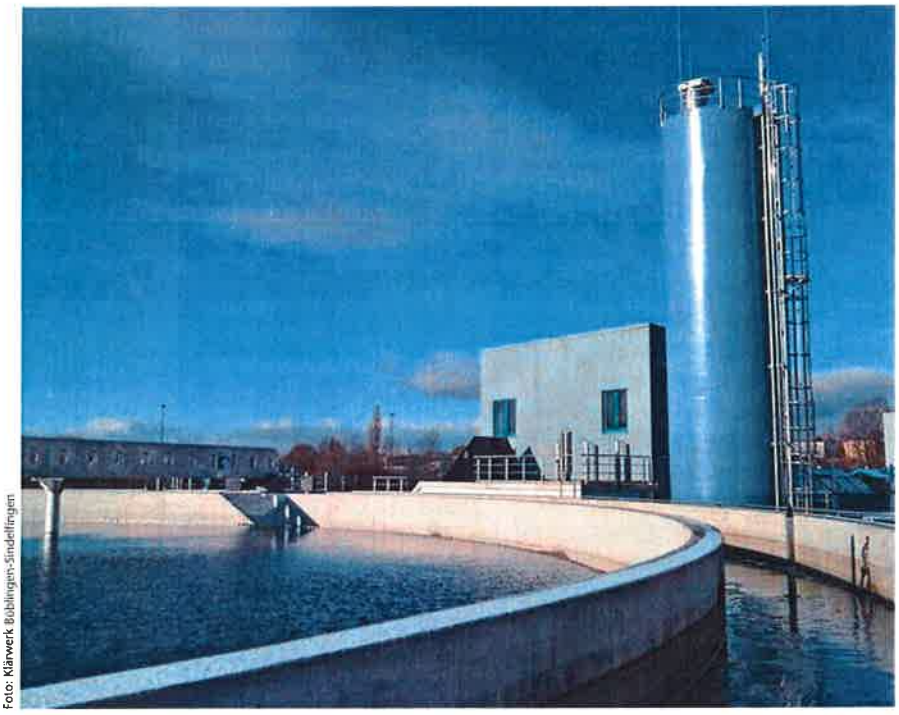


Foto: Klärwerk Böblingen-Sindelfingen

3. Umsetzung

Der Eintrag von Spurenstoffen verursacht keine akute Toxizität in einem Gewässer. Zudem ist nach Ansicht von Toxikologen derzeit nicht von einer Gefährdung des Menschen durch das Vorliegen von „Spuren" dieser Substanzen in den Gewässern auszugehen. Einige dieser Substanzen werden im Rahmen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie allerdings als „gefährliche Stoffe"

eingestuft[8], da deren Anwesenheit ökotoxikologische Wirkungen hinterlassen kann[9, 10]. Die Definition „gefährlich" bezieht sich dabei auf langfristige Risiken durch die nicht wieder rückgängig zu machende Anreicherung von biologisch aktiven, organisch-synthetischen Substanzen in Organismen und Ökosystemen.

Mit der Nachrüstung einer Kläranlage um eine zusätzliche Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffentnahme wird das Ziel verfolgt, den Frachteintrag von Spurenstoffen in ein Gewässer zu reduzieren. Auswertungen von Jahresdaten mehrerer Kläranlagen in Baden-Württemberg haben gezeigt, dass mit einer Ausbaugröße der zusätzlichen Reinigungsstufe für einen Teilstrom von etwa 50 Prozent des maximal behandelbaren Mischwasserzuflusses etwa 90 Prozent der jährlich biologisch gereinigten Abwassermenge gezielt behandelt werden kann[11]. Dies liegt in den meisten Fällen daran, dass in der Praxis die maximale Beaufschlagung der Kläranlagen bei Regenwetter tatsächlich wesentlich höher ist, als das Zweifache des höchsten stündlichen Trockenwetterzuflusses.

Angesichts des von der Höhe des Zuflusses abhängigen Volumens der Adsorptionsstufe und der damit verbundenen Investitionskosten wurde in den Klärwerken Mannheim und Böblingen-Sindelfingen die Adsorptionsstufe als Teilstrombehandlung ausgelegt. Die wesentlichen Kenngrößen zur Beschreibung der beiden Kläranlagen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Im Klärwerk Mannheim wurde die Adsorptionsstufe in nicht mehr benötigte Beckenvolumina der Regenwasserbehandlung eingerichtet, wohingegen im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen ein Neubau erfolgte. Aufgrund dieser unterschiedlichen Ausgangslagen sind die Investitionskosten zur Einrichtung der adsorptiven Technik nur bedingt miteinander vergleichbar. In beiden Klärwerken war bereits vor Implementierung der neuen Stufe eine Filtration vorhanden. Im Klärwerk Mannheim wurde auf Grundlage der im Klärwerk Steinhäule gewonnenen Erkenntnisse

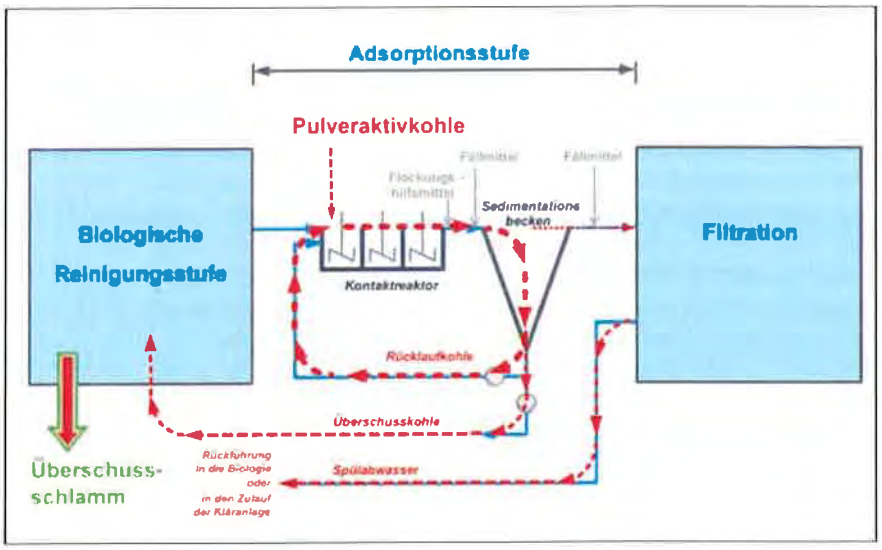


Abbildung 3: Einbindung der Adsorptionsstufe in den Reinigungsprozess

Tabelle 1: Kenndaten der Klärwerke Mannheim und Böblingen-Sindelfingen

	KW Mannheim	KW Böblingen-Sindelfingen
Ausbaugröße	725.000 EW	250.000 EW
Behandelte Jahresabwassermenge	30.000.000 m³	15.000.000 m³
Q_m	4.000 L/s	2.000 L/s
Biologisches Verfahren	einstufiges Belebungsverfahren	Tropfkörper mit nachgeschalteter Denitrifikation
Adsorptionsstufe		
$Q_{max\ Ads\text{-}stufe}$	geplant 1.500 L/s aktuell realisiert 300 L/s	1.000 L/s
adsorptiv behandelte Jahresabwassermenge	mit aktueller Ausbaugröße 9.000.000 m³	13.500.000 m³
Ausführung	Benutzung bestehender Becken	Neubau
Kontaktreaktor	Mischbeckenkaskade	Umlaufbecken
	700 m³	1.800 m³
Einmisch- und Aggregationsbecken	nicht vorhanden	132 m³
Sedimentationsbecken	Längsbecken	Rundbecken
- Volumen	2 350 m³	7.200 m³
- Aufenthaltszeit	ca. 2 h	2 h
- Oberflächenbeschickung	1 m/h	2 m/h
Volumen Pulverkohlesilo	70 m³	125 m³
Dosierstoffe		
Aktivkohleprodukt	Norit SAE Super	Norit SAE Super
Fällmittelprodukt	Polyaluminiumchlorid	Eisenchloridsulfat
Polymerprodukt	Praestol 2340	Praestol 2540
Betriebsdaten Adsorptionsstufe		
Feststoffgehalt im Reaktionsbecken	3,0 – 4,5 g/L	4,0 – 6,0 g/L
ISV	80 – 90 mL/g	60 – 70 mL/g
Filtration		
Strömrichtung	abwärts durchströmt	abwärts durchströmt
Filteraufbau	0,5 m Anthrazit 0,7 m Quarzsand	1,4 m Anthrazit 0,4 m Quarzsand 0,2 m Basalt
Fällmittel vor der Filtration	Polyaluminiumchlorid	Eisenchloridsulfat

das Filtermaterial der Filterkammern, die im Rahmen der aktuellen Umsetzung mit adsorptiv gereinigtem Abwasser beaufschlagt werden, ausgetauscht. Die Filteranlage wurde ursprünglich als Trockenfiltration errichtet und mit Ausbau der biologischen Stufe zu einem überstauten Flockungsfilter umgerüstet.

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Kläranlagen besteht in der Verfahrenstechnik zur biologischen Behandlung des Abwassers (vgl Tabelle 1). Im Klärwerk Mannheim wird die Überschusskohle zur besseren Ausnutzung des Adsorbens in die Nitrifkationszone des Belebungsbeckens zurückgeführt, im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen hingegen erfolgt die Überschusskohlerückführung in die der Tropfkörperanlage nachgeschalteten Denitrifikation.

Als Adsorbens wurde in beiden Klärwerken während der Untersuchungsphasen das Produkt „SAE Super" der Firma Norit eingesetzt. Im Klärwerk Mannheim wird zur Bildung von absetzbaren Flocken in der Adsorptionsstufe als auch vor dem Filter ein Produkt auf Aluminiumbasis verwendet, wohingegen im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen ein Eisenprodukt für diesen Zweck zum Einsatz kommt. Bei den Polymeren handelt es sich in beiden Fällen um mittelanionische Produkte, die sich im Wesentlichen in ihrer Molekularmasse unterscheiden.

4. Reinigungsleistung

4.1 Beurteilungsmaßstab

Im Nachfolgenden wird auf die Reinigungsleistung durch die adsorptive Verfahrenstechnik eingegangen. Dabei ist zu beachten, dass nur die Reinigungsleistungen in den Adsorptionsstufen miteinander verglichen werden können. Der zusätzliche Reinigungseffekt durch die Rückführung der Überschusskohle in die biologische Stufe kann aufgrund einer fehlenden Vergleichsstraße im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen nicht beziffert werden. Die Teilrealisierung des adsorptiven Verfahrens im Klärwerk Mannheim hingegen erlaubt eine Aussage zur Gesamtentnahme der Verfahrenstechnik gegenüber herkömmlich gereinigtem Abwasser.

Die Bilanzierung der Reinigungsleistung durch die Pulveraktivkohleanwendung wird anhand von mengenproportionalen 24-h-Mischproben, die im Ablauf der am Prozess beteiligten Reinigungsstufen gezogen werden, vorgenommen. Zur Beurteilung der Entnahme von gelösten Substanzen werden alle Proben vor den Untersuchungen membranfiltriert (Porengröße 0,45 µm). Die Analytik erfolgt jeweils nur vom Filtrat.

4.2 Entnahme der Restorganik

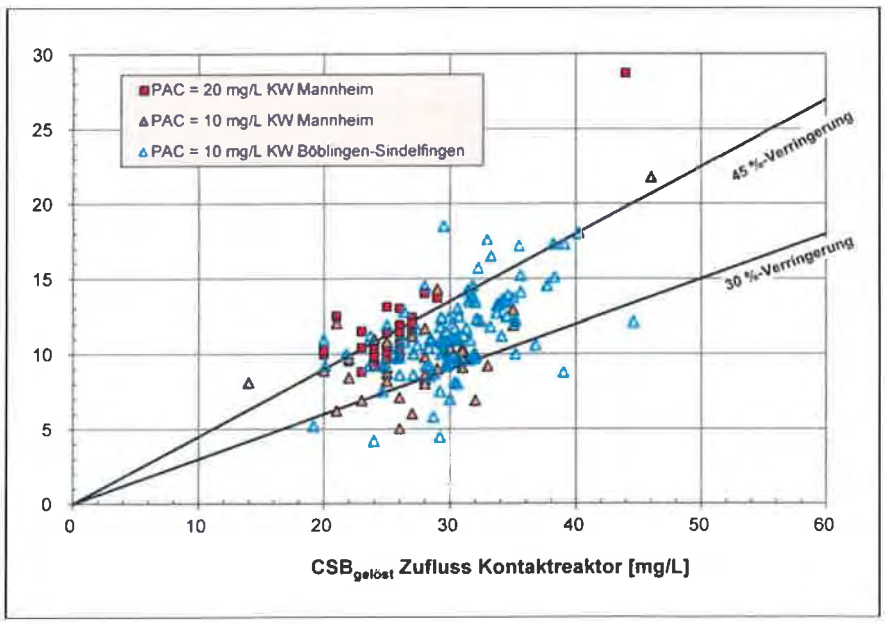
Aus Abbildung 4 geht hervor, dass bereits durch den Einsatz von 10 mg/l Pulveraktivkohle (PAC) die gelöste Restorganik signifikant verringert wird. Mit der gleichen Pulveraktivkohledosiermenge wird dabei unabhängig von der spezifischen Adsorbensdosiermenge mit zunehmendem gelösten CSB im Zulauf zur Adsorptionsstufe mehr Restorganik entnommen. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass unabhängig vom Eingangswert mit einer Dosiermenge von 10 mg/l Pulveraktivkohle bei beiden Kläranlagen in etwa die gleiche prozentuale CSB-Verringerung vorliegt. Der Einsatz von 20 mg/l Pulveraktivkohle im Falle Mannheims lässt eine Steigerung der Entnahme an gelöster Restorganik erkennen. Zudem zeigt sich ein wesentlich beständigeres Entnahmeverhalten.

Insgesamt wird bei Anwendung von 10 mg/l Pulveraktivkohle im Klärwerk Mannheim durch den adsorptiven Verfahrensprozess die nach biologischer Reinigung vorliegende Restorganik (= Ablauf Nachklärung) um etwa 40 Prozent verringert. Die Dosierung von 20 mg/l Pulveraktivkohle hat in etwa eine Halbierung der gelösten Restorganik zur Folge.

Aufgrund der vergleichbaren Entnahmeleistung in den beiden Adsorptionsstufen bei einer Dosiermenge von 10 mg/l Pulveraktivkohle ist für die Gesamtbilanz des adsorptiven Verfahrensprozesses im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen eine ähnlich hohe Entnahmeleistung wie im Klärwerk Mannheim zu erwarten.

Die spezifische Verbesserung eines Klärwerks ist allerdings an der heutigen Ablaufqualität zu messen. Hierbei

Abbildung 4: CSB-Verringerung in der Adsorptionsstufe



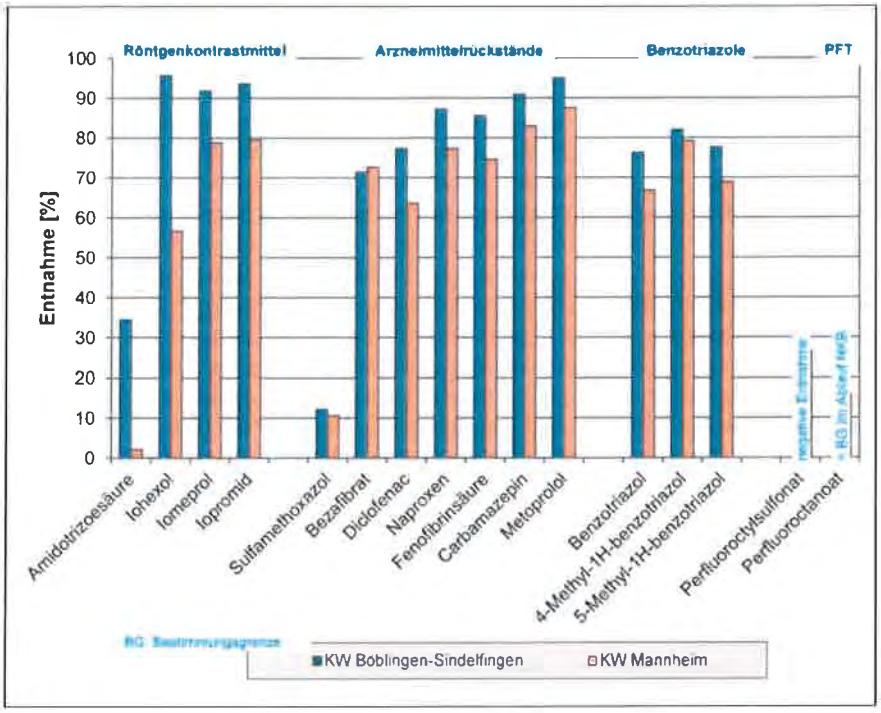


Abbildung 5: Spurenstoffentnahme in der Adsorptionsstufe bei 10 mg/l Pulveraktivkohledosierung

gilt es zu beachten, dass in beiden Klärwerken bereits vor der Anwendung von Pulveraktivkohle bereits eine Filtration vorhanden war. Die Untersuchungen im Klärwerk Mannheim haben ergeben, dass bereits heute ein Teil der nach biologischer Behandlung vorliegenden gelösten Restorganik in der bestehenden Filtration entnommen wird (1 bis 6 mg/l CSB). Demnach ergibt sich hinsichtlich der spezifischen Situation in Mannheim summarisch für die organischen Substanzen betrachtet eine etwas geringere Verbesserung der CSB-Situation. Bezieht man die partikuläre Verschmutzung nach der Filtration in die Bilanz mit ein, so zeigt sich, dass durch die Implementierung des adsorptiven Verfahrensprozesses mit einer Pulveraktivkohledosiermenge von 10 mg/l im Mittel etwa 30 Prozent geringere CSB-Ablaufwerte erzielt werden als mit dem bisherigen Reinigungsprozess[12].

4.3 Entnahme von Spurenstoffen

Für die Bewertung der Spurenstoffentnahme wurden im Klärwerk Mannheim die Proben auf das Vorliegen von 180 Einzelsubstanzen überprüft. 70 dieser Substanzen konnten dauerhaft im Ablauf der Nachklärung quantitativ nachgewiesen werden. Das Untersuchungsprogramm zielte darauf ab zu hinterfragen, welche Spurenstoffe mittels (Pulver-)Aktivkohle aus kommunalem Abwasser entfernt werden können. Für die Bewertung der Spurenstoffentnahme im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen wurden nur einzelne Vertreter dieser Substanzen untersucht.

Aus Abbildung 5 geht hervor, dass bereits mit einer Dosiermenge von 10 mg/l Pulveraktivkohle (PAC) eine Vielzahl von Spurenstoffen, wie beispielsweise Arzneimittelwirkstoffe und Benzotriazole, in der Adsorptionsstufe in einem erheblichen Umfang entfernt werden. Des Weiteren wird deutlich, dass in den adsorptiven Reinigungsstufen der beiden Klärwerke ein ähnliches Entnahmeverhalten vorliegt. Die beiden Vertreter der PFT-Verbindungen, PFOS und PFOA, lassen sich mit einer Adsorbensmenge von 10 mg/l nicht entfernen, der Arzneimittelwirkstoff Sulfamethoxazol und das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure erweisen sich ebenso als schlecht entfernbar.

Aus den Untersuchungen im Klärwerk Mannheim ist bekannt, dass vorrangig Substanzen, die als gut adsorbierbar einzustufen sind, bereits durch die Rückführung der Überschusskohle in die biologische Reinigungsstufe in einem gewissen Umfang aus dem Abwasser entfernt werden. Die Gesamtentnahme für derartige Stoffe ist somit noch etwas größer als in Abbildung 5 gezeigt.

Insgesamt betrachtet lassen sich im Klärwerk Mannheim mit einer Pulveraktivkohlemenge von 10 mg/l rund 25 Prozent der heute im Ablauf der Nachklärung vorliegenden Substanzen zu weit über 80 Prozent eliminieren (vgl. Abbildung 6). Als „sehr gut" adsorbierbare Stoffe hat sich vor allem ein Großteil der Arzneimittelwirkstoffe erwiesen. Etwa knapp weitere 30 Prozent der im Ablauf der biologischen Reinigung vorliegenden Substanzen lassen sich mit Anwendung der gleichen Adsorbensdosiermenge im Mittel zu etwa 70 Prozent entfernen.

Des Weiteren geht aus Abbildung 6 hervor, dass etwa 15 Prozent der vorhandenen Substanzen nur mäßig mit einer Aktivkohlemenge von 10 mg/l eliminiert werden können und die restlichen 30 Prozent nur sehr geringfügig bis hin zu gar nicht entnommen werden. Zur letztgenannten Gruppe zählen beispielsweise das Kraftstoffadditiv MTBE, einige Pestizidrückstände, synthetische Komplexbildner sowie die Mehrzahl der PFT-Verbindungen. Mit Anwendung der doppelten Adsorbensdosiermenge lassen sich etwa 60 Prozent der im Ablauf der Nachklärung vorhandenen Substanzen gut bis sehr gut aus dem Abwasser entfernen. Der Anteil der nicht zu entfernenden Stoffe reduziert sich auf etwa 25 Prozent.

Aus halbtechnischen Untersuchungen ist bekannt, dass die Entnahme von Spurenstoffen mittels Pulveraktivkohle maßgeblich vom Gehalt der gelösten Restorganik des Abwassers beeinflusst wird. So zeigt sich beispielsweise, dass mit der gleichen Dosiermenge an Pulveraktivkohle bei einem in Bezug auf die gelöste Restorganik verhältnismäßig „dünnen" Abwasser eine wesentlich

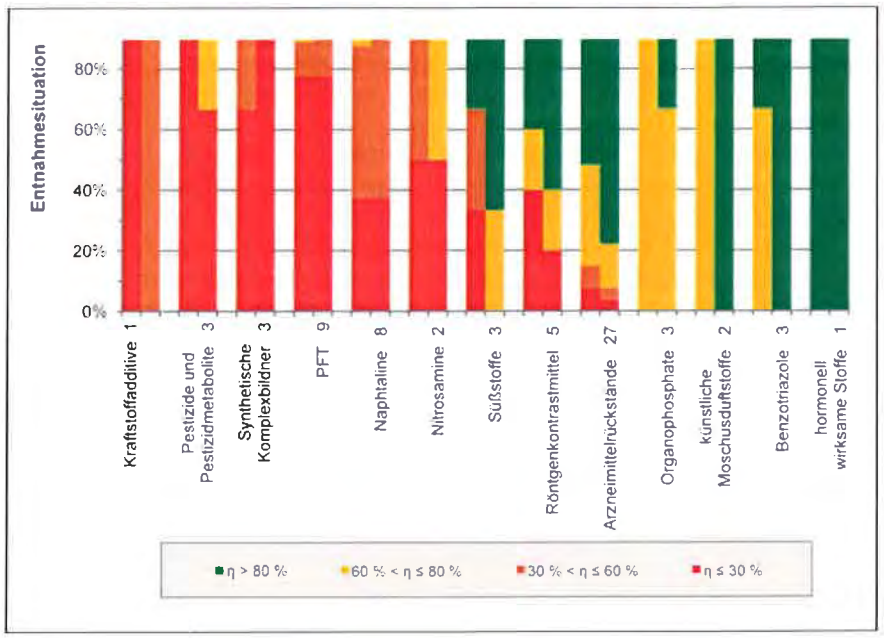


Abbildung 6: Gesamtentnahme der adsorptiven Verfahrenstechnik im Klärwerk Mannheim

höhere Spurenstoffentnahme erzielt wird als bei einem Abwasser, welches nach der biologischen Behandlung vergleichsweise hohe CSB-Werte aufweist[13].

Demzufolge ist bei einem Abwasser, welches nach biologischer Behandlung eine geringere gelöste Restorganik als diejenige im Klärwerk Mannheim aufweist, davon auszugehen, dass mit einer Dosiermenge von 10 mg/l Pulveraktivkohle unter Anwendung der vorgestellten adsorptiven Verfahrenstechnik eine Entnahmesituation zu erzielen ist, die tendenziell der Entnahmesituation bei Anwendung von 20 mg/l Pulveraktivkohle im Klärwerk Mannheim ähnelt. Bei den in Mannheim durchgeführten Untersuchungen auf Spurenstoffe lag der gelöste CSB im Ablauf der Vergleichsbiologie an allen Probenahmetagen bei zirka 30 ± 3 mg/l.

Ein weiterer positiver Nebeneffekt der Verfahrenstechnik stellt die verbesserte Phosphorelimination dar: Im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen ist mit der gleichen Fällmitteldosiermenge wie in den vorangegangenen Jahren ein geringerer P_{ges}-Ablaufwert zu verzeichnen, was auf die „Nachfällung" in der Adsorptionsstufe zurückzuführen ist[14]. Aus dem halbtechnischen Versuchsbetrieb der Adsorptionsstufe an verschiedenen Kläranlagenstandorten in Baden-Württemberg ist zudem bekannt, dass mit der zusätzlich zur bisherigen im Kläranlagenbetrieb eingesetzten Fällmitteldosiermenge in der Adsorptionsstufe die Werte für P_{ges} im Ablauf in und unter den Bereich von 0,1 mg/l absinken, wobei die absolut minimal erreichbaren Konzentrationen vom Gehalt der als nicht fällbar geltenden Polyphosphate nach rein biologischer Behandlung des Abwassers abhängig sind.

5. Kosten der weitergehenden Abwasserreinigung mit Pulveraktivkohle

5.1 Vorbemerkungen

Die Adsorptionsstufe im Klärwerk Mannheim wurde als Versuchsanlage unter Umnutzung vorhandener Becken als Teilstrombehandlung des Trockenwetterzuflusses konzipiert. Damit können sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten für allgemein gültige Aussagen nicht bzw. nur bedingt herangezogen werden. Im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen wurde die für 1.000 L/s ausgelegte Adsorptionsstufe (was einem Ausbau von mehr als dem zweifachen Trockenwetterzufluss entspricht) komplett als Neubau realisiert. Da inzwischen die verschiedenen Gewerke abgerechnet wurden, stehen die Investitionskosten in Höhe von rund 4.300.000 Euro fest.

Nach fast einjährigem Betrieb sind auch zuverlässige Aussagen über die entstehenden Betriebskosten möglich. Aus diesen Gründen werden beispielhaft nur die auf dem Klärwerk Böblingen-Sindelfingen resultierenden Kosten der Adsorptionsstufe eingehender betrachtet. Auf die Kosten für die Filtration wird nicht näher eingegangen, da beide Klärwerke bereits vor Anwendung der Pulveraktivkohle eine Filtration betrieben haben. Allerdings sei erwähnt, dass der Bau und Betrieb der Filtration im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen, welche ohne Fördermittel mit einer Investitionssumme von 9.600.000 Euro erstellt und im Jahr 2007 in Betrieb genommen wurde, die Abwassergebühr um 0,10 Euro pro Kubikmeter gebührenfähige Abwassermenge bzw. jährlich rund 4 Euro je Einwohner erhöht hat.

5.2 Investitions- und Kapitalkosten

Entsprechend den gesetzlichen Vorgaben im Kommunalabgabengesetz sind alle Kosten der Abwasserbeseitigung durch eine kostendeckende Gebühr zu erheben. Diese Kosten umfassen neben den laufenden Betriebskosten auch die aus den Investitionen resultierenden Kapitalkosten, bestehend aus der Abschreibung der Anschaffungskosten und den Zinsen aus den mit Krediten finanzierten Investitionen. Entscheidend für die Höhe der Kapitalkosten sind die Abschreibungsdauern, welche den realen Nutzungsdauern entsprechen sollen und dem tatsächlichen Zinssatz. In den weiteren Betrachtungen wurde für die Bauwerke/Baukonstruktion von einer Nutzungsdauer von 30 Jahren und für die technische Ausrüstung von 15 Jahren ausgegangen. Es wurde berücksichtigt, dass die technische Ausrüstung nach 15 Jahren zu erneuern ist. Der Zinssatz wurde entsprechend der derzeitigen Situation mit 3,5 Prozent festgelegt.

Die Investitionskosten für die Bauwerke der Adsorptionsstufe, für das Pulveraktivkohlesilo inklusive der Dosiertechnik sowie für die klärtechnische und elektrotechnische Ausrüstung belaufen sich nach der Kostenfeststellung samt Planungskosten auf insgesamt 4.300.000 Euro. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung der Investitionskosten unter Berücksichtigung der Aufteilung nach Bauwerk/Konstruktion (Abschreibungsdauer = 30 Jahre) und Ausrüstung (Abschreibungsdauer = 15 Jahre).

Über die gesamte Abschreibungsdauer von insgesamt 30 Jahren ergibt sich somit eine jährliche Abschreibung von 176.000 Euro. Die jährliche Zinsbelastung, vereinfacht über die gesamte Abschreibungsdauer als Durchschnittswert berechnet, beträgt 78.000 Euro. Somit liegen die jährlichen Kapitalkosten ohne Berücksichtigung von Zuschüssen und der Verrechnung mit der Abwasserabgabe im Mittel bei 254.000 Euro.

Die Gewährung der Zuschüsse aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) in Höhe von rund 2.000.000 Euro vermindert die erforderliche Kreditaufnahme zur Finanzierung der Investitionen. Dadurch sinkt die jährliche Zinsbelastung um rund 31.000 Euro. Ebenso wird der Zuschuss über die gesamte Abschreibungsdauer aufgelöst, woraus eine durchschnittliche Verminderung der Kapitalkosten in Höhe von 65.000 Euro resultiert. Die Gewährung des Zuschusses führt rechnerisch zu einer Verminderung der jährlichen Kapitalkosten in Höhe von rund 96.000 Euro.

Da mit dem Betrieb einer Adsorptionsstufe u.a. auch eine Verminderung des CSB-Ablaufwertes um mehr als 20 Prozent einhergeht, besteht die Möglichkeit zu einer Verrechnung der Investitionskosten mit der Abwasserabgabe. Entsprechend den auf dem Klärwerk Böblingen-Sindelfingen vorliegenden Verhältnissen (Jahresschmutzwassermenge 8.600.000 m³, Überwachungswerte für CSB = 40 mg/l; N_{anorg} = 16,2 mg/l, P_{ges} = 0,8 mg/l) ergibt sich nach dem im Abwasserabgabengesetz vorgegebenen Verrechnungszeitraum von 3 Jahren vor der Inbetriebnahme der Adsorptionsstufe eine Gesamtsumme von 3 x 264.000 Euro = 792.000 Euro, die eingespart werden kann. Bei der überschlägigen Berechnung des durch die Adsorptionsstufe bedingten Abwassergebührenanstiegs wird diese Summe vereinfacht über die Abschreibungsdauer von 30 Jahren verteilt, was zu einer weiteren Verminderung der jährlichen Kapitalkosten in Höhe von zirka 26.000 Euro führt.

Zusammenfassend ergeben sich aus den Investitionskosten in Höhe von 4.300.000 Euro Kapitalkosten von jährlich 176.000 Euro + 78.000 Euro = 254.000 Euro, die durch den Zuschuss um rund 96.000 Euro sowie durch die Verrechnung mit der Abwasserabgabe um zirka 26.000 Euro vermindert werden.

Abschreibung (15a/30a) der Anschaffungskosten	176.000 €/a
durchschnittliche Zinsen (3,5 %) für Kredite in Höhe von 4.300.000 €	78.000 €/a
Auflösung der gewährten Fördermittel (rd. 2.000.000 €)	- 65.000 €/a
gesparte Zinsen durch die verminderte Kreditaufnahme infolge der gewährten Fördermittel	- 31.000 €/a
Verrechnung mit der Abwasserabgabe	- 26.000 €/a
Kapitalkosten:	**132.000 €/a**

Tabelle 3: Durchschnittlich, jährliche Kapitalkosten der Adsorptionsstufe über die Abschreibungs-/Nutzungsdauer von 30 Jahren

5.3 Betriebskosten

Bei den Betriebskosten sind die Beschaffungskosten für die Pulveraktivkohle der größte Einzelposten. Ausgehend von einer adsorptiv zu behandelnden Wassermenge von jährlich 13.500.000 Kubikmetern und einer Dosierung von 10 g Pulveraktivkohle je Kubikmeter ist von einem jährlichen Pulveraktivkohlebedarf von rund 135 Tonnen auszugehen. Hierfür sind Kosten von 195.000 Euro zu veranschlagen. Nach den bislang gesammelten Betriebserfahrungen verändert sich durch die Pulveraktivkohle das Entwässerungsverhalten des ausgefaulten Schlammes nicht. Bedingt durch die Zugabe der Pulveraktivkohle und der daran adsorbierten Stoffe sowie einem Feststoffgehalt nach der Entwässerung mit Kammerfilterpressen von im Mittel 32 Prozent steigt die zu entsorgende Schlammmasse um zirka 680 t/a an[15]. Daraus ergeben sich Mehrkosten in Höhe von zirka 60.000 Euro/a.

Stromkosten resultieren hauptsächlich aus der Beschickung der Aktivkohleadsorption und der Rücklaufschlammförderung (in beiden Fällen beträgt die Förderhöhe etwas weniger als 1 m) sowie aus dem Betrieb der Treibstrahl-

Tabelle 2: Investitionskosten

	Bauwerk/Konstruktion	Ausrüstung
Rohbau (Erdarbeiten, Betonarbeiten)	2.200.000 €	-
Klärtechnische Einrichtungen (Rohrleitungen, Schieber, Rührer, Schneckenpumpe)	260.000 €	360.000 €
Räumer	130.000 €	130.000 €
Pulveraktivkohle Dosieranlage (50% Bauwerk, 50 % techn. Ausrüstung)	190.000 €	190.000 €
Schlosserarbeiten (Gitterrostbühnen, Geländer)	170.000 €	
Elektrotechnik		190.000 €
Baukosten	**2.950.000 €**	**870.000 €**
Baunebenkosten (Planungskosten und Gebühren) aufgeteilt in 80% auf Bauwerk und 20 % auf Ausrüstung	**370.000 €**	**110.000 €**
Gesamtkosten:	**3.320.000 €**	**980.000 €**

Aktivkohle 135 t/a mit ca. 1.450 €/t	195.000 €/a
Mehrschlammanfall 680 t/a mit 90 €/t	60.000 €/a
Strom 240.000 kWh/a mit 0,15 €/kWh	35.000 €/a
Polymer 4 t/a mit ca. 4.000 €/t	16.000 €/a
Personal 0,65 Stellen mit ca. 35.000 €/a	23.000 €/a
Instandhaltung Gebäude und technische Anlagen	10.000 €/a
Abwasserabgabe -10 mg/l CSB und -0,3 mg/l P_{ges}	-46.000 €/a
Betriebskosten:	**293.000 €/a**

Tabelle 4: Betriebskosten (Stand Frühjahr 2012)

pumpen für die Dosierung der Pulveraktivkohle. Zudem benötigen die Rührwerke im Kontaktreaktor, die der Umwälzung des „Kohleschlamms" dienen, als auch diejenigen im Einmisch- und Aggregationsbecken ebenfalls elektrische Energie. Der bislang gemessene Stromverbrauch für die Adsorptionsstufe liegt hochgerechnet auf ein Jahr insgesamt bei zirka 240.000 kWh bzw. bei 1,7 kWh/(EW·a) und führt zu Kosten von derzeit 35.000 Euro/a.

Weiterhin ergeben sich Betriebskosten aus der Dosierung von Polymeren (0,3 g je Kubikmeter adsorptiv behandeltes Abwasser) für die Erzeugung einer absetzfähigen Schlammflocke in Höhe von 16.000 Euro/a. Zusätzliche Fällmittelkosten für die Dosierungen in der Adsorptionsstufe müssen nicht angesetzt werden, da sich die insgesamt zur Abwasserreinigung eingesetzte Fällmittelmenge durch die Minderung bei der Simultanfällung nicht verändert.

Der Zeitaufwand für den Betrieb der Aktivkohleadsorptionsstufe setzt sich aus den täglichen Sichtkontrollen bei den verschiedenen Dosieranlagen und der anderen technischen Einrichtungen (30 h/Monat), den zusätzlichen Analysen (20 h/Monat), den regelmäßigen Reinigungsarbeiten an den Dosieranlagen sowie der eingesetzten Messsonden (10 h/Monat), den Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten (15 h/Monat) zusammen. Die Anlieferung der Aktivkohle und der Polymere bedingt einen zusätzlichen Zeitaufwand von 4 h/Monat. Weiterhin ist ein zusätzlicher Reinigungsaufwand (ca. 4 h/Monat) bei den in der nachgeschalteten Denitrifikation eingesetzten Messsonden durch die Zugabe des Überschussschlammes aus der Aktivkohleadsorption zu beobachten. Das Zusammenstellen der Messwerte und deren Interpretation liegen bei rd. 5 h/Monat. Insgesamt beträgt die zeitliche Inanspruchnahme für den Betrieb der Anlage also knapp 90 h/Monat, was einem Stellenanteil von rund 65 Prozent entspricht.

Die Kosten für Wartung/Instandhaltung werden mit jährlich rund 10.000 Euro angesetzt. Nach nunmehr einjährigem Betrieb ist jedoch noch kein Verschleiß an Pumpen und Rührwerken zu erkennen.

Im Betrieb hat sich gezeigt, dass die Dosierung von 10 mg/l Pulveraktivkohle neben der Entnahme von Spurenstoffen ebenfalls zu einer Verbesserung der Ablaufqualität bezüglich der Parameter CSB und Pges führt. Der CSB-Wert wird um rund 10 mg/l verringert, für den P_{ges}-Wert ist bei einem optimierten Filterbetrieb von einer Verringerung von bis zu 0,3 mg/l auszugehen. Daraus resultiert insgesamt eine Einsparung bei der Abwasserabgabe in Höhe von 46.000 Euro/a.

Die jährlich gebührenrelevanten Betriebskosten belaufen sich ohne die adsorptive Verfahrenstechnik auf rund 8,1 Mio Euro. Durch den Betrieb der zusätzlichen Reinigungsstufe ergeben sich weitere Betriebskosten von 293.000 Euro/a (vgl. Tabelle 4), was zu einem Anstieg der Betriebskosten von etwa 3,6 Prozent führt.

5.3 Gebührenanstieg

Aus den Kapital- und Betriebskosten für die Adsorptionsstufe kann die damit verbundene Gebührenerhöhung berechnet werden. Vereinfachend werden die Kosten nur auf die gebührenfähige Abwassermenge bezogen, die für das Klärwerk Böblingen-Sindelfingen jährlich bei rund 7.500.000 Kubikmetern liegt. Somit ergibt sich überschlägig aus dem Betrieb der Adsorptionsstufe eine Gebührenerhöhung von
(132.000 Euro + 293.000 Euro) / 7.500.000 m³ = 0,0567 Euro/ m³.

Bei einem jährlichen Trinkwasserverbrauch (= gebührenfähige Abwassermenge) je Einwohner von zirka 40 Kubikmetern ergibt sich für die verbesserte Abwasserreinigung eine Mehrbelastung für einen Einwohner im Einzugsgebiet der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen von jährlich rund 2,27 Euro. Bislang betrug die Gebühr für die Abwasserbeseitigung 2,10 Euro pro Kubikmeter. Die Verbesserung der Abwasserreinigung führt im Zweckverband der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen zu einer Gebührenerhöhung von etwas mehr als 2 Prozent.

Ohne die Gewährung der Fördermittel in Höhe von rund 2.000.000 Euro wäre der Gebührenanstieg für die Adsorptionsstufe um weitere 0,013 Euro/m³ bzw. um jährlich rund 50 Cent je Einwohner höher ausgefallen.

6. Fazit

Der Betrieb der Adsorptionsstufen in den Klärwerken Mannheim und Böblingen-Sindelfingen zeigt, dass die Abwasserreinigung durch den Einsatz von Pulveraktivkohle weiter verbessert werden kann. So ist bereits mit Anwendung von 10 mg/l Pulveraktivkohle ei-

ne Verringerung der CSB-Fracht nach biologischer Behandlung von rund 40 Prozent zu erzielen. Die Entnahme der gelösten Restorganik beinhaltet zugleich eine Reduktion von Spurenstoffen. Der Umfang deren Elimination ist allerdings substanzspezifisch. So lässt sich beispielsweise der Eintrag einer Vielzahl von Arzneimittelwirkstoffen in das Gewässer bereits mit einer Aktivkohledosierung von 10 mg/l zu über 80 Prozent vermindern, während andere Substanzen wie zum Beispiel synthetische Komplexbildner oder einige Vertreter aus der Gruppe der Pestizide bei gleicher Adsorbensmenge nur in sehr geringem Umfang entfernt werden. Allerdings besteht die Möglichkeit, die Entnahme der Spurenstoffe sowie der gelösten organischen Restverschmutzung durch eine Erhöhung der Aktivkohledosiermenge gezielt zu verbessern, wenn die daraus resultierenden Mehrkosten akzeptiert werden.

Im alltäglichen Betrieb hat sich die adsorptive Verfahrenstechnik als anwendbar und betriebsstabil erwiesen[16]. Lediglich der Umgang mit Pulveraktivkohle war dem Kläranlagenpersonal bislang nicht vertraut.

Die Kosten für die weitergehende Abwasserreinigung sind von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Bei beiden Klärwerken war bereits vor Inbetriebnahme eine Filtration vorhanden. Demzufolge ergeben sich die Mehrkosten für die verbesserte Abwasserreinigung rein aus dem Bau und Betrieb der Adsorptionsstufe. Am Beispiel des Klärwerks Böblingen-Sindelfingen wird deutlich, dass über die Hälfte der Gesamtkosten aus dem Betrieb der adsorptiven Reinigungsstufe resultiert. Weit mehr als 50 Prozent der Betriebskosten wiederum entfallen dabei auf die Beschaffung und Entsorgung der Pulveraktivkohle. Die Gesamtkosten der weitergehenden Abwasserreinigung werden daher signifikant von der notwendigen Aktivkohledosiermenge bestimmt.

Letztendlich bleibt festzuhalten, dass die Verbesserung der in die Gewässer eingeleiteten Abwasserqualität mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Der prozentuale Kostenanstieg ist dabei immer von den gegebenen Randbedingungen abhängig. Im Falle des Klärwerks Böblingen-Sindelfingen kann bereits mit einem Gebührenanstieg von etwa 2,30 Euro/(EW·a) die Abwasserqualität nachhaltig verbessert werden kann. Andernorts ist für eine vergleichbare Verbesserung von spezifischen Kosten von 4 bis 7 Euro/(EW·a) auszugehen[17, 18]. Inwiefern eine solche Erhöhung verglichen mit Kostensteigerungen des „alltäglichen Lebens" als „moderat" oder „vertretbar" bezeichnet werden kann, sollte einer breiteren öffentlichen Diskussion überlassen bleiben. Unstrittig ist, dass mit dem Preisanstieg ein Beitrag zur nachhaltigen Verringerung von anthropogen bedingten Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt geleistet werden kann.

Az. 702.0

Fußnoten

1 Anthropogene Spurenstoffe im Gewässer – Spurenstoffbericht Baden-Württemberg 2012 http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/97917/Anthropogene_Spurenstoffe_im_Gewaesser_-_Spurenstoffbericht_Baden-Wuerttemberg_2012.pdf?command=downloadContent&filename=Anthropogene_Spurenstoffe_im_Gewaesser_-_Spurenstoffbericht_Baden-Wuerttemberg_2012.pdf (abgerufen am 17.Dezember 2012).

2 Metzger, S.: Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Oldenbourg Industrieverlag München, 2010.

3 Alt, K.; Mauritz, A.: Projekt zur Teilstrombehandlung mit Pulveraktivkohle im Klärwerk Mannheim. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2010 (57) Nr.2, S.161-166.

4 Kapp, H.: Beispiele für den Einsatz von Aktivkohle bei der kommunalen Abwasserbehandlung in Baden-Württemberg. Vortrag bei der 45. ESSENER TAGUNG für Wasser- und Abfallwirtschaft am 16. März 2012 in Essen. Veröffentlicht in der Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser der RWTH Aachen, Band 230.

5 Rößler, A.: Betriebsbedingungen und Leistung einer Sandfilteranlage nach Aktivkohlebehandlung von Abwasser. Diplomarbeit am Institut für GEO und UMWELT der Hochschule Biberach, 2007.

6 Mayer, V.: Anwendung von Aktivkohlepulver in zweischichtigen Schnellsandfiltern zur weitergehenden Abwasserreinigung. gwf-WasserlAbwasser 125 (1984), H. 8, S. 373-380.

7 Metzger, S.; Rößler, A.; Kapp, H.: Optimierung der Pulveraktivkohleabtrennung durch Filtration als Grundlage zur Anlagendimensionierung – Abschlussbericht Teilprojekt 2B des BMBF-Verbundprojektes „Erweiterung kommunaler Kläranlagen durch eine adsorptive Stufe zur Elimination organischer Spurenstoffe" (Förderkennzeichen 02WA1023).

8 Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EG-WRRL). In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, Nr. L327/1 vom 22.12.2000.

9 Fent, K.: Ökotoxikologische Wirkungen von Pharmazeutikarückständen auf aquatische Organismen. In: Heil-Lasten, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 2006, S. 125-153.

10 Oehlmann, J.; Hannich C.B.; Magdeburg, A.; Nöthe, T.; Stalter, D.; Wagner, M.: Erfassung organischer Spurenstoffe im Abwasser durch biologische Wirktests und ökotoxikologische Bewertung der Effekte. Vortrag bei der DWA-Fachtagung „Elimination organischer Spurenstoffe und Mikroorganismen in der Abwasserreinigung zur Verbesserung der Gewässerqualität" am 18.10.2006 in Koblenz. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

11 Metzger, S.; Kapp, H.: Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen. Vortrag bei der VSA-Fachtagung am 28.10.2008 „Technische Verfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser" in Regensdorf/Schweiz. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

12 Kapp, H.; Metzger, S.: Machbarkeitsstudie zur Erweiterung des Klärwerks Mannheim um eine Adsorptionsstufe zur Verbesserung der Abwasserreinigung (Kurzfassung), Juli 2012 (unveröffentlicht).

13 Metzger, S.: Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg: Ergebnisse zur Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen durch den Betrieb einer Adsorptionsstufe. Vortrag im Rahmen des 87. Siedlungswasserwirtschaftlichen Kolloquiums der Universität Stuttgart. Veröffentlicht in: Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 211, Oldenbourg Industrieverlag (2012).

14 Schwentner, G.: Erste Betriebserfahrungen und Kosten der Adsorptionsstufe. Vortrag im Rahmen des Symposiums „Aktivkohle im Klärwerksbetrieb" am 5. Juli 2012 in Sindelfingen. Veranstaltet vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

15 Schwentner, G.: Erste Betriebserfahrungen mit einer Aktivkohleadsorptionsanlage zur Entfernung von Spurenstoffen auf der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen. Vortrag im Rahmen der 26. Karlsruher Flockungstage am 13./14. November 2012. Veröffentlicht im Tagungsband der 26. Karlsruher Flockungstage 2012, Schriftenreihe SWW, Band 143, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe.

16 Hein, A.: Dosierung von Pulveraktivkohle am Beispiel der Kläranlage Mannheim. Vortrag im Rahmen des Symposiums „Aktivkohle im Klärwerksbetrieb" am 5. Juli 2012 in Sindelfingen,. veranstaltet vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen. Vgl. auch Fußnote 15.

17 Rölle, R.; Kuch, B.: Die Aktivkohlebehandlungsstufe auf der Kläranlage Kressbronn. Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2011 (58) Nr. 11, S.1038-1049.

18 Kapp, H.: Erweiterung von Abwasserbehandlungsanlagen um eine Adsorptionsstufe. Vortrag bei der Fachtagung „Aktivkohle zur besseren Abwasserreinigung" am 26.06.2007 in Ulm, veranstaltet vom DWA Landesverband Baden-Württemberg. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen.

Dipl.-Ing. Annette RÖSSLER; Dr.-Ing. Steffen METZGER

Spurenstoffelimination mit Pulveraktivkohle in Baden-Württemberg

Mittlerweile können Spurenstoffe, dank neuer innovativer Messtechnik, schon in einem sehr niedrigen Konzentrationsbereich quantitativ bestimmt werden. Um eine weitere Anreicherung dieser Spurenstoffe in Organismen und Ökosystemen zu minimieren, müssen Gegenstrategien entwickelt werden.

Aufgrund der Entwicklung von immer feineren Messmethoden können in der chemischen Analytik zwischenzeitlich Spurenstoffe in einem sehr niedrigen Konzentrationsbereich quantitativ bestimmt werden. Die Thematik der Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt ist deshalb in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Nach Ansicht von Toxikologen ist derzeit nicht von einer Gefährdung des Menschen durch das Vorliegen von „Spuren“ dieser Substanzen in den Gewässern auszugehen. Dennoch können langfristige Risiken durch die nicht wieder rückgängig zu machende Anreicherung von biologisch aktiven, organisch-synthetischen Substanzen in Organismen und Ökosystemen nicht ausgeschlossen werden.

Als Hauptemittenten für das Vorkommen dieser Mikroverunreinigungen in den Gewässern, zu welchen bspw. Arzneimittelrückstände, Pestizide oder Industriechemikalien zählen, werden Kläranlagen angesehen /1/. Diese sind, auch wenn sie dem Stand der Technik entsprechen, bislang nicht in der Lage die Konzentrationen vieler dieser Spurenstoffe im Verlauf des Reinigungsprozesses maßgeblich zu senken.

Situation in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg wird bereits seit mehr als 20 Jahren auf den Kläranlagen Albstadt-Ebingen, Albstadt-Lautlingen und Hechingen Pulveraktivkohle zur Entfärbung von Textilabwässern eingesetzt. Daneben hat sich aber auch gezeigt, dass mit dem so genannten AFF-Verfahren (= Aktivkohleadsorption-Flockung-Filtration) der Universität Stuttgart gleichzeitig der gelöste CSB des Abwassers gesenkt wird /3/.

Auf Grundlage dieser Kenntnisse führte die Hochschule Biberach in Zusammenarbeit mit dem Zweckverband Klärwerk Steinhäule in Neu-Ulm von 2003 bis Anfang 2011 mehrere FuE-Vorhaben zur Pulveraktivkohleanwendung bei der kommunalen Abwasserreinigung durch. Diese Projekte wurden u.a. vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg finanziell gefördert. Während dieser Zeit wurde im halbtechnischen Maßstab eine zusätzliche „vierte“ Reinigungsstufe, die so genannte Adsorptionsstufe, entwickelt, mit der gezielt Spurenstoffe in einem hohen Umfang entnommen werden. Zusätzlich wird, entsprechend den Erfahrungen beim AFF-Verfahren, die gelöste Restverschmutzung des biologisch gereinigten Abwassers gesenkt.

Inzwischen sind in Baden-Württemberg auf freiwilliger Basis mehrere Kläranlagen um eine Adsorptionsstufe erweitert worden, weitere Anlagen befinden sich im Bau bzw. in der Planung (Bild 1).

Verfahrensprinzip

Das Verfahrensprinzip der Adsorptionsstufe als auch deren Anordnung innerhalb des Reinigungsprozesses sind in Bild 2 dargestellt.

Das Prinzip der Adsorptionsstufe basiert auf der Entkopplung der Aufenthaltszeit des Abwassers von der Aufenthaltszeit der Pulveraktivkohle im System, wodurch eine Mehrfachbeladung der Aktivkohle ermöglicht wird: Hierzu wird die Pulveraktivkohle zu-

Bild 1 **Kläranlagen mit Aktivkohlebehandlung in Baden-Württemberg /2/**

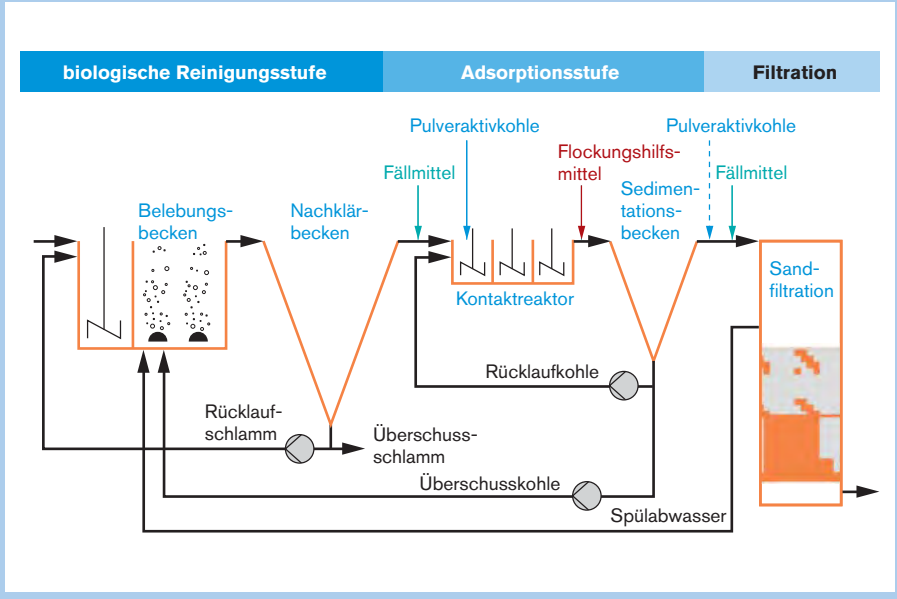


Bild 2 **Einbindung der Adsorptionsstufe in den Reinigungsprozess**

nächst dem biologisch gereinigten Abwasser im Bereich des Kontaktreaktors zugegeben. Um die Kohle im anschließenden Sedimentationsbecken abtrennen zu können, müssen dem Abwasser zusätzlich Fällmittel zum Aufbau einer absetzbaren Flocke als auch Polymere (Flockungshilfsmittel) zudosiert werden. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte „Kohle-Schlamm“ wird zur besseren Ausnutzung der Aktivkohle wieder als „Rücklaufkohle“ in den Kontaktreaktor zurückgeführt. Während die Aufenthaltszeit des Abwassers im Kontaktreaktor für den Bemessungsfall minimal 30 Minuten beträgt, verbleibt die Pulveraktivkohle durch die ständige Kreislaufführung etwa 10 Tage im System der „Adsorptionsstufe“, bevor sie zur weiteren Ausnutzung als Überschusskohle in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt wird. Zusammen mit dem biologischen Überschussschlamm wird die Pulveraktivkohle aus dem Reinigungsprozess entfernt.

Die Anwendung von Pulveraktivkohle bedingt zudem eine im Anschluss zu erfolgende Feinstabtrennung, um bspw. mit Restorganik beladene feinste Kohlepartikel nicht in das Gewässer gelangen zu lassen. Untersuchungen der Hochschule Biberach haben gezeigt, dass diese Feinstabtrennung durch einen konventionellen Sandfilter erfolgen kann /4/. Allerdings muss dieser zur Sicherstellung des weitestgehenden Feststoffrückhalts als Flockungsfiltration, d. h. unter Zugabe von Fällmittel, betrieben werden.

Einsatz von Pulveraktivkohle im Klärwerk Mannheim

Im Klärwerk Mannheim kann bei Regenwetter ein maximaler Abwasseranfall von 4.000 l/s in der 5-straßigen Biologie und der anschließenden Filtration gereinigt werden. Bei der Planung zur Implementierung einer Adsorptionsstufe im Klärwerk Mannheim hat sich gezeigt, dass mit einer Auslegung der Adsorptionsstufe auf 1.500 l/s etwa 90 % der jährlichen biologisch gereinigten Abwassermenge in der zusätzlichen Stufe behandelt werden könnte /5/.

Da bislang noch keine Erfahrungen zum großtechnischen Betrieb dieser „neuartigen“ adsorptiven Verfahrenstechnik vorlagen, sollte der Ausbau im Klärwerk Mannheim zunächst für einen Teilstrom erfolgen. Hierzu wurde im Anschluss an eine der fünf biologischen Beckenstraßen die Adsorptionsstufe eingerichtet, die mit einer maximalen Abwassermenge von 300 l/s (= 1/5 x 1.500 l/s) beaufschlagt werden kann. Das adsorptiv gereinigte Abwasser wird anschließend separat in der nachgeschalteten Filteranlage der Straße A behandelt.

Lediglich bei einer Wassermenge von mehr als 1.500 l/s wird ein Teil des Abwassers nach der biologischen Stufe der Straße A über einen Bypass direkt der Filtration der Straße B zugeführt. Dieser abgeschlagene Teilstrom erfährt insofern eine „teil-adsorptive“ Behandlung, als dass er bereits mit dem durch die Überschusskohle beaufschlagten belebten Schlamm in der biologischen Reinigungsstufe A in Kontakt kam.

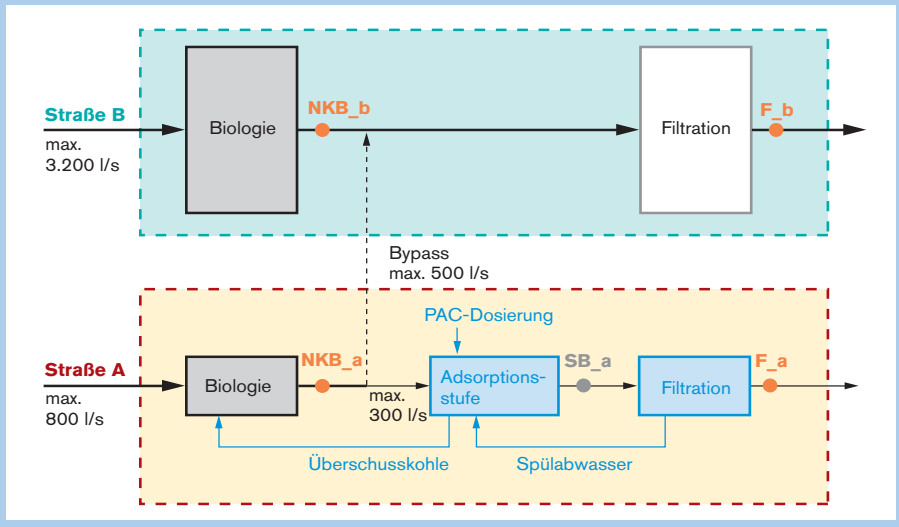


Bild 3 **Verfahrenskonzept der Teilstrombehandlung mit Angabe der Probenahmestellen auf dem Klärwerk Mannheim**

Neben dem Verfahrenskonzept der aktuell realisierten Teilstrombehandlung sind in Bild 3 die für die Spurenstoffanalytik maßgeblichen Probenahmestellen dargestellt, die Auswertungen hinsichtlich verschiedenster Fragestellungen erlauben.

In den nachfolgenden Ausführungen wird beispielhaft die zusätzliche Reinigungsleistung aufgezeigt, die sich durch den Einsatz von Pulveraktivkohle und einer anschließenden Filtration für Kläranlagen ergibt, deren Abwasser aus der Nachklärung direkt in das Gewässer eingeleitet wird (= NKB_b – F_a).

Verwendete Dosiermittel

Als Adsorbens wurden die Pulveraktivkohlen „SAE Super“ der Fa. Norit (Untersuchungen zur Spurenstoffelimination) und „AquaSorb 5000-P“ der Fa. Jacobi Carbons (Untersuchungen zur Verringerung der estrogenen Wirkung des Abwassers) eingesetzt. Zum Aufbau von absetz- sowie abtrennbaren Flocken im Bereich der Adsorptionsstufe bzw. in der Filtration wurde dem Abwasser das Polyaluminiumchlorid „SACHTOKLAR“ der Firma Sachtleben zudosiert. Als Flockungshilfsmittel wurde im Bereich der Adsorptionsstufe das mittelanionische Produkt „PRAESTOL 2340“ der Fa. Ashland eingesetzt.

Spurenstoffelimination

Die im Labor membranfiltrierten Abwasserproben (Porendurchmesser 0,45 µm) wurden jeweils auf das Vorkommen von 180 Einzelsubstanzen verschiedener Substanzklassen untersucht. Insgesamt 70 dieser Substanzen konnten in mindestens 60 % aller Messungen im Ablauf der Nachklärung B quantitativ nachgewiesen werden. Es handelt sich hierbei in überwiegender Zahl um Arzneimittelrückstände und Industriechemikalien wie Naphtaline, Duftstoffe, Flammschutzmittel oder Benzotriazole. Die Konzentrationen der untersuchten Einzelstoffe reichen dabei von wenigen Nanogramm pro Liter bis hin zu weit über 100 µg/l.

Die Untersuchungen zeigen, dass bei Anwendung von 10 mg/l Pulveraktivkohle (PAC) mit der angewandten Technik etwa 25 % der heute im Ablauf der Nachklärung vorliegenden Substanzen zu weit über 80 % aus dem Abwasser eliminiert werden können. Etwa knapp weitere 30 % der im Ablauf der biologischen Reinigung vorliegenden Substanzen lassen sich mit der gleichen Adsorbensdosiermenge im Mittel zu etwa 70 % eliminieren. Des Weiteren geht aus Bild 4 hervor, dass etwa 15 % der vorhandenen Substanzen nur mäßig mit einer Aktivkohlemenge von 10 mg/l eliminiert werden können (30 % < η ≤ 60 %) und die restlichen 30 % lediglich sehr geringfügig bis gar nicht eliminierbar sind. Mit Anwendung der doppelten Adsorbensdosiermenge lassen sich etwa 60 % der im Ablauf der Nachklärung vorhandenen Substanzen gut bis sehr gut aus dem Abwasser entfernen. Der Anteil der adsorptiv nicht zu entfernenden Stoffe reduziert sich auf etwa 25 %.

Einen Überblick über die prozentualen Eliminationsleistungen für ausgewählte Einzelstoffe durch das adsorptive Gesamtsystem (= Adsorptionsstufe + Filtration) gibt Bild 5. Im Diagramm wurden nur Substanzen berücksichtigt, die in vergleichsweise hohen Konzentrationen im biologisch gereinigten Abwasser vorliegen, d. h. deren Kon-

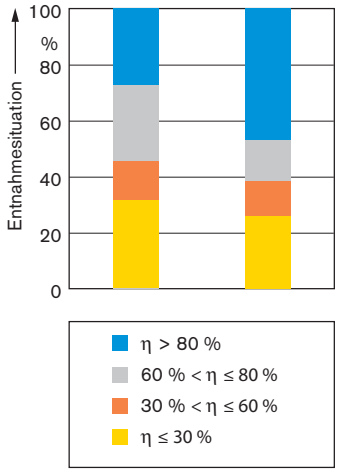


Bild 4 **Verbesserung der Abwasserqualität durch den Betrieb einer Adsorptionsstufe mit anschließender Filtration gegenüber biologisch gereinigtem Abwasser**

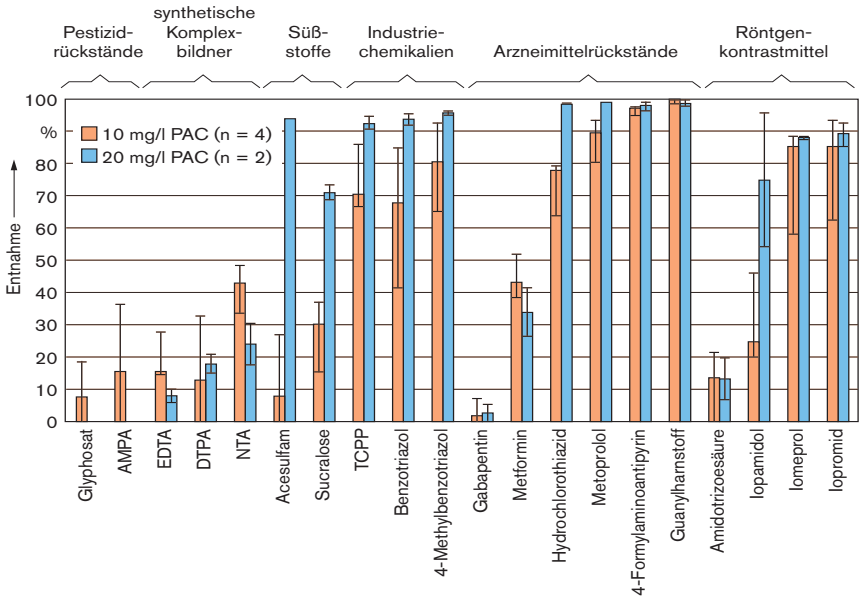


Bild 5 **Elimination ausgewählter Spurenstoffe durch das adsorptive Gesamtsystem (Medianwerte)**

zentrationen im Ablauf der Nachklärung B im Median über 1 µg/l lagen.

Es zeigt sich, dass sowohl die Pestizidrückstände als auch die synthetischen Komplexbildner, jeweils als Substanzklasse betrachtet, nicht durch Pulveraktivkohle aus dem Abwasser entfernbar sind. Ein ähnliches Entnahmeverhalten ergibt sich für das Antiepileptikum Gabepentin und das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure. Die übrigen Substanzen lassen sich in überwiegender Zahl bereits mit einer Pulveraktivkohledosiermenge von 10 mg/l in einem hohen Umfang entfernen. Durch eine Verdopplung der Adsorbensmenge lassen sich die Eliminationsleistungen für die jeweiligen Stoffe noch weiter steigern, so dass teilweise durchaus Entnahmen von über 90 % erzielt werden.

Verringerung der estrogenen Wirkung des Abwassers

Um eine Verbesserung der estrogenen Wirkung des Abwassers nachzuweisen, wurde in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt ein 4-wöchiges aktives Fischmonitoring durchgeführt.

Das Fischmonitoring hat ergeben, dass im Ablauf der biologischen Reinigungsstufe der Straße B ein Anstieg des Biomarkers Vitellogenin um etwa das 370-fache zu verzeichnen ist, sodass hier von einer deutlichen Belastung des Abwassers mit estrogen wirksamen Stoffen auszugehen ist. Nach Aktivkohlebehandlung und Filtration konnte in den Tieren nur noch eine Verdopplung des Vitellogenin-Gehalts festgestellt werden, d. h. die estrogene Belastung des Abwassers wurde signifikant verringert /6/.

LITERATUR

/1/ Ternes, T. A.: Vorkommen von Pharmaka in Gewässern. In: Wasser & Boden, 53/4, S. 9-14 (2001)

/2/ Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg: http://www.koms-bw.de/aktuelles/klaeranlage/ (abgerufen am 10. Oktober 2012)

/3/ Umweltbundesamt: Cleaner Production Germany: „Weitergehende Textilabwasserreinigung mittels Adsorption, Flockung und Filtration im kommunalen Klärwerk Albstadt-Ebingen“. http://www.cleaner-production.de/projekte-publikationen/projekte/textil-bekleidung/weitergehende-textilabwasserreinigung-mittels-adsorption-flockung-und-filtration-im-kommunalen-klae.html (abgerufen am 1. Oktober 2012)

/4/ Rößler, A.: Betriebsbedingungen und Leistung einer Sandfilteranlage nach Aktivkohlebehandlung von Abwasser. Diplomarbeit am Institut für GEO und UMWELT der Hochschule Biberach (2007)

/5/ Metzger, S.: Verbesserung der Abwasserreinigung im Klärwerk Mannheim durch den Betrieb einer Adsorptionsstufe. Vortrag bei der Fachtagung „Aktivkohle im Klärwerksbetrieb“ am 5./6.7.2012 in Sindelfingen, veranstaltet vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

/6/ Schwaiger, J.: Einsatz von Aktivkohle im Klärwerk Mannheim zur Reduzierung estrogen wirksamer Substanzen. Untersuchungsbericht des Bayerischen Landesamts für Umwelt (2012), unveröffentlicht

KONTAKT

Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart/ISWA
Dipl.-Ing. Annette Rößler
Dr.-Ing. Steffen Metzger
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711/68563955
E-Mail: annette.roessler@koms-bw.de

ZUR PERSON

Annette Rößler
Funktion: wissenschaftliche Mitarbeiterin
Fachgebiet: Anwendung von Pulveraktivkohle auf komm. Kläranlagen zur Spurenstoffelimination

Aktuelle Projekte u.a.:
- wissenschaftliche Begleitung von Kläranlagen während des Einfahrbetriebs einer adsorptiven Reinigungsstufe

Dr. Steffen Metzger

Funktion: Leiter des Kompetenzzentrums Spurenstoffe
Fachgebiet: Anwendung von Pulveraktivkohle auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffelimination

Aktuelle Projekte u.a.:
- Beratung von Kläranlagenbetreibern bei der Anwendung von Aktivkohle

Die Aktivkohlebehandlungsstufe auf der Kläranlage Kressbronn

Gezielte Entnahme von Pharmaka, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln

Reinhold Rölle und Bertram Kuch (Stuttgart)

Zusammenfassung

Aus Gründen des vorsorgenden Gewässerschutzes wurde auf der Kläranlage Kressbronn (Bodenseekreis) eine Behandlungsanlage errichtet, die Pharmarückstände, aber auch Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel entfernt, da die konventionelle Abwasserbehandlung selbst unter Einsatz der Sandfiltration diesen Effekt keineswegs erreicht. Von den zur Spurenstoffentfernung in Frage kommenden Verfahrenstechniken erhielt die Aktivkohleadsorption gegenüber der Ozonierung den Vorzug, da die Summe der Vorteile der Verfahrensmerkmale für die Kohleanwendung sprach. Nicht zuletzt spricht die Vermeidung von möglichen Transformationsprodukten für die Adsorption. Die neue Adsorptionsstufe, bestehend aus Kontakt- und Sedimentationsbecken, wurde hydraulisch zwischen die Nachklärung und die Sandfilteranlage eingegliedert. Wie bedeutsam die Spurenstoffentnahme sein kann, wird insbesondere in Regionen mit Erwerbsobst- und Weinbau deutlich. In diesen Regionen finden sich im Abwasser Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel, deren Konzentrationen nicht nur eine Aufklärung verlangen, sondern auch Handlungsbedarf zu ihrer Entfernung erzeugen. Mit der vom Land Baden-Württemberg geförderten Adsorptionsstufe werden auch in dieser Hinsicht Entnahmeraten erzielbar, die die Erwartungen in die Spurenstoffverminderung und -entfernung erfüllen. Für die Spurenstoffelimination ist nach heutigem Kenntnisstand und den bekannten Investitionskosten bei Anlagengrößen unter 50 000 EW von ca. 6 €/(EW × a) bis ca. 7 €/(EW × a) auszugehen.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Aktivkohle, Adsorption, Spurenstoff, Arzneimittel, Wirkstoff, Pflanzenschutzmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel, Elimination, Kosten

DOI: 10.3242/kae2011.11.002

Abstract

The Activated Carbon Treatment Stage at the Kressbronn Wastewater Treatment Plant Selective Removal of Pharmaceuticals, Plant Protection Products and Pesticides

For precautionary water pollution control reasons, a new treatment stage for the removal of pharmaceutical residues as well as plant protection products and pesticides was built at the Kressbronn wastewater treatment plant (Lake Constance District, Germany), because the conventional wastewater treatment – even with the aid of sand filtration – does not have this effect. Among currently available process technologies for the removal of micro pollutants, powder activated carbon adsorption was given preference over ozonisation, because the sum total of advantages of process features argues for the use of activated carbon. Not least the avoidance of transformation products speaks for adsorption. Consisting of contact tanks and a sedimentation basin, the new adsorption stage was integrated hydraulically between the final clarifier and the sand filter. How important the removal of micro pollutants can be becomes especially clear in regions with commercial fruit and winegrowing. A lot of plant protection products and pesticides are found in relative high concentrations in the wastewater of these regions. In addition to informing people about these concentration levels, methods for the removal of these pollutants have to be developed as well. With the adsorption stage – which is supported by the Federal State of Baden-Württemberg – removal rates can be achieved that meet the expectations for the reduction and removal of micro pollutants. According to the present state of knowledge and the known investment costs for plant sizes under 50,000 PE, costs between about 6 €/PE a to about 7 €/PE a are expected for the removal of micro pollutants.

Key words: wastewater treatment, municipal, activated carbon, adsorption, micro pollutant, medicine, active ingredient, plant protection product, pesticide, removal, costs

1 Einleitung

Organische Mikroverunreinigungen im kommunalen Abwasser und insbesondere pharmazeutische Wirkstoffe sind in den letzten Jahren mehr und mehr in den Blickpunkt der Öffentlichkeit gelangt. Vor dem Hintergrund der gesundheitlichen Vorsorge wurden viele Untersuchungen angestellt, wieweit die Verminderung der summarisch betrachteten organischen Spurenstof-

fe denn zu betreiben sei, da vorerst nicht mit Produktentwicklungen zu rechnen ist, die sich „selbst abbauen“. Überdies lassen sich die Einsatzmengen wie auch deren Abbaubarkeit nicht in der Kürze der Zeit in der gewünschten Richtung beeinflussen, sodass die Technik gefragt ist.

Bei der kommunalen Abwasserbehandlung wurden Anwendungstechniken wie die Ozonierung und die Adsorption entwickelt, um (zunächst) in besonders empfindlichen Gebieten wie Trinkwassereinzugsgebieten oder Vorfluterschwächen die organischen Spurenstoffe zunächst dort zu vermindern, wo Gesundheitsrelevanz oder ökotoxikologische Wirkung gegeben ist.

Zu den Spurenschadstoffen zählen auch die Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PBSM). Allerdings gibt es im praktischen Abwasseralltag kaum Informationen über deren Aufkommen und deren Elimination, zumal sich der flächendeckende Einsatz dieser Mittel auf obstwirtschaftliche Anbaugebiete, aber auch Weinanbaugebiete konzentriert (zum Beispiel Insel Reichenau, nördliche Bodenseeregion u. a. m.). Mit der Errichtung von zwei Adsorptionsstufen in den Kläranlagen Kressbronn und Stockach am nördlichen Bodenseeufer, in deren Einzugsgebiet zugleich bedeutender Erwerbsobstbau betrieben wird, findet künftig auch die Entfernung organischer Spurenstoffe insbesondere der Stoffklasse PBSM statt. Damit kommt dem Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser eine zusätzliche Bedeutung zu. Die Adsorptionsstufe dieser Kläranlage und deren diesbezüglich erwartbare (Reinigungs-)Entnahmewirkung werden vorgestellt.

2 Verfahrensauswahl

Für die Verminderung der Mikroschadstoffe bzw. deren Entfernung kommen chemische, physikalische und chemisch-physikalische Verfahren in Betracht. Im Blickpunkt stehen oxidative Prozesse wie die Ozonbehandlung, die Bestrahlung mit energiereichem UV-Licht oder adsorptive Prozesse unter Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK). Unter Adsorption wird hier die Anreicherung von Stoffen auf der Oberfläche des porösen Kohlekörpers verstanden.

Beim der Anwendung von Ozon können Transformationsprodukte, sogenannte Metabolite, gebildet werden, bei denen eine abschließende Toxizitätsbewertung noch nicht gegeben ist. Für die Entfernung möglicher Transformationsprodukte bedarf es unter Umständen weiterer nachfolgender biologischer Behandlungsschritte (zum Beispiel Biofilter). Bei der Ozonbehandlung intermediär gebildete Substanzen weisen eine höhere Polarität auf; sie sind damit wasserlöslicher und damit mit sorptiven Prozessen in geringerem Ausmaß eliminierbar.

Selbst wenn davon ausgegangen werden kann, dass durch den Einsatz der Ozonung und der UV-Behandlung keine relevanten Mengen problematischer Reaktionsprodukte (sogenannte Transformationsprodukte) entstehen [1], so sprechen nachfolgende Aspekte aus der Sicht eines planenden Ingenieurs, der sich aktuell für eine nachhaltige Verfahrenstechnik zu entscheiden hat, für den Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination organischer Spurenstoffe in Kläranlagen:

- langjährige halbtechnische Versuche mit Ergebnissen und Erkenntnissen über die Wirkung und die Anforderungen für den technischen Betrieb,
- die Anwendungsvielfalt in den Behandlungsstufen einer Kläranlage,
- die einfache und aus der Trinkwasseraufbereitung bewährte Verfahrenstechnik,
- die Vermeidung von Transformationsprodukten,
- die hohe Entnahmewirksamkeit auch hinsichtlich der Elimination der perfluorierten Tenside (PFT) [2],
- keine besonderen Materialanforderungen an die maschinelle Ausrüstung,

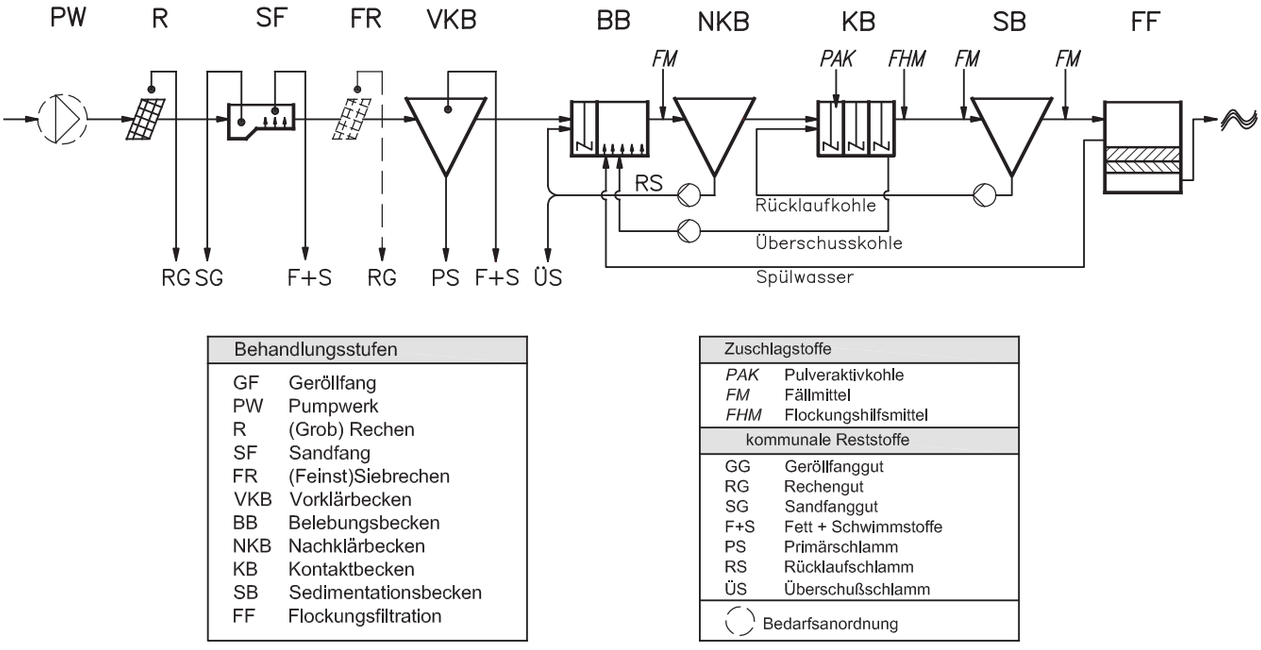


Abb. 1: Behandlungsschritte einer Kläranlage zur Spurenstoffentfernung mittels einer Adsorptionsstufe

Ausbaugröße	30 000 EW
Jahresabwassermenge	2 400 000 m³/a
Mischwasserzufluss	252 L/s
Behandlungsmenge der PAK-Stufe	265 L/s[1)]

Parameter[2)]		Ablauf Nachklärbecken	Ablauf Flockungsfilter	Ablauf Filter nach PAK-Behandlung
Chemischer Sauerstoffbedarf	[mg/L]	21	< 20	< 20
N_{ges}	[mg/L]	18	17[3)]	16
P_{ges}	[mg/L]	0,6	0,2	0,1
AFS	[mg/L]	–	< 5	< 5

[1)] einschließlich Filterspülwasser, [2)] Jahresmittel aus 24-h-Mischprobe, [3)] spezifisches Belebungsbeckenvolumen ca. 80 l/EW

Tabelle 1: Anlagenkenngrößen und Betriebsdaten der Kläranlage Kressbronn, Betriebsjahr 2009

- die bei der Schlammbehandlung, insbesondere bei der Schlammentwässerung, förderliche Wirkung der Überschusskohle hinsichtlich der Entwässerungseigenschaft,
- die bei der Schlammverwertung prinzipielle positive Auswirkung auf den Heizwert des Klärschlamms,
- der untergeordnete Zuwachs an Schlamm.

Der Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffentfernung erlaubt unterschiedliche Verfahrensweisen. So wurden Verfahrensanordnungen untersucht, bei denen PAK direkt in den Wasserüberstand der Sandfilter dosiert wurde sowie die PAK-Dosierung direkt in das Belebungsbecken erfolgte oder PAK in einer eigenen Behandlungslinie bestehend aus Kontaktbecken und Sedimentationsbecken zugegeben wurde. Diese letztgenannte Kombination wird in den folgenden Ausführungen als Adsorptionsstufe bezeichnet. Sie weist unabhängig von der PAK-Dosiermenge bei Versuchen mit Arznei- und Röntgenkontrastmitteln die stabilsten und höchsten Entnahmeraten auf [3].

Wenngleich es noch keine Praxiserfahrungen mit der Anwendung von Pulveraktivkohle in der großtechnischen abwassertechnischen Anwendung zur Spurenschadstoffverminderung gibt, wird ein planender Ingenieur naturgemäß am „Erfolg seiner Planung gemessen". Bemessungsempfehlungen von Forschungsstellen, auf die er zurückgreifen kann, erleichtern ihm die Verfahrenswahl auch in haftungsrechtlicher Sicht.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Adsorptionsstufe geplant und gebaut, die die in Abbildung 1 dargestellten Behandlungsstufen aufweist. Im Fall der Kläranlage Kressbronn (Bodenseekreis, Baden-Württemberg) besteht die Adsorptionsstufe aus einem in mehrere Kammern unterteilten Kontakt- und einem Sedimentationsbecken (KB + SB), die verfahrenstechnisch wie auch hydraulisch neu eingegliedert wurden.

3 Die Adsorptionsstufe der Kläranlage Kressbronn als Verfahrenstechnik

Die im Jahr 1967 in Betrieb genommene Kläranlage für ca. 30 000 Einwohnerwerte besitzt seit 1995 nach der mechanisch biologischen Behandlung zusätzlich einen Zweischichtsandfilter. Der Mischwasserzufluss beträgt Q_m = 252 L/s. Die weiteren Anlagenkenngrößen sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Die Kläranlage hat für die Funktion der Nachklärung nur ein Sedimentationsbecken, das 1978 entstand.

Angesichts des Defizits der Zweistraßigkeit der Kläranlage ergaben Überlegungen im Zuge der Vorplanung, mit einem

Auslegungsgrößen und Betriebsparameter	Zeichen	Einheit	Q_T	Q_M
Schlammvolumenbeschickung NKB[1)]	q_{SV}	[L/m²h]	–	~ 500
Verweilzeit im Kontaktreaktor	$t_{A,K}$	[min]	> 60	35
spezifischer Energieaufwand für • Rühren und Mischen Kontaktbecken • Kohleaufbereitung, -rückführung • Adsorptionsstufe (KB + SB)[2)] gesamt	P_{pV}	[W/m³]	 – – –	 12 29 49
Verweilzeit Sedimentationsstufe	$t_{A,S}$	[h]	4,7	2,6
Flächenbeschickung Sedimentationsstufe	$q_{A,S}$	[m/h]	0,87	1,55
Rücklaufverhältnis Rücklaufkohle	RV_{RK}	[%]	≤ 70	~ 40
Abzugsrate Rücklaufkohle	$q_{A,RK}$	[m/h]	≤ 0,61	0,61

[1)] TSBB ~ 3,3 kg/m³, ISV ~ 100 L/kg; [2)] KB: Kontaktbecken, SB: Sedimentationsbecken

Tabelle 2: Auslegungsgrößen und Betriebsparameter der Adsorptionsstufe der Kläranlage Kressbronn-Langenargen

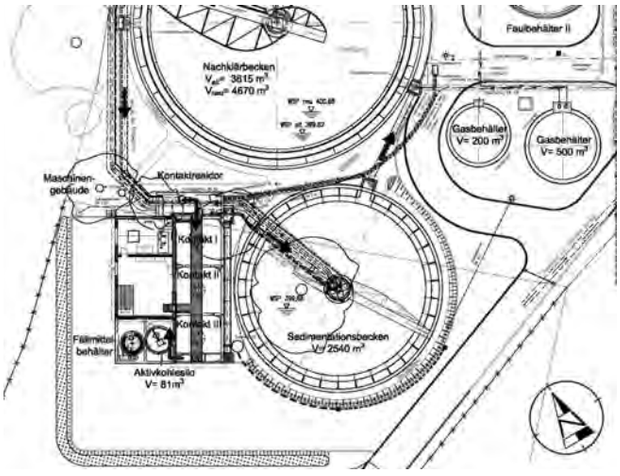


Abb. 2: Lageplanausschnitt der Adsorptionsstufe der Kläranlage Kressbronn

neuen Sedimentationsbecken diesem Nachteil Rechnung zu tragen und gleichzeitig einer Sanierung des bestehenden Nachklärbeckens den Weg zu ebnen.

In der weiteren Planungsentwicklung wurde eine Absetzbeckenoberfläche festgelegt, die zum einen eine Vollstrombehandlung in der Adsorptionsstufe ermöglicht und andererseits als Interimsnachklärung eine Sanierung des seit 1978 permanent betriebenen Nachklärbeckens erlaubt. Einhergehend mit dessen Sanierung wird eine Wasserspiegelanhebung für die hydraulische Eingliederung der Adsorptionsstufe vorgenommen.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, kann mit der Dimensionierung des Kontaktvolumens die empfohlene Verweilzeit im Kontaktreaktor mit ~ 35 min wie im Sedimentationsbecken mit ~ 2,6 h eingehalten werden [4]. Überdies kann durch die Wassertiefenerhöhung die in der Tabelle ausgewiesene Schlammvolumenbeschickung in der Nachklärung von q_{sv} ~ 500 L/(m² × h) nunmehr eingehalten und die Feststoffabtrennung betriebssicher betrieben werden. Damit wird neben der Spurenstoffverminderung ein bestehender Engpass (mögliche Außerbetriebnahme des Nachklärbeckens) der Kläranlage Kressbronn beseitigt.

Abbildung 2 zeigt die Kläranlage im Lageplan (Ausschnitt) mit der eingegliederten Aktivkohlestufe. Deren Beschickung erfolgt über einen vom Nachklärbecken (nach dem Umbau) kommenden Düker. Die Dosierstoffe und -mengen wurden nach den Empfehlungen der Hochschule Biberach [5] vorgenommen und sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Welche Dosierstelle die beste Abtrennwirkung der absetzbaren Stoffe im Sedimentationsbecken mit sich bringt, bleibt der Betriebsoptimierung nach der Inbetriebnahme vorbehalten. Jedenfalls bietet das aus den vorgenannten Gründen großzügig bemessene Sedimentationsbecken sehr gute Voraussetzungen zum Kohlerückhalt. Der Ablauf aus dem Sedimentationsbecken wird an die bestehende Zuleitung zur Filteranlage angeschlossen und wie bisher filtriert. Mit der so beschriebenen PAK-Stufe wird eine Reinigungsleistung hinsichtlich der „Arzneimittelsummenkonzentration“ von 80 % und mehr erwartet [5].

Da sich die bisherigen Forschungsergebnisse auf den Einsatz und die Anwendung der Aktivkohle Norit SAE Super erstreckten, wurde der Ersteinsatz ebenfalls mit diesem Produkt geplant. Es bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten, über die Auswahl der Aktivkohlesorte sowohl hinsichtlich der Wirkung als auch der Kosten zu entscheiden.

4 Eliminationserwartungen hinsichtlich der Pharmaka und der Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel

4.1 Allgemeines

Da der Verbrauch an Produkten, die synthetische organische Stoffe enthalten, stetig zunimmt, ist es unausweichlich, dass diese Stoffe über die Pfade der Siedlungsentwässerung und damit über Kläranlagen in Seen, Flüsse und ins Grundwasser gelangen. Der vorsorgende Schutz der Gewässergüte macht es erforderlich, diese Spurenschadstoffe zu erfassen, zu beurteilen und erforderlichenfalls zu entfernen [6].

Die organischen Spurenstoffe erstrecken sich über ein weites Feld an Stoffklassen und reichen beispielsweise von den aromatischen Kohlenwasserstoffen über die pharmakologischen Wirkstoffe, über die Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbehandlungsmittel (PBSM) bis hin zu den Oberflächenbehandlungsmitteln (zum Beispiel PFT). Im Zuge dieser Ausführungen werden lediglich die zu erwartenden Entfernungsraten hinsichtlich der

- summarisch erfassten Arzneimittel,
- Röntgenkontrastmittel sowie der
- PBSM

angesprochen. Zu Vorkommen und Elimination pharmazeutischer Wirkstoffe und Röntgenkontrastmittel liegen verschiedene Untersuchungsergebnisse vor, über die berichtet werden kann.

Dosierstelle	Dosiermittel	Dosiermenge (Ersteinsatz)
vor Kontaktbecken	PAK Norit SAE Super	~10 mg/L PAK
nach Kontaktbecken (Q_T)	Flockungshilfsmittel (FHM) Praestol A 3040 L	~ 0,3 mg Fe/mg PAK ~ 5,6 mg Fe/L
nach Kontaktbecken	Fällmittel (FM) Fe(III)chloridsulfat	~ 0,25 mg WS/L
nach Sedimentationsbecken	Fällmittel (FM) Fe(III)chloridsulfat	~ 0,5 mg Fe/L bis ~ 1,5 mg Fe/L

Tabelle 3: Dosiermittel und -mengen in der Pulveraktivkohlestufe der Kläranlage Kressbronn

Da das nördliche Bodenseeufer von Lindau (Bayern) bis Stockach (Baden-Württemberg) als ausgesprochenes Erwerbsobstbau- und Weinanbaugebiet gilt, rückt die Stoffklasse der Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel hier stärker in den Blickpunkt.

4.2 Pharmaka

Auf dem „Gesundheitsmarkt" befinden sich ca. 30 000 Produkte mit insgesamt 2750 Wirkstoffen. Allein in Deutschland beträgt der Verbrauch an diesen Stoffen etwa 10 Mg/a [7]. Seit dem analytischen Nachweis dieser Stoffe stehen Kläranlagen als einer der Haupteintragspfade in die aquatische Umwelt fest. Gleichzeitig entstand die Frage nach dem aus Vorsorgegründen erforderlichen Maß der Entnahme dieser Stoffe. Die in der jüngeren Vergangenheit geführte bezügliche Diskussion führt zu bisher (noch) unverbindlichen Zielwerten für Gewässer und Trinkwasser. Gleichwohl lässt sich anhand der Zielwerte sowie der ebenso diskutierten gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) eine Mindest-Entnahmerate für die einzelnen Stoffklassen ableiten.

Für das Einzugsgebiet der Verbandskläranlage Kressbronn wurden die Leitgrößen der organischen Spurenstoffe im Kläranlagenzulauf im Vorfeld stichprobenhaft ermittelt, wobei sich sowohl deren Vorhandensein als auch deren durchschnittliches Auftreten im Vergleich mit anderen veröffentlichten Untersuchungen bestätigte [8]. Beispielhaft wurden für das Schmerzmittel Diclofenac 3000 ng/L (Ablauf 630 ng/L) und für das Antiepileptikum Carbamazepin 1600 ng/L (Ablauf 690 ng/L) gemessen.

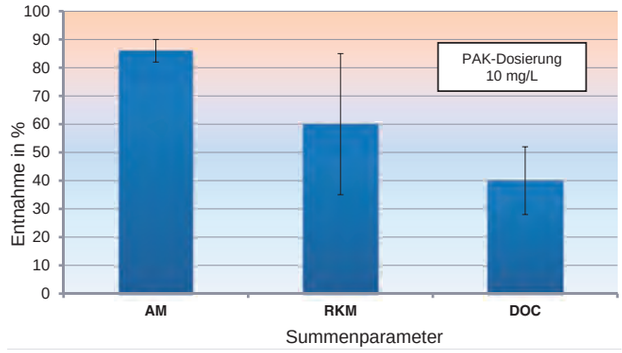


Abb. 3: Entnahmeraten der Summenparameter „Arzneimittelwirkstoffe", „Röntgenkontrastmittel" und gelöster organischer Kohlenstoff nach Metzger [3]

Für die Summe der Arzneimittelwirkstoffe kann vereinfachend anhand der in Abbildung 3 dargestellten Entnahmeraten geprüft werden, ob mit der vorgesehenen PAK-Dosierung ein Zielwert bzw. der GOW erreicht werden kann. Für die Adsorptionsstufe Kressbronn kann begründet von den in Abbildung 3 dargestellten Entnahmeraten ausgegangen werden. Es bleibt den ohnehin geplanten Kontrollmessungen vorbehalten, festzustellen, ob die erreichbaren Entnahmeraten zu den in der Diskussion befindlichen gesundheitlichen Orientierungswerten von 100 ng/L (0,1 μg/l) führen. Die Abbildung führt auch die Entnahmerate der summarischen organischen Abwasserinhaltsstoffe (Restorganik) als DOC auf. Da

Gruppe der Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel	Wirkstoff[1)]	Kläranlagen-Abläufe 2001 [11] (Maximalwerte [ng/l])	Kläranlagen-Ablauf Stockach 2011 (Maximalwerte [ng/l])
Herbizide	Atrazin	8800	< BG[2)]
	Dimethenamid	n. b.[1)]	140
	Isoproturon	1315	< BG
	MCPA	99 200	1790
	Mecoprop-P	900	890
	Metazachlor	5000	220
Insektizide	Imidacloprid	610	< BG
	Pirimicarb	4260	170
Fungizide	*Boscalid*	n. b.	60
	Myclobutanil	250	130
	Penconazol	580	140
	Pentachlorphenol	n. b.	70
	Pyrimethanil	6800	< BG
	Propiconazol	n. b.	30
	Tebuconazol	n. b.	40
	Terbutryn	n. b.	240
	Tetrahydrophthalimid (M)[3)]	n. b.	760
	Triademenol	180	< BG
Insektenrepellent	*N,N´-Diethyltoluamid*	n. b.	120

[1)] n. b.: nicht bestimmt; [2)] BG: Bestimmungsgrenze; [3)] M: Metabolite der PBSM

Tabelle 4: Konzentrationen von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln von Kläranlagen im nördlichen Bodenseegebiet in den Jahren 2001 und 2011

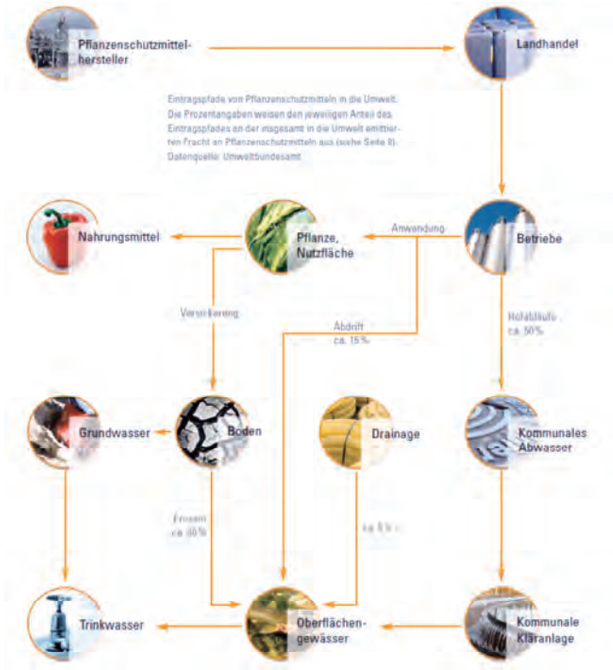


Abb. 4: Eintragspfade von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln in die Umwelt [9]

es die Geräteentwicklung möglich macht, den DOC-Wert online zu erfassen, kann dieser Wert künftig zur Kontrolle hilfreich sein.

4.3 Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel

Pflanzenschutzmittel gibt es nachweislich seit der Einführung des Insektizids Dinitrocresol im Jahr 1892 durch die Firma Bayer [9]. Deutschland hat weltweit einen erheblichen Produktionsanteil an Wirkstoffen und stellt jährlich ca. 95 000 Mg her [10]. Davon verbleiben ein Drittel – ca. 32 000 Mg – zur Pflanzenbehandlung und Schädlingsbekämpfung im Land. Es wird geschätzt, dass über die in Abbildung 4 dargestellten Eintragspfade ca. 30 Mg in die Oberflächengewässer gelangen. Die Eintragspfade zeigen mehr als deutlich einen durchaus vermeidbaren Anteil, der über die Hofflächen (Hofabläufe) aus den Erwerbsobst- und Weinbaubetrieben zur Kläranlage gelangt. Wenngleich es mehr als geboten ist, im Kreise der PBSM-Anwender mehr Aufklärungsarbeit über den Gebrauch und die Handhabung von Spritzgeräten im Hinblick auf deren Reinigung am Einsatzort (anstelle auf den Betriebsflächen) zu leisten, so bedarf es insbesondere auch der Verbesserung des Rückgabesystems für gebrauchte, abgelaufene oder nicht mehr zugelassene PBSM. Da diese erkannten Defizite wie auch der „Missbrauch" nicht in der Kürze der Zeit behebbar sind, bleibt den Siedlungswasserbauern die Entnahmetechnik.

4.3.1 Erfassung der Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel

Aus dem Jahr 2001 liegen Befunde von PBSM in Kläranlagenabläufen vom nördlichen Bodenseeufer vor [11]. Im Zeitraum von März bis Mai 2011 wurden im Einzugsgebiet der Kläranlage Stockach (Kreis Konstanz) vom Kläranlagenablauf stichprobenartig PBSM-Substanzen bestimmt und den Befunden aus dem Jahr 2001 gegenübergestellt.

Die in Tabelle 4 ausgewählten und dargestellten Substanzen werden in Kläranlagen generell nur wenig eliminiert. Die Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel sind in Herbizide, Insektizide und Fungizide unterteilt. Kursiv dargestellt sind Wirkstoffe, die seit 2001 neu entwickelt bzw. gehandelt werden oder im damaligen Untersuchungsprogramm nicht enthalten waren. Mit der Gegenüberstellung wird deutlich, dass das Anwendungsspektrum der PBSM steten Änderungen unterworfen ist. Dieser Umstand, der auch auf pharmazeutische Wirkstoffen und eine Vielzahl anderer organischer Mikroverunreinigungen zutrifft, erfordert eine dynamische Anpassung der analytischen Vorgehensweise und auch der Bewertungsansätze. Konnte im Jahre 2001 das Herbizid Atrazin trotz Anwendungsverbot noch bestimmt werden, wird nun die Bestimmungsgrenze (BG) unterschritten. Weiterhin auffällig sind die Herbizide Mecoprop-P und MCPA mit Maximalwerten von 890 ng/L sowie 1790 ng/L. Bei den Fungiziden fällt die Substanz Terbutryn mit Werten bis zu 240 ng/L auf, da es für die landwirtschaftliche Anwendung keine Zulassung mehr gibt. Das Auftreten der Verbindung muss aber keinen Hinweis auf eine unzulässige Anwendung darstellen, da eine Vielzahl von PBSM in anderen Produkten wie zum Beispiel Anstrichfarben, Dachisolierungen usw. eingesetzt werden darf. Als Beispiel für einen PBSM-Metabilten ist Tetrahydrophthali-

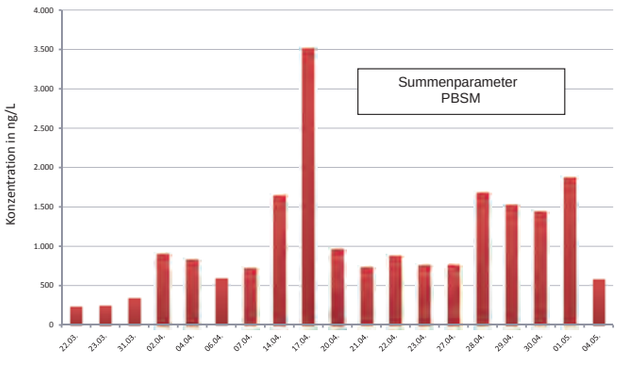


Abb. 5: Ganglinie der PBSM von Februar 2011 bis Mai 2011 im Ablauf der Verbandskläranlage Stockach (Kreis Konstanz)

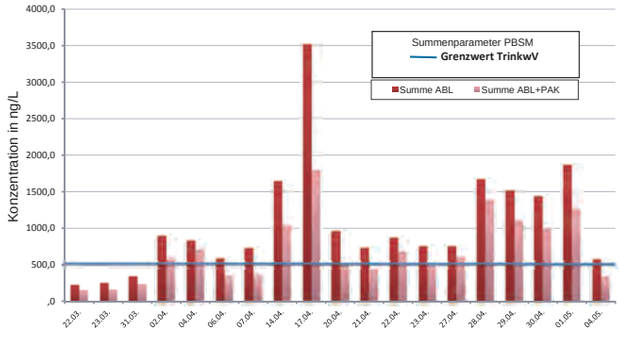


Abb. 6: Summendarstellung der PBSM-Elimination auf der Kläranlage Stockach

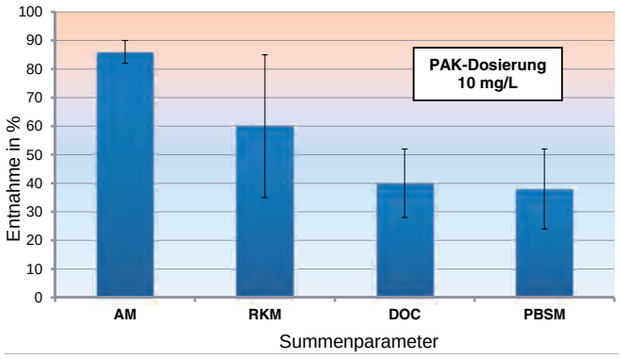


Abb. 7: PBSM-Konzentrationen nach mechanisch biologischer Behandlung und nach der Behandlung mit Pulveraktivkohle

mid mit deutlichen Befunden von bis zu 760 ng/L zu nennen. Bei der Substanz handelt es sich um ein toxisches Abbauprodukt des Fungizids Captan.

Das Thema PBSM und vorsorglicher Gewässerschutz bedarf wohl einer größeren Aufmerksamkeit. Die summarische Darstellung der PBSM im Kläranlagenablauf Stockach über einen der Ausbringung dieser Mittel vergleichbaren Zeitraum zeigt Abbildung 5. Dabei sind sowohl das Einzugsgebiet wie auch die Stufen der Abwasserbehandlung mit den Bedingungen der Kläranlage Kressbronn vergleichbar. Dies wird durch Untersuchungen der Kläranlagenabläufe von Kressbronn und Eriskirch bestätigt. Im Jahr 2001 wurden bereits die Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittelwirkstoffe Diuron, Cyprodimil, Myclobutanil und Penconazol in über 90 % der untersuchten Proben nachgewiesen, wobei bei PBSM-Wirkstoffen mit Zielvorgaben deutliche Mehrfachüberschreitungen vorlagen [12].

Jedenfalls wird sehr deutlich, dass die von der LAWA formulierten Zielvorgaben für Einzelsubstanzen – im Wesentlichen zwischen 50 ng/L und 300 ng/L (zitiert in [11]) – angesichts der kumulierenden Befunderscheinung einen Handlungsbedarf aufzeigen, der sich nicht nur auf den technischen Aufbereitungsprozess beschränken darf.

4.3.2 Untersuchungen zur Elimination der Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbehandlungsmittel

Angesichts der deutlichen Befunde an PBSM stellt sich die Frage, von welchen Entnahmeraten ausgegangen werden kann, wenn dieses Abwasser einer Aktivkohlebehandlung unterzogen wird, die der vorgenannten Verfahrensweise entspricht. Hierzu wurde die PAK-Behandlung mit einer Dosiermenge von 10 mg Norit SAE Super/L Abwasserprobe bei einer Kontaktzeit von 30 min im Labor simuliert. Die membranfiltrierten Proben wurden nach weiteren Aufarbeitungsschritten mittels GC/MS (Kopplung von Gaschromatographie und Massenspektrometrie) analysiert.

Die Entnahmewirkung durch PAK-Behandlung ist in Abbildung 6 den unbehandelten Proben gegenübergestellt. Die dargestellten Konzentrationen setzen sich summarisch aus den Einzelkonzentrationen von 14 PBSM zusammen, die über den gesamten Untersuchungszeitraum in den Abwasserproben der Kläranlage Stockach enthalten waren. Die Konzentrationen der Einzelverbindungen weisen erhebliche Schwankungen mit zum Teil ausgeprägten anwendungsbedingten Konzentrationsspitzen auf.

Zusätzlich konnte für die Eliminationsraten der Einzelverbindungen ein Bereich von < 12 % (zum Beispiel Tetrahydrophthalimid) bis zu 65 % (Boscalid) ermittelt werden. Unter den angewendeten Versuchsbedingungen ergab sich bei der eingesetzten Kohle ein Trend zu steigender prozentualer Entnahme mit steigendem Molekulargewicht der Substanzen. Die unterschiedlichen Entnahmen in der PBSM-Summendarstellung werden maßgeblich durch die Dominanz verschiedener Einzelverbindungen an den einzelnen Probennahmetagen verursacht. Als mittlere prozentuale Entnahme der Summe an PBSM wurden 38 % ermittelt. Die in den Laborversuchen erreichten Entnahmeraten sind sicher noch steigerbar, da die zuvor beschriebene Aktivkohlebehandlung im Labor im Sinne der Beladung der Kohle noch nicht abgeschlossen ist und der beladungssteigernde Rückführeffekt erst in der Praxis gegeben ist. Nach Metzger [3] kann infolge „Mehrfachbeladung“ von weiteren 35 % bis 60 % in Bezug auf die erste Beladungsphase ausgegangen werden.

In Abbildung 7 sind die vorgestellten Entnahmeraten nun um die PBSM ergänzt. Die Verfahrenstechnik der Pulveraktivkohleadsorption bietet durchaus die Möglichkeit, die noch festzuschreibenden Zielwerte bzw. gesundheitlichen Orientierungswerte durch auf den Anlagen individuell festzulegende Dosiermengen an PAK, aber auch durch das vorhandene Optimierungspotenzial zu erreichen. Ein unbestreitbar großer Vorteil des „PAK-Verfahrens“ ist es, dass keine Umwandlungsprodukte entstehen. Im Hinblick auf oxidative Verfahren spielt diese Erkenntnis bei Einzugsgebieten mit Wein- und Erwerbsobstbau und dem einhergehenden Eintrag an Fungiziden eine mitentscheidende Rolle.

Lit.	Kläranlagenbetreiber	Anschlussgröße	spezifische Jahreskosten	
		[EW]	[€/m^3_{Abw}]	[€/EW × a]
	ZV Kressbronn-Langenargen	30 000	0,08–0,09	5,90
	AV StockacherAach[1)]	48 000	0,07–0,08	6,85
[14]	Stadt Mannheim[1)]	145 000	0,05	2,13
[15]	ZV Böblingen-Sindelfingen[1)]	250 000	0,047	1,60
[4]	Literatur		0,05–0,07	5–7

[1)] Teilstrombehandlung

Tabelle 5: Spezifische Jahreskosten bei der Pulveraktivkohlebehandlung (PAK-Zugabe 10 mg/L), Hochrechnung nach erfolgten Bauvergaben

5 Kostenbetrachtungen

Die Einführung weitergehender Reinigungsstufen in der kommunalen Abwasserbehandlung wird stets von Kostendiskussionen begleitet. Dies wird insbesondere geschehen, solange die Installation solcher Reinigungsstufen, zu der die Aktivkohlebehandlung zweifellos zählt, von einer gewissen „Freiwilligkeit" geprägt ist. Die Frage der Kosten stellt sich dann nicht mehr, wenn, wie im Fall der Schweiz, die Errichtung solcher Behandlungsstufen ab einer gewissen Kläranlagengröße oder ungünstiger Verdünnungsverhältnisse verbindlich vorgegeben wird [13].

Wie Tabelle 5 zeigt, hängen die spezifischen Jahreskosten von der Kläranlagenanschlussgröße ab. Diese Kostenangaben dienen einer gewissen Vergleichbarkeit, wobei die gebührenrelevanten spezifischen Kosten auf die verkauften Trinkwassermengen zu beziehen wären und etwa um den Faktor 2 höher anzusetzen sind. Für den Verband Kressbronn-Langenargen wären demzufolge künftig die spezifischen Jahreskosten um ~ 0,16 €/m³ Trinkwasser höher. Da sich möglicherweise Synergieeffekte in Form verbesserter Schlammentwässerung oder geringerem Flockungsmittelbedarf einstellen, sollten die tatsächlichen Jahreskosten nach der Einführung des geordneten Regelbetriebs nachgeprüft werden.

Literatur

[1] Abegglen, C, Escher, B., Hollender, J., Siegrist, H., von Gunten, U., Zimmermann, S., Häner, A., Ort, C., Schärer, M.: Ozonung von gereinigtem Abwasser zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Großtechnischer Pilotversuch Regensdorf (Schweiz), *KA* 2010, *57* (2), 155–160

[2] Schröder, H. F., Gebhardt, W., Hayashi, D., Chittka, U., Pinnekamp, J.: Die Elimination perfluorierter Tenside (PFT) bei der Abwasserreinigung unter Einsatz weitergehender physikalisch-chemischer Verfahren, *KA* 2010, *57* (4), 350–356

[3] Metzger, S.: *Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser, Verfahrenstechnische, betriebliche und ökonomische Aspekte bei der Entfernung von Spurenstoffen*, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2010

[4] Damman, E.; Fromm, J.: Aktivkohle zur besseren Abwasserreinigung, Fachtagung des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg in Ulm, *KA* 2007, *54*, (12), 1213–1217

[5] Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H., Hiller, G., Süßmuth, W, Maurer, M.: Spurenstoffentnahme in kommunalen Kläranlagen durch Adsorption, *KA* 2009, *56* (6), 610–618

[6] Bundesamt für Umwelt BAFU: *Mikroverunreinigungen in den Gewässern – Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung*,Reihe Umwelt-Wissen, Bd. 17/09, Bern, 2009, *www.umwelt-schweiz.ch/uw-0917-d*

[7] Jekel, M.: Verminderung von organischen Spurenstoffen im Abwasserbereich zur Gewässerentlastung, Aktivkohle in der Abwasserreinigung – Vom Versuch zum technischen Maßstab, *Tagungsband zum Symposium Aktivkohle*, DWA-Landesverband Baden-Württemberg, Juni 2010

[8] Götzelmann + Partner: *Machbarkeitsstudie zur Reduktion organischer Spurenstoffe*, Stuttgart, 2008

[9] Institut für sozial-ökologische Forschung (Hrsg.): *Vorsorge durch gemeinsame Verantwortung: Integrative Strategien zu Risikominderung im chemischen Pflanzenschutz, Eine Handreichung für die Praxis*, Ergebnisbericht zum Projekt start$_2$: Strategien zum Umgang mit hormonell wirksamen Agrarchemikalien, ISOE-Materialien Soziale Ökologie, Nr. 33, Frankfurt a. M., 2010, *www.start-project.de/downloads/start_2_Ergebnisbroschuere.pdf*

[10] Industrieverband Agrar e.V.: *Düngemittel – Produktion – Markt – Landwirtschaft*, 2010, *www.duengung.net*, *www.iva.de*

[11] Schlichtig, B., Schüle, E., Rott, U.: Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in die Seefelder Aach, *Wasser und Abfall*, 2001, *3* (3), 20–28

[12] Setzer, T.: Überprüfung des Beitrages der Flockungsfiltration zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen, Diplomarbeit, FH Hamburg, 2001

[13] Götz, C.: Organische Spurenstoffe in kommunalem Abwasser – Aktuelle Entwicklungen in der Schweiz, *KA*, 2011, *58* (4), 348–351

[14] Alt, K., Mauritz, A.: Projekt zur Teilstrombehandlung mit Pulveraktivkohle im Klärwerk Mannheim, *KA* 2010, *57* (2), 161–166

[15] Schwentner, G., Schröder, M.: Ergänzung der Flockungsfiltration durch Vorschaltung einer Aktivkohleanlage am Beispiel der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen, Reihe GWA – Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 220, Beitrag 35, Aachen, 2010

Autoren

Dr.-Ing. Reinhold Rölle
W. Götzelmann + Partner GmbH
Friolzheimer Straße 3, 70499 Stuttgart

Dr. Bertram Kuch
Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart
Im Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

E-Mail: R.Roelle@goetzelmann-partner.de

Seit 1955

überreicht durch:
Götzelmann + Partner - Beratende Ingenieure
Wasser ● Abwasserbehandlung ● Umwelttechnik ● Verkehr ● Energie

Stammhaus:
Friolzheimer Straße 3
70499 Stuttgart
Tel. 0711/25707-0
Fax 0711/25707-57
info@goetzelmann-partner.de

Niederlassung:
Hölzlestraße 11
72336 Balingen
Tel. 07433/90469-0
Fax 07433/90469-9
info@goetzelmann-partner-bl.de

Aktivkohleadsorptionsstufe
Kläranlage Kressbronn
(Bodenseekreis)

wir
beraten
planen
überwachen

im
Wasserbau
Hochwasserschutz
Siedlungswasserbau
Gewässerbau
Schlammbereich
Energiesektor
Straßenbau
Erschließungsbereich

www.goetzelmann-partner.de

Spurenstoffentnahme in kommunalen Kläranlagen durch Adsorption

Steffen Metzger, Annette Rößler, Helmut Kapp (Biberach), Georg Hiller, Wolfgang Süßmuth (Ulm) und Martin Maurer (Karlsruhe)

Zusammenfassung

In einer halbtechnischen Versuchsanlage wurde geprüft, inwiefern es möglich ist, die organische Restverschmutzung im Kläranlagenablauf mittels Pulveraktivkohle weiter abzusenken. Die Verbesserung der Abwasserqualität wird neben den Summengrößen CSB und DOC an der Verringerung von einzelnen Mikroschadstoffen festgemacht: Messungen haben gezeigt, dass mit einem Einsatz von 10 mg/L Pulveraktivkohle im Mittel eine Entnahme von 80 Prozent je Arzneimittelwirkstoff gegeben ist. Gleichzeitig konnte ein Zusammenhang zwischen der Entnahme der organischen Restverschmutzung und der Entnahme von Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser festgestellt werden. Neben der erzielbaren Reinigungsleistung ist ebenso ein sicherer Feststoffrückhalt notwendig. Hierzu wurde das Betriebsverhalten eines Zweischichtsandfilters, wie er bereits auf einigen kommunalen Kläranlagen vorhanden ist, untersucht und Dimensionierungskriterien erarbeitet.

Schlagwörter: Abwasserentsorgung, kommunal, weitergehende Reinigung, Aktivkohle, Spurenstoffe, anthropogen, Mikroverunreinigung, Feststoff, Rückhalt, Pilotprojekt, halbtechnisch, Sandfiltration, Betriebserfahrung

DOI: 10.3242/kae2009.06.007

Abstract

Removal of Trace Elements by Adsorption in Municipal Wastewater Treatment Plants

Experiments in a semi-scale pilot plant were undertaken to check whether it is possible to further reduce the residual organic pollution load in the run-off from wastewater treatment plants by adding pulverised activated carbon. The improvement in wastewater quality can be judged by looking at COD and DOC levels or the amounts by which individual micro-pollutants were reduced: measurements have shown that on average 10 mg/L of pulverised activated carbon lead to an 80 % reduction of the levels of each active ingredient. At the same time, a correlation between the removal of residual organic pollution and the removal of trace elements from municipal wastewaters was found. In addition to the obtained purification capacity, the safe retention of solids is also necessary. For this purpose, the operating behaviour of a two-layer sand filter, which already exists at a number of municipal wastewater treatment plants, was studied and design criteria were developed.

Key words: wastewater disposal, municipal, advanced treatment, activated carbon, trace elements, man-made, micro-impurities, solid matter, retention, pilot project, semi-scale, sand filtration, operational experience

1 Einleitung

Zur Entfernung von Spurenstoffen wird bei der Trinkwasseraufbereitung häufig Aktivkohle eingesetzt [1]. Bevorzugte Verfahrenstechnik ist hierbei die Kornkohlefiltration. Pulveraktivkohle hingegen wird besonders dann eingesetzt, wenn die Belastungen durch organische Spurenstoffe in den oberflächenwasserbeeinflussten Rohwässern lediglich temporär vorliegen [2].

In der kommunalen Abwasserbehandlung wird Pulveraktivkohle zur Elimination von Farbstoffen der Textilveredelungsindustrie verwendet [3]. Untersuchungen zeigen, dass durch den gezielten Einsatz von Pulveraktivkohle neben der Entfernung von Farbstoffen eine weitergehende Entnahme der organischen Restverschmutzung gegeben ist [3, 4].

Seit Mitte 2003 untersucht die Hochschule Biberach in Zusammenarbeit mit dem Zweckverband Klärwerk Steinhäule in einem vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderten FuE-Vorhaben, wie und in welchem Umfang die organische Restverschmutzung im Ablauf kommunaler Kläranlagen mit Hilfe von Pulveraktivkohle weiter verringert werden kann. Ziel des Vorhabens war es, eine dauerhafte Unterschreitung der CSB-Ablaufwerte von 20 mg/L sicherzustellen. Gleichzeitig wurde geprüft, ob mit der angewandten Verfahrenstechnik organische Mikroschadstoffe aus dem Abwasser quantitativ entfernt werden können.

2 Verfahrenstechnik

Wesentliches Kennzeichen der untersuchten adsorptiven Verfahrenstechnik zur weitergehenden Abwasserreinigung ist der Einsatz von Pulveraktivkohle im Gegenstromprinzip: Frische Pulveraktivkohle wird zunächst dem biologisch gereinigten Abwasser zugegeben und anschließend zur besseren Ausnutzung in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Die unzureichende Abtrennung der Pulveraktivkohle durch Sedimentati-

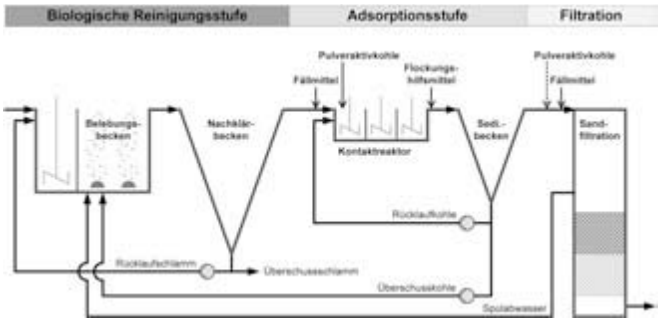


Abb. 1: Verfahrensschema des untersuchten adsorptiven Reinigungskonzepts

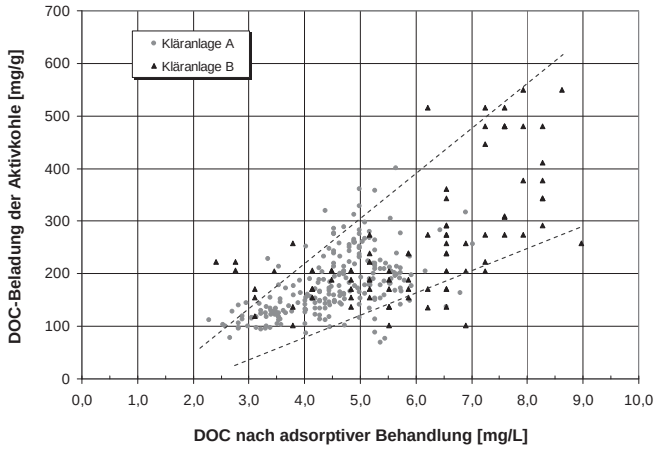


Abb. 2: DOC-Beladung der Pulveraktivkohle in der Adsorptionsstufe unter Berücksichtigung der Annahme, dass 1,0 bis 1,4 mg/L DOC durch die Fällmittelzugabe in der Adsorptionsstufe gebunden wird. (Hinweis: Die DOC-Beladung der Kläranlage B wurde über die CSB-Daten und das mittlere vorherrschende CSB/DOC-Verhältnis errechnet).

on, aber auch der Leitgedanke einer weitergehenden Abwasserreinigung erfordern es, dass nach der eigentlichen Verringerung von gelösten, biologisch nicht entfernbaren organischen Substanzen als letzter Verfahrensschritt eine Filtration zur Sicherstellung eines nahezu feststofffreien Kläranlagenablaufs anzuordnen ist. Demnach ist die Aneinanderreihung der in Abbildung 1 dargestellten einzelnen Reinigungsstufen im Gesamten als adsorptives Abwasserreinigungskonzept zu bezeichnen. Die eigentliche Dosierung der Pulveraktivkohle wird hierbei in der Adsorptionsstufe vorgenommen. Zusätzlich kann, durch die Wahl und Anordnung der Reinigungsstufen, bei unzureichendem Reinigungsergebnis nach der Adsorptionsstufe, eine Nachdosierung von Pulveraktivkohle vor dem Filter vorgenommen werden. Der Überstau über dem Filterbett, der primär zur Bereitstellung der notwendigen Druckreserven dient, kann folglich als sekundärer Reaktionsraum für die Pulveraktivkohle genutzt werden.

Die Adsorptionsstufe besteht aus einem als dreistufige Kaskade ausgebildeten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken. Um im Sedimentationsbecken die Pulveraktivkohle besser abtrennen zu können, wird vor dem Kontaktreaktor dem zufließenden Abwasser Fällmittel zum Aufbau einer abtrennbaren Flocke zudosiert. Die frische Pulveraktivkohle wird direkt in den Kontaktreaktor zugegeben. Um eine verbesserte Abtrennung des feinen Kohlestaubs zu

erzielen, wird dem „Kohle-Schlamm-Gemisch“ nach dem Kontaktreaktor Flockungshilfsmittel zudosiert. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte „Kohle-Schlamm“ wird zur Mehrfachbeladung als „Rücklaufkohle“ wieder in das erste Becken des Kontaktreaktors zurückgeführt. Die Entnahme des „Kohle-Schlamm-Gemischs“ aus der Adsorptionsstufe erfolgt als „Überschusskohle“.

Um die aus dem Sedimentationsbecken abtreibenden Feinstpartikel besser im nachgeschalteten Sandfilter zurückhalten zu können, muss vor dem Filter nochmals Fällmittel zugegeben werden (Prinzip der Flockungsfiltration). Das anfallende Spülabwasser, und damit die zurückgehaltene Pulveraktivkohle mitsamt den entstandenen Fällmittelflocken, wird zur weiteren Ausnutzung der restlichen Adsorptionskapazität ebenso wie die „Überschusskohle“ in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Letztendlich wird die Pulveraktivkohle mit Abzug des biologischen Überschussschlamms aus dem Reinigungssystem entnommen.

3 Reinigungsleistung

3.1 Dosierstoffe und -mengen im Versuchsbetrieb

In allen Untersuchungen wurde Pulveraktivkohle der Firma Norit mit der Handelsbezeichnung SAE Super eingesetzt. Als Fällmittel wurde Aluminiumsulfat verwendet. Die Dosierung vor dem Kontaktreaktor beträgt 0,2 mg Al/mg Pulveraktivkohle. Vor dem Sandfilter werden dem adsorptiv behandelten Abwasser nochmals 0,5 mg/L Aluminium zugegeben. Auswertungen von mehreren Klärwerken der Größenklasse 5 zeigen, dass derzeit in etwa die gleiche Menge Fällmittel simultan dosiert wird. Das heißt wiederum, dass es zur Sicherstellung der heutigen Phosphorablaufqualität unbedeutend sein dürfte, ob die chemische Phosphorelimination als Simultan- oder Nachfällung betrieben wird und demnach gegenüber dem derzeitigen Zustand kein erhöhter Fällmittelbedarf zu erwarten ist. Lediglich die Dosierstelle würde sich ändern [5].

	Kläranlage A	Kläranlage B
Verfahrenstechnik	einstufiges Belebungsverfahren	zweistufige Anlage ohne Vorklärung Kombination Belebung und Tropfkörper
Q_{max} [L/s]	2600	4000
Q_{TW} [m³/d]	90 000	66 000
CSB_{zu} *) [mg/L]	450	530
CSB_{ab} *) [mg/L]	24	52
$CSB_{gelöst}$ [mg/L]	21	40
AFS [mg/L]	4	12
Ausbaugröße [EW]	445 000	700 000

*) homogenisierte Proben

Tabelle 1: Verfahrenstechnik und Kennzahlen der untersuchten Kläranlagen

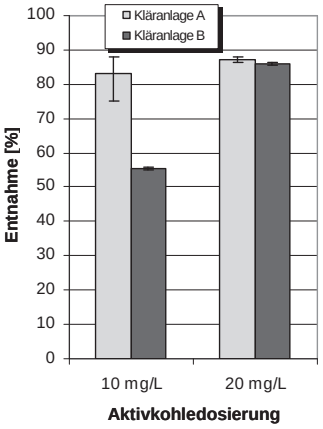


Abb. 3: Mittlere prozentuale Entnahme der „Summenkonzentration“ der Arzneimittelwirkstoffe

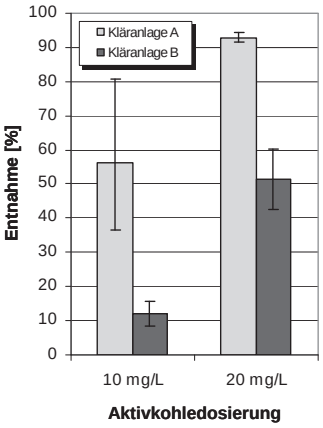


Abb. 4: Mittlere prozentuale Entnahme der „Summenkonzentration“ nicht-ionischer Röntgenkontrastmittel

Zur besseren Abtrennung der Pulveraktivkohle wurde das anionische Flockungshilfsmittel „Praestol 2440“ der Firma Ashland in einer Menge von 0,25 mg/L, bezogen auf den Zufluss, zudosiert.

3.2 Bewertungsmaßstab

Die Bilanzierung der Pulveraktivkohle-Anwendung wird anhand von mengenproportionalen 24-h-Mischproben, die im Ablauf der jeweiligen Reinigungsstufe gezogen werden, vorgenommen. Zur Beurteilung der Verringerung der gelösten Restverschmutzung werden alle Proben vor den Untersuchungen membranfiltriert (Porengröße 0,45 μm). Die Analytik erfolgt jeweils nur vom Filtrat.

Der Bezugspunkt für die Reinigungsleistung der angewandten adsorptiven Verfahrenstechnik ist die gelöste Phase des biologisch gereinigten Abwassers. Die Gesamtentnahme des Reinigungskonzepts setzt sich aus der zusätzlichen Entnahme in der Biologie aufgrund der Rückführung von Überschusskohle und mit Pulveraktivkohle angereichertem Spülabwasser in das Belebungsbecken, der Entnahme in der Adsorptionsstufe sowie der im Bedarfsfall möglichen Entnahme durch Pulveraktivkohle-Zugabe vor der Filtration zusammen.

3.3 Spurenstoffentfernung unter Berücksichtigung der organischen Restverschmutzung

3.3.1 Versuchsdurchführung und Eingangswerte

Der Einfluss der organischen Restverschmutzung auf die Entfernung von Spurenstoffen mittels Pulveraktivkohle wird im Folgenden an der Reinigungsleistung der Adsorptionsstufe gezeigt.

Für die Untersuchungen wird biologisch gereinigtes Abwasser aus zwei verschiedenen Kläranlagen der Größenklasse 5 im süddeutschen Raum verwendet. Die wesentlichen Merkmale der Kläranlagen sind in Tabelle 1 aufgelistet. Hervorzuheben ist, dass die gelöste organische Restverschmutzung der Kläranlage B in etwa doppelt so groß ist wie die der in Kläranlage A. Die mittlere Summe der in den beiden biologisch gereinigten Abwässern nachgewiesenen Arzneimittelwirkstoffkonzentrationen (zum Beispiel Diclofenac, Carbamazepin sowie verschie-

dene Lipidsenker, Betablocker und Antibiotika) beträgt jeweils etwa 5500 ng/L. Die Bestimmungen der nicht-ionischen Röntgenkontrastmittel (RKM) Iopromid, Iopamidol, Iomeprol und Iohexol ergeben für den jeweiligen Kläranlagenablauf eine mittlere Summenkonzentration der RKM von 40 bis 50 μg/L. Auffällig ist, dass in Kläranlage B der Wirkstoff Iomeprol rund 80 Prozent der Summenkonzentration „nicht-ionische RKM" darstellt. In Kläranlage A hingegen setzt sich die Summenkonzentration zu jeweils 35 Prozent aus den Wirkstoffen Iopamidol und Iomeprol zusammen, der restliche Anteil stammt von den anderen beiden Wirkstoffen.

3.3.2 Ergebnisse

Die Untersuchungen zeigen, dass bei gleicher Aktivkohledosierung mit zunehmendem DOC zum Kontaktreaktor absolut mehr DOC entnommen wird und dass die Entnahme praktisch unabhängig vom DOC bei beiden Kläranlagen prozentual in etwa gleich ist [6]: Mit einem mittleren Einsatz von 10 mg/L Aktivkohle kann allein in der Adsorptionsstufe der DOC um etwa 40 Prozent verringert werden. Die doppelte Aktivkohledosierung hat zur Folge, dass der zufließende DOC im Mittel bereits um ca. 55 Prozent entfernt werden kann. Daraus folgt, dass bei gleichem Aktivkohleeinsatz in den beiden Kläranlagen aufgrund des höheren DOC im Ablauf nach biologischer Behandlung die Beladung der Aktivkohle in der Adsorptionsstufe in Kläranlage B größer ist als im Fall der Kläranlage A. Beispielsweise kann mit einer Dosierung von 10 mg/L Pulveraktivkohle in Kläranlage A ein nach biologischer Behandlung vorliegender DOC von 8 mg/L durch die Adsorptionsstufe auf 4,8 mg/L absenkt werden. Unter Berücksichtigung der DOC-Entnahme mittels Fällmittelzugabe von rund 1,2 mg/L ergibt sich demnach eine Beladung von 200 mg/g. Die gleiche Pulveraktivkohle-Dosiermenge führt im Fall der Kläranlage B bei einer heute vorliegenden Verschmutzung von 12,5 mg/L DOC dazu, dass die gelöste organische Restverschmutzung um 5 mg/L verringert werden kann und somit eine rechnerische Beladung der Pulveraktivkohle von 380 mg/g gegeben ist (Abbildung 2). Um in Kläranlage B ähnliche DOC-Konzentrationen nach adsorptiver Behandlung wie in Kläranlage A zu erhalten, muss demnach mehr Pulveraktivkohle dosiert werden als in Kläranlage A. Dies hat dann wiederum zur Folge, dass auch in Kläranlage B die DOC-Beladung der Kohle absinkt.

Die Reinigungsleistung hinsichtlich der Entfernung von Arzneimittelwirkstoffen wird am Vergleich der Summe der gemessenen Einzelkonzentrationen festgemacht. Die Untersuchungen zeigen, dass in der Kläranlage A mit einem Einsatz von 10 mg/L Aktivkohle rund 80 Prozent der im Zufluss vorhandenen „Arzneimittelsummenkonzentration" aus dem biologisch gereinigten Abwasser entfernt werden kann. Der gleiche Aktivkohleeinsatz führt bei Kläranlage B zu einer mittleren Entfernung der Arzneimittelkonzentrationen von rund 50 Prozent. Erst bei einer Dosierung von 20 mg/L Aktivkohle können in etwa vergleichbare Entnahmeraten festgestellt werden (Abbildung 3).

Ein ähnliches Ergebnis zeigt die Entfernung von nicht-ionischen Röntgenkontrastmitteln: Während in Kläranlage A bereits mit einer Dosierung von 10 mg/L Aktivkohle eine mittlere Entnahme von 55 Prozent gegeben ist, wird diese Entfernungsrate erst mit einer Aktivkohledosierung von 20 mg/L in der Kläranlage B erzielt (Abbildung 4).

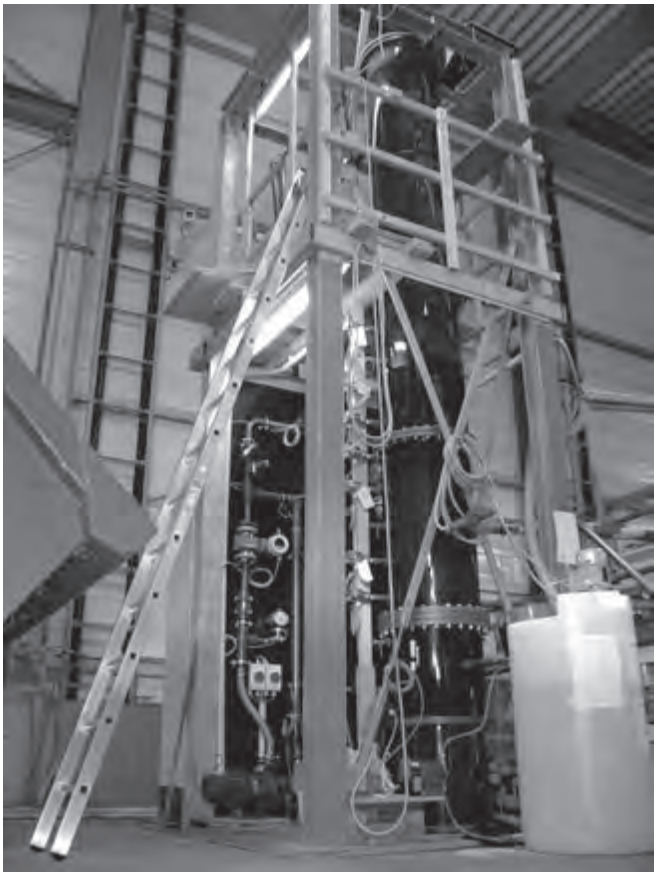


Abb. 5: Versuchssandfilter

3.3.3 Diskussion

Die Untersuchungen auf den beiden Kläranlagen zeigen, dass mit gleicher Aktivkohledosierung dieselben prozentualen DOC-Entnahmen hinsichtlich der gelösten organischen Restverschmutzung zu erzielen sind. Bei der Entfernung von Arzneimittelwirkstoffen ergibt sich, dass in der Kläranlage B bei einer Dosierung von 10 mg/L Aktivkohle geringere Entnahmeraten erreicht werden als in der Kläranlage A. Dies gilt in vergleichbarer Weise auch für die Entnahme von nicht-ionischen RKM.

Als Ursache für die geringere Entfernung von Mikroschadstoffen kann die DOC-Beladung der Aktivkohle angesehen werden: Da im Ablauf der biologischen Reinigungsstufe der Kläranlage B höhere DOC-Konzentrationen gegeben sind als im Ablauf der Kläranlage A, führt dies, bei gleicher Aktivkohledosierung und prozentual gleicher Entnahmerate, zu einer höheren DOC-Beladung der Aktivkohle in der Kläranlage B. Die Auswertung der Untersuchungen zeigt, dass bei einem Aktivkohleeinsatz von 20 mg/L in der Kläranlage B in etwa die selben DOC-Beladungen vorliegen wie bei einer Dosierung von 10 mg/L Aktivkohle in der Kläranlage A. Darüber hinaus zeigen die Untersuchungen zur Entnahme von Arzneimittelwirkstoffen und nicht-ionischen RKM, dass in der Kläranlage B mit einer Dosierung von 20 mg/L in etwa die gleichen Entnahmeraten gegeben sind wie mit einer Dosierung von 10 mg/L Aktivkohle in der Kläranlage A.

3.4 Weitere Untersuchungsergebnisse

Des Weiteren haben die Untersuchungen auf der Kläranlage A ergeben, dass mit dem Einsatz von 10 bis 20 mg/L Aktivkohle

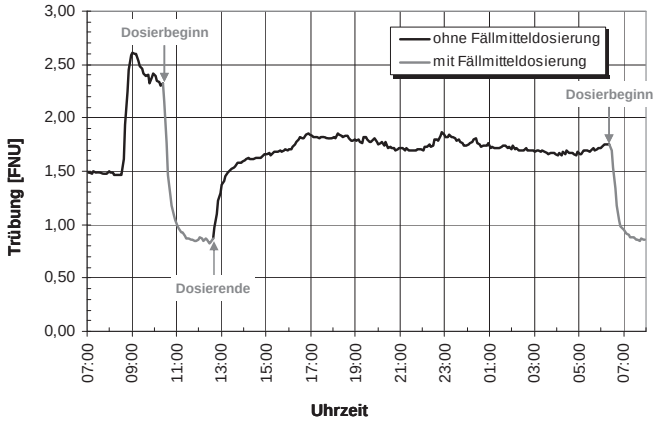


Abb. 6: Einfluss der Fällmitteldosierung vor dem Sandfilter auf die Ablaufqualität

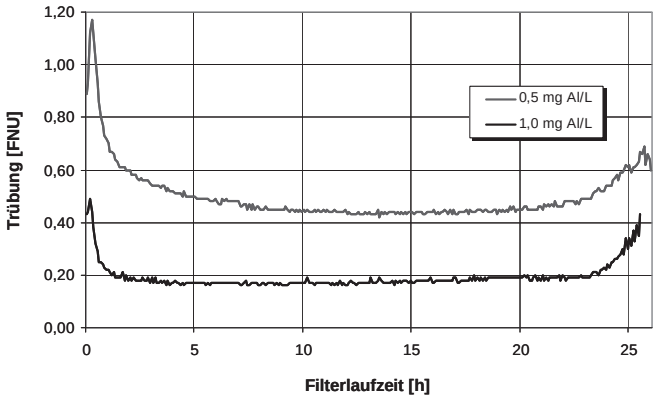


Abb. 7: Einfluss der Fällmitteldosiermenge auf die Trübung im Ablauf des Sandfilters

eine zusätzliche „Gesamtentnahme" des nach biologischer Behandlung verbleibenden CSB bzw. DOC von ca. 45 bis 65 Prozent gegeben ist [7]. Die Entnahme von RKM hat zur Folge, dass der im gereinigten kommunalen Abwasser heute noch vorhandene AOX weiter verringert werden kann. In Zusammenarbeit mit der pharmazeutischen Industrie ist es gelungen, den Nachweis zu führen, dass auch neue, zum Teil noch nicht auf dem Markt befindliche Produkte mit ähnlich hohem Wirkungsgrad entfernt werden können.

Darüber hinaus konnte eine Verringerung der hormonartigen Wirkung des kommunalen Abwassers, gemessen als EEQ-Wert (Estradiol Equivalence Concentration), von ca. 80 Prozent festgestellt werden [8]. Des Weiteren konnte der Rückgang der endokrinen Wirkung mit einem Fischtest gezeigt werden: Bei Fischen, die über die Versuchsdauer von vier Wochen im Ablauf der adsorptiven Abwasserbehandlungsanlage eingesetzt wurden, konnte kein signifikanter Anstieg der Vitellogeninkonzentration im Blut nachgewiesen werden [9].

Ferner darf erwartet werden, dass weitere „Umweltchemikalien" durch die Adsorptionsstufe entnommen werden: So zeigen einzelne Messungen, dass Organophosphor-Verbindungen, die als Flammschutzmittel zum Einsatz kommen, durch die Adsorptionsstufe deutlich reduziert werden [6]. Andere Problemstoffe wie Komplexbildner (EDTA) wurden dagegen nicht entnommen.

Das Verfahren lässt erwarten, dass die Werte für P_{ges} im Ablauf in und unter den Bereich des Schwellenwerts der Abwasserabgabe von 0,1 mg/l absinken.

Der Ausbau der Kläranlage A um eine Adsorptionsstufe mit anschließender Filteranlage lässt erwarten, dass die hygienische Beschaffenheit des Kläranlagenablaufs (coliforme Keime, *E. Coli* und andere) nicht wesentlich verschieden von derjenigen des Vorfluters ist [10].

4 Weitestgehende Feststoffabtrennung

4.1 Versuchsfilter

Die Untersuchungen zur weitestgehenden Feststoffabtrennung mittels Zweischichtfiltration wurden an dem in Abbildung 5 gezeigten Versuchsfilter vorgenommen.

Der Durchmesser der Filtersäule beträgt 50 cm, der Filterbettaufbau setzt sich aus einer Quarzsandschicht der Körnung 0,71 bis 1,25 mm und einer darüberliegenden Hydroanthrazitschicht der Körnung 1,4 bis 2,5 mm zusammen. Die Schichthöhe der beiden Materialen beträgt jeweils 75 cm, der Überstau des Filters misst 200 cm. Zur Ermittlung des Filterwiderstandes mit zunehmender Filterlaufzeit sind über die Höhe des gesamten Filterbetts sechs Druckmessdosen angebracht. Die Filtersäule wird mit einer Kreiselpumpe beschickt, das Fällmittel wird unmittelbar vor der Pumpe dosiert, um eine möglichst turbulente Einmischung zu gewährleisten. Im Ablauf des Filters sind neben einem Probenehmer ein P_{ges}- und TOC-Messgerät, eine SAK-Sonde sowie eine Trübungssonde installiert.

4.2 Überwachung des Feststoffrückhalts

Die Trübungsmessung hat sich als Instrument zur Überwachung des Pulveraktivkohle-Rückhalts bewährt. Mit dem Parameter Trübung lässt sich das Ende der Arbeitsphase des Filtrierzyklus ausreichend genau definieren: Eigenen Messungen zufolge entspricht eine Differenz von 0,4 FNU bei der verwendeten Pulveraktivkohle einer Feststoffkonzentration von ca. 1,0 mg/L Pulveraktivkohle [11]. Das Kriterium zum Abbruch der Arbeitsphase wurde bei den Untersuchungen mit einer Trü-

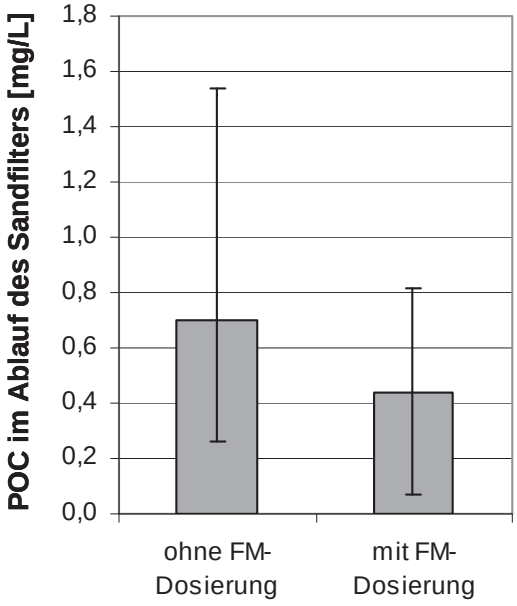


Abb. 8: Einfluss der Fällmitteldosierung auf die partikuläre organische Restverschmutzung (POC) im Ablauf des Sandfilters

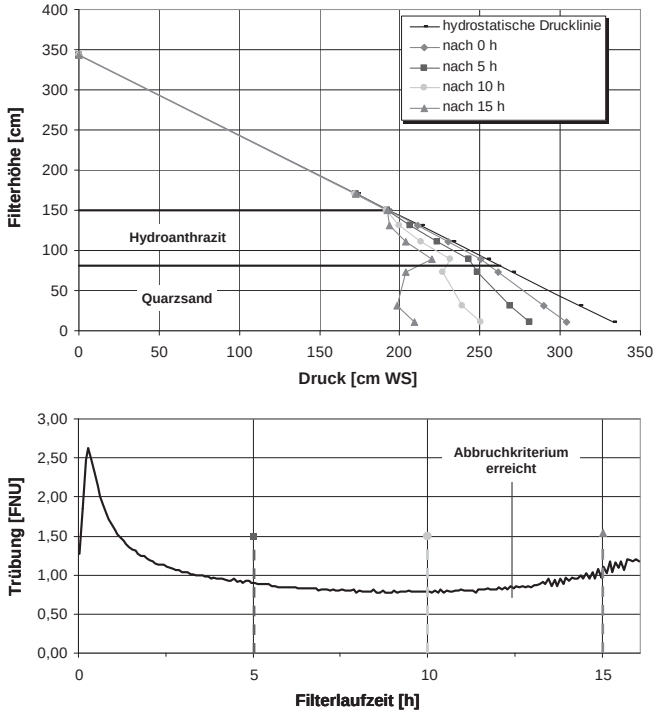


Abb. 9: Micheau-Diagramm des Versuchsfilters sowie zugehöriger Trübungsverlauf (Filtergeschwindigkeit v_f = 10 m/h)

bungszunahme von 0,04 FNU innerhalb einer Stunde festgelegt [12].

4.3 Einfluss der Fällmitteldosierung auf den Feststoffrückhalt

In Abbildung 6 ist der Einfluss der Zugabe von Fällmittel auf die Ablaufqualität des Sandfilters gezeigt: Durch die Dosierung von Aluminium vor dem Filter können niedrigere Trübungswerte erzielt werden als ohne Zugabe. Allerdings muss zur Sicherstellung eines weitestgehenden Feststoffrückhalts kontinuierlich dosiert werden, da unmittelbar nach Beendigung der Fällmitteldosierung die Trübung sofort ansteigt. Darüber hinaus kann anhand der in Abbildung 7 dargestellten Trübungsverläufe gezeigt werden, dass eine Erhöhung der Fällmitteldosiermenge von 0,5 mg/L auf 1,0 mg/L einen verbesserten Partikelrückhalt im Filterbett bewirkt und damit zu einer besseren Ablaufqualität hinsichtlich der Trübung führt. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Filterlaufzeit bei Verdopplung der Dosiermenge und damit auch bei erhöhter Feststoffeinlagerung nicht signifikant verkürzt wird.

Der verbesserte Feststoffrückhalt durch einen optimierten Filterbetrieb lässt sich zugleich an der im Ablauf verbleibenden partikulären organischen Verschmutzung festmachen (Abbildung 8): Während bei den Versuchen ohne Fällmitteldosierung ein partikulärer TOC im Ablauf des Filters bis zu 1,5 mg/L vorliegt, kann mit optimierter Filterbetriebsweise der POC um etwa die Hälfte reduziert werden.

4.4 Einlagerungsverhalten im Sandfilter

Das typische Einlagerungsverhalten der Verschmutzung ist im Micheau-Diagramm (Abbildung 9) dargestellt: Jeweils in den obersten Schichten der beiden unterschiedlichen Filtermaterialen (ca. 20 cm Schichtdicke) ist ein erhöhter Filterwiderstand

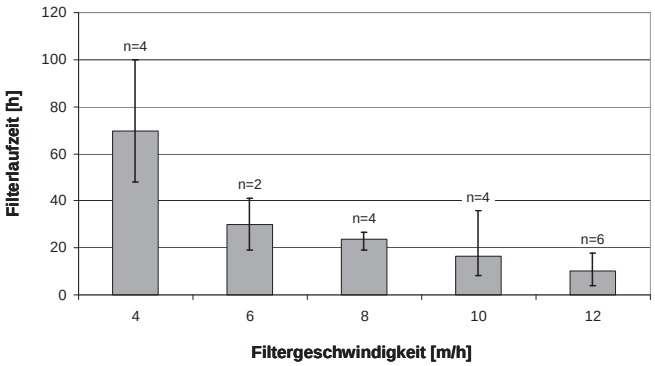


Abb. 10: Mittlere Filterlaufzeit bis zum Erreichen des Trübungsanstiegs in Abhängigkeit von der Filtergeschwindigkeit

zu beobachten. Gleichzeitig ist erkennbar, dass nach längerer Filterlaufzeit (nach ca. zehn Stunden) ebenso eine Einlagerung in der mittleren Schicht des Quarzsandes stattfindet.

Das Erreichen des selbstdefinierten Abbruchkriteriums der Arbeitsphase bzw. der signifikante Trübungsanstieg des abgebildeten Versuchs kann in Anbetracht des hydrostatischen Drucklinienverlaufs nach 15 Stunden Filterlaufzeit nicht auf eine unzureichende Druckreserve zurückgeführt werden.

4.5 Filterlaufzeit

Die Versuche zeigen, dass sich bei höheren Filtergeschwindigkeiten nach dem Kriterium des Trübungsanstiegs kürzere Standzeiten ergeben als bei geringeren Filtergeschwindigkeiten (Abbildung 10). Begrenzender Faktor für das Ende der Filterlaufzeit war in allen Versuchen die Zunahme des Trübungsanstiegs. Bei einer Filtergeschwindigkeit von 8 m/h beträgt die mittlere Filterlaufzeit ca. 24 Stunden, bei einem Filterbetrieb mit 12 m/h ergibt sich eine mittlere Standzeit von 10 Stunden.

5 Fazit

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde geprüft, ob biologisch gereinigtes Abwasser durch den Einsatz von Pulveraktivkohle weitergehend gereinigt werden kann. Die Untersuchungen an einer halbtechnischen Versuchsanlage haben gezeigt, dass mit einer Pulveraktivkohle-Dosierung von 10 mg/L zwischen 40 und 50 Prozent der gelösten organischen Restverschmutzung entfernt werden können. Des Weiteren konnte die hormonartige Wirkung des kommunalen Abwassers durch den Einsatz von Pulveraktivkohle, gemessen als EEQ-Wert, um ca. 90 Prozent reduziert werden. Stoffe, die bei Fischen eine endokrine Wirkung hervorrufen, konnten ebenfalls in erheblichem Umfang aus dem Abwasser entfernt werden. Darüber hinaus konnte anhand der Versuchsergebnisse festgestellt werden, dass die Entfernung von Spurenstoffen mit Pulveraktivkohle entscheidend durch die vorhandene adsorptiv entfernbare organische Restverschmutzung beeinflusst wird: Demnach muss bei einer höheren organischen Hintergrundbelastung des Abwassers nach biologischer Behandlung eine höhere Aktivkohledosierung erfolgen, um vergleichbare Entnahmeraten bei den Mikroschadstoffen wie bei geringer belastetem Abwasser zu erzielen. Gleichzeitig deuten die Ergebnisse darauf hin, dass bei mittleren Bedingungen in Kläranlagenabläufen (ca. 8,5 bis 12 mg/L DOC bzw. 25 bis 35 mg/L gelöstem CSB) häufig 10 bis 15 mg/L Aktivkohle

ausreichen werden, um etwa 80 bis 90 Prozent der Arzneimittelrückstände und 50 bis 80 Prozent der nicht-ionischen RKM zu entfernen.

Voraussetzung für eine Umsetzung der Pulveraktivkohle-Anwendung in den technischen Maßstab ist eine weitestgehende Feststoffabtrennung. Die Versuche haben gezeigt, dass mit einer Zweischichtfiltration, wie sie heute schon auf einigen Kläranlagen vorhanden ist, der Pulveraktivkohle-Rückhalt ausreichend sichergestellt werden kann. Die Trübungsmessung im Ablauf des Filters hat sich dabei als Messinstrument für die Überwachung des Feststoffrückhalts bewährt. Anhand der Untersuchungen kann nachgewiesen werden, dass nur mit der Zugabe von Fällmittel vor dem Sandfilter hinreichende Reinigungsergebnisse erzielt werden. Gleichzeitig kann der Feststoffrückhalt und damit auch die Trübung durch die Fällmitteldosiermenge signifikant beeinflusst werden. Auswertungen bezüglich des hydrostatischen Druckverlaufs haben ergeben, dass die Verschlechterung der Feststoffabtrennung nicht erkennbar auf unzureichende Druckreserven zurückzuführen ist. Die Einlagerung der Verschmutzung findet vor allem in den obersten Schichten der zwei eingesetzten Materialien des Zweischichtfilters statt. Bei der Auslegung von Filtrationsanlagen zum Rückhalt von Pulveraktivkohle sollte für einen sicheren Betrieb darauf geachtet werden, dass bei Vorhandensein des Bemessungszuflusses eine Filtergeschwindigkeit von 12 m/h nicht überschritten wird.

Letztlich haben die Untersuchungen gezeigt, dass mit der Erweiterung von Abwasserbehandlungsanlagen um eine Adsorptionsstufe bei gleichzeitig wirtschaftlichem Pulveraktivkohle-Einsatz eine verbesserte Reinigungsleistung zu erzielen ist. Darüber hinaus steht mit dem angewandten adsorptiven Verfahrenskonzept eine Technik bereit, die die Möglichkeit bietet, das Reinigungsergebnis durch die Zugabe von Hilfsstoffen gezielt beeinflussen zu können.

Dank

Die Autoren danken dem Umweltministerium Baden-Württemberg für die Förderung der FuE-Vorhaben 179/03, 216/2005 und 256/2007. Darüber hinaus gilt der Dank Dipl.-Ing. *Mircea Farcasanu* und Dipl.-Ing. (FH) *Muammer Tasli* vom Zweckverband Klärwerk Steinhäule (Ulm), Dipl.-Ing. *Gottfried Lempe*, Dr. *Ralf Schneider*, *Roland Milz* und *Ulrich Kohnle* vom Städtischen Klärwerk Karlsruhe sowie Dr. *Wolfram Seitz* und Dr. *Walter Weber* vom Zweckverband Landeswasserversorgung für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

[1] B. Haist-Gulde, G. Baldauf: Entfernung von Arzneimittelwirkstoffen und iodierten Röntgenkontrastmitteln in Aktivkohlefiltern, Vortrag beim 11. TZW-Kolloquium am 12. Dezember 2006, in: *Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Band 30: Organische Spurenstoffe in der Wasserversorgung*

[2] V. Schlitt: Möglichkeiten und Grenzen der Pulverkohleanwendung zur Entfernung von organischen Spurenstoffen, Vortrag beim 11. TZW-Kolloquium am 12. Dezember 2006, in: *Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Band 30: Organische Spurenstoffe in der Wasserversorgung*

[3] U. Menzel: *Optimierter Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination organischer Reststoffe aus Kläranlagenabläufen*, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 143, 1997

[4] L. Nicolet-Mißlbeck: *Untersuchungen zur Mehrfachbeladung von Pulveraktivkohle in der Abwasserreinigung*, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 159, 2000

[5] S. Metzger: Verfahrenstechnik, Dimensionierung und Leistung einer Adsorptionsstufe, Vortrag bei der Tagung „Aktivkohle zur besseren Abwasserreinigung", veranstaltet vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg am 26. Juni 2007 in Ulm, veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

[6] S. Metzger, H. Kapp: Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen, Vortrag bei der VSA-Fachtagung „Technische Verfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser" am 28. Oktober 2008 in Zürich-Regensdorf, veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

[7] S. Metzger, H. Kapp: Aktivkohlebehandlung von biologisch gereinigtem Abwasser im Klärwerk Steinhäule, Vortrag bei der DWA-Landesverbandstagung Baden-Württemberg am 6./7. Oktober 2005 in Friedrichshafen, veröffentlicht im Tagungsband

[8] S. Metzger: Aktivkohlebehandlung von biologisch gereinigtem Abwasser – Erste Ergebnisse eines FuE-Vorhabens im Klärwerk Steinhäule, Ulm/Neu-Ulm, Vortrag beim 10. Abwasserseminar der Bauakademie Biberach am 21. Oktober 2004, veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

[9] J. Schwaiger, M. Gerst, H. Ferling: Östrogen wirksame Substanzen im Abwasser: Untersuchungsergebnisse eines bayernweiten Wirkungsmonitorings, Vortrag bei der Tagung „Aktivkohle zur besseren Abwasserreinigung", veranstaltet vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg am 26. Juni 2007 in Ulm, veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

[10] H. Kapp: Erweiterung von Abwasserbehandlungsanlagen um eine Adsorptionsstufe, Vortrag bei der Tagung „Aktivkohle zur besseren Abwasserreinigung", veranstaltet vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg am 26. Juni 2007 in Ulm, veröffentlicht in den Tagungsunterlagen

[11] E. Dammann: *Dosierung von Pulveraktivkohle vor einem Abwasserfilter*, Diplomarbeit am Institut für GEO und UMWELT der Hochschule Biberach, 2007

[12] A. Rößler: *Betriebsbedingungen und Leistung einer Sandfilteranlage nach Aktivkohlebehandlung von Abwasser*, Diplomarbeit am Institut für GEO und UMWELT der Hochschule Biberach, 2007

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Metzger
Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
Prof. Dr.-Ing. Helmut Kapp
Hochschule Biberach
Karlstraße 11, 88400 Biberach

Dipl.-Ing. (FH) Georg Hiller
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Süßmuth
Zweckverband Klärwerk Steinhäule
Wichernstraße 10, 89073 Ulm

Dipl.-Ing. Martin Maurer
Städtisches Klärwerk
An der Wässerung 2,
76187 Karlsruhe

E-Mail: metzger@hochschule-bc.de

Beiträge in *GWF-Wasser/Abwasser* 6/2009

Sten Meusel, Jörg Londong	Unsicherheiten der stoffbezogenen Maßnahmenplanung zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie
Udo Rathsack, Kristina Rathsack	Besiedlung von Wasserversorgungssystemen durch Asseln und andere Invertebraten – neues Mess- und Indikatorsystem zur Beobachtung und Bewertung biologischer Prozesse
Till Rubbert, Christoph Treskatis, Jürgen Wagner, Burkhardt Schulz	Wassergewinnung in Festgesteinsgebieten durch abgelenkte Brunnenbohrungen, Teil 2: Minimierung der Eingriffsintensität in ökologisch sensiblen Gebieten
Andrzej Kotowski und Henryk Szewczyk	Verfahren und Beispiel der Dimensionierung von Leichtflüssigkeitsabscheidern mit innerem Umlaufkanal
Andreas Grohmann, Katharina Teschner	Messenachbericht zur Wasser Berlin

KOMPETENZZENTRUM
SPURENSTOFFE-BW

Den Stoffen auf der Spur

Veranstaltungen
Baden-Württemberg

www.koms-bw.de

KomS - Kompetenzzentrum Spurenstoffe

© *DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.*

Kommende Termine

10. KomS- und VSA-Technologieforum Spurenstoffe am 08.-09.10.2020 in Friedrichshafen

Melden Sie sich jetzt für die Präsenz- oder Online-Veranstaltung an!

Das 10. KomS- und VSA-Technologieforum Spurenstoffe in Kooperation mit der VSA-Plattform von Micropoll findet **im Graf-Zeppelin-Haus in Friedrichshafen** statt. Am 08.10.2020 ist eine Tagestour zur Besichtigung der ARA Altenrhein (Schweiz) sowie der Ozonanlagen in Eriskirch und Friedrichshafen geplant. Ein Abendtreff lädt zum Austausch auf die Sonnenterrasse des Restaurants im Graf-Zeppelin-Museum mit Blick auf den See ein. Am zweiten Tag, 09.10.2020 findet in bester Lage am Bodensee das Technologieforum mit Fachvorträgen statt. Das Forum wird durch eine Fachausstellung begleitet. Melden Sie sich dafür bereits jetzt an! Das Formular finden Sie hier.

Für die Durchführung der Veranstaltung gilt unser KomS-Hygienekonzept. Aufgrund von Abstandsregelungen müssen wir die Teilnehmerzahl vor Ort und bei der Fachexkursion begrenzen! Deshalb bieten wir zusätzlich einen Livestream zur Verfolgung der Veranstaltung an.

Programmflyer

Zur Anmeldung

KomS-WebSeminarreihe - Weitere Veranstaltungen in Planung

Nach dem erfolgreichen 3. WebSeminar der KomS-Reihe sind weitere online-Veranstaltungen in Planung für September und November. Weitere detaillierte Informationen dazu folgen im August.

Terminverschiebung: KomS- und VSA-Technologieforum Spurenstoffe im Herbst 2020 in Friedrichshafen

In Anbetracht der Corona-Epidemie und der damit verbundenen Weisungen und Empfehlungen wird zum Schutz aller das Technologieforum am 13./14.05.2020 verschoben. Der **neue Termin** der Veranstaltung ist am **8. und 9. Oktober 2020**.

Das 10. KomS- und VSA-Technologieforum Spurenstoffe in Kooperation mit der VSA-Plattform von Micropoll findet **im Graf-Zeppelin-Haus in Friedrichshafen** statt. Am 08.10.2020 ist eine Tagestour zur Besichtigung der ARA Altenrhein (Schweiz) sowie der Ozonanlagen in Eriskirch und Friedrichshafen geplant. Ein Abendtreff lädt zum Austausch auf die Sonnenterrasse des Restaurants im Graf-Zeppelin-Museum mit Blick auf den See ein. Am zweiten Tag, 09.10.2020 findet in bester Lage am Bodensee das Technologieforum mit Fachvorträgen statt. Das Forum wird durch eine Fachausstellung begleitet. Melden Sie sich dafür bereits jetzt an! Das Formular finden Sie hier.

Wir werden alle betroffenen Teilnehmer/innen zeitnah informieren und weitere Informationen übermitteln, da es uns ein Anliegen ist, Sie weiterhin professionell zu bedienen.

Wir danken für Ihr Verständnis und wünschen, dass Sie, Ihre Angehörigen und Kolleg-/innen unbeschadet durch diese kritischen Zeiten kommen.

Ihr KomS-Team Baden-Württemberg

Zum Programm!

Bisherige Termine

25.05.2020

1. KomS-Webinar zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen am 19.05.2020 - Video-Aufzeichnung

Sie haben das 1. Webinar zum Thema **"Einsatz von GAK auf kommunalen**

Kläranlagen zur gezielten Spurenstoffelimination" verpasst?
Kein Problem! Sie können sich die Video-Aufzeichnung hier bestellen. Den Link zum Video erhalten Sie direkt im Anschluss Ihrer Bestellung.

Behandelte Themen:

GAK Verfahren zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen - Aktueller Stand in Europa
Dr. Marie Launay, Leiterin KomS Baden-Württemberg

Untersuchungen zum Einsatz von GAK im halb- und großtechnischen Maßstab auf der KA Mannheim - Was kann man daraus lernen?
Johanna Neef, KomS Baden-Württemberg

Dimensionierung großtechnischer GAK-Filter durch Ermittlung der erzielbaren Feststoffbeladung und Spülintervalle
Swetlana Schölzel, RWTH Aachen

Kosten: €95 für DWA-Mitglieder/€115 für Nichtmitglieder

31.05.2019

KomS-Technologieforum Spurenstoffe am 16.05.2019 in Wernau

Wie sich Spurenstoffe aus dem Abwasser eliminieren lassen

Dass man keine ausgedienten Arzneimittel in der Toilette entsorgen soll, dürfte mittlerweile in weiten Teilen der Öffentlichkeit angekommen sein. Damit rückt aber auch zunehmend die Problematik über den Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Gewässer und deren Folgen in das Bewusstsein der Menschen. Und das Bemühen, sie durch entsprechende Reinigungsprozesse so gut wie möglich aus dem Abwasser zu entfernen und damit erst gar nicht in die Gewässer gelangen zu lassen. „Baden-Württemberg hat bei der Eliminierung von Spurenstoffen bundesweit eine führende Rolle“, konstatiert André Hildebrand, der Geschäftsführer des baden-württembergischen DWA-Landesverbandes. Der Verband betreibt zusammen mit der Universität Stuttgart und der Hochschule seit 2012 das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS BW). Nun haben Experten auf dem „KomS-Technologieforum Spurenstoffe“ Mitte Mai über die neuesten technischen Fortschritte auf diesem Gebiet und ihre Erfahrungen mit den bereits installierten Anlagen zur Entfernung von Mikroverunreinigungen berichtet. Bei der mit über 140 Teilnehmern ausgebuchten Tagung und ihrer angeschlossenen Fachausstellung wurde dabei über die derzeit wichtigsten Verfahren berichtet und diskutiert: die Reinigung zum einen mit Hilfe von Aktivkohle, wobei sowohl Pulveraktivkohle (PAK) als auch granulierte Aktivkohle (GAK) eingesetzt wird, und zum anderen durch den Einsatz von Ozon.

20./21.11.2018

3. KONGRESS SPURENSTOFFE IN DER AQUATISCHEN UMWELT

Am 20. und 21. November 2018 fand im Kongresshaus Stadthalle Heidelberg der 3. Kongress „Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt“ statt. Dieser wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gemeinsam mit dem Landesverband Baden-Württemberg der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) und der

Landesgruppe Baden-Württemberg des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) gemeinsam veranstaltet.

Über 190 Vertreter/-innen von Behörden, Fachverbänden, Kommunen, Abwasserverbänden und Industrie folgten der Einladung und stellten sich der Diskussion und Aufforderung eines vorsorgenden Gewässer- und Gesundheitsschutzes, um eine Sensibilisierung und Bewusstseinsbildung zu diesem Thema zu erreichen. Staatssekretär Andre Baumann unterstrich in seinem Grußwort die Wichtigkeit des bewussten Umgangs mit dem Thema Spurenstoffe.

Auch mit dieser Veranstaltung wurden der Dialog über den Umgang mit Spurenstoffen sowie die technischen Entwicklungen in der Abwasserreinigung zur Elimination von Spurenstoffen mit allen Betroffenen weitergeführt. Welche Belastung und Folgen die Spurenstoffe in den Gewässern mit sich bringen, stand neben den Maßnahmen und Perspektiven in der Wasserwirtschaft im Mittelpunkt.

In der Verfolgung des vorsorgeorientierten Ansatzes zur Reduktion von umweltrelevanten Spurenstoffen stellte der Kongress strategische Ansätze vor und gab Anstöße zum Machbaren beizutragen:

- bei der Entwicklung und Herstellung umweltfreundlicher Produkte und Pharmaka,
- bei der Bewusstseinsbildung der Verbraucher und Akteure im Gesundheitswesen zum richtigen Gebrauch und der Entsorgung sowie
- bei der Abwasserbehandlung und dem Einsatz technischer Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen.

Alle gesellschaftlichen Akteure, Bürgerschaft und Kommunen, Hochschulen, Umwelt- und Pharmaverbände, Industrie, Ärzte und Apotheker sowie die Wasserwirtschaft wurden aufgerufen, ihre Verantwortung für eine intakte Umwelt wahrzunehmen und sich aktiv in den Diskussions- und Veränderungsprozess einzubringen. Auch der Blick über den Tellerrand kam nicht zu kurz. Der Key Note Speaker Rüdiger Röhrig zeigte eindrücklich auf, was passiert, wenn der Mensch weiterhin sorglos mit noch vorhandenen Umweltressourcen umgeht. Und: Jeder ist in der Lage einen ersten Schritt zu unternehmen und sei er noch so klein. Die nachfolgenden Generationen werden in jedem Fall ein schweres Erbe antreten.

Im Rahmen von zwei Exkursionen zum Veranstaltungsbeginn erhielten die Teilnehmerinnen und Teilnehmern zudem die Möglichkeit, entweder die größte Kläranlage in BW zur PAK- Spurenstoffelimination in Mannheim zu besichtigen oder sich über Spurenstoffe und deren Verhalten bei der Wasseraufbereitung (TZW Karlsruhe) zu informieren. Eine Fachausstellung komplettierte das Tagungsprogramm.

Welche Wichtigkeit das Thema in der Wahrnehmung derzeit in der Öffentlichkeit spielt, zeigte sich an dem großen Interesse der Medien. Neben einem TV-Team des SWR waren Pressevertreter verschiedener regionaler Medien aus dem Rhein-Neckar-Raum vor Ort!

Hier gelangen Sie zum SWR-Beitrag.

10.07.2018

6. ERFAHRUNGSAUSTAUSCH DER DWA SONDER-NACHBARSCHAFT

SPURENSTOFFE

Am 10. Juli 2018 fand das diesjährige Treffen der DWA Sonder-Nachbarschaft Spurenstoffe auf dem Hauptklärwerk der Stadt Stuttgart statt. Am Vormittag wurden nach einer Begrüßung zunächst die neuen Handlungsempfehlungen und die Ergebnisse einer Umfrage zum Pulveraktivkohleeinkauf vom KomS Baden-Württemberg vorgestellt. Anschließend informierte die Stadtentwässerung Stuttgart (SES) über die geplante Umsetzung der Spurenstoffelimination auf dem Hauptklärwerk Mühlhausen und führte in die Thematik der Spurenstoffanalytik ein. Abgerundet wurde dies am Nachmittag durch die Besichtigung des Zentrallabors und der halbtechnischen Versuchsanlage zur Spurenstoffelimination. Den Rückblick zum 6. Erfahrungsaustausch der DWA Sonder-Nachbarschaft Spurenstoffe finden Sie hier.

27.06.2018

9. TREFFEN DER BODENSEE-NACHBARSCHAFT IN ST. GALLEN

Am 27. Juni 2018 fand das 9. Treffen der Bodensee-Nachbarschaft in St. Gallen statt. Schwerpunkt des Nachbarschaftstags war das Thema Spurenstoffe und wurde an diesem Tag mit drei Fachvorträge intensiv behandelt. Dr. Christoph Egli, Geschäftsführer des Abwasserverband Altenrhein, stellte die Resultate aus Pilotversuchen zur kombinierten Anwendung von Ozon und GAK sowie den aktuellen Stand des Ausbaus der Abwasserreinigungsanlage Altenrhein um ein „Kombinationsverfahren“ vor. Dr. Steffen Metzger von Weber-Ingenieure berichtete über die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen: Belastungssituation, Technologien und Erfahrungen zur Reinigungsleistung bildeten die Schwerpunkte des Vortrags. Dr. Marie Launay, Projektleiterin der Umwelttechnik BW, informierte über die Emissionen organischer Spurenstoffe aus kommunalen Kläranlagen und Mischwasserentlastungen im Vergleich. Der Tag endete mit einem Erfahrungsaustausch zu verschiedenen Themen.

18./19.06.2018

ARZNEIMITTEL UND MIKROSCHADSTOFFE IN GEWÄSSERN: BELASTUNGEN - MINDERUNGSSTRATEGIEN - MAßNAHMEN.

Am 18./19.Juni 2018 fand die Fachtagung "Arzneimittel und Mikroschadstoffe in Gewässern - Belastungen - Minderngsstrategien - Maßnahmen" in den Rheinterrasse in Düsseldorf statt. Erfahren Sie hier mehr.

16.11.2017

"PHARMAKA IN UMWELT – WAS DEUTSCHE UNTERNEHMEN UND VERBÄNDE GEGEN DIE GLOBALEN RISIKEN TUN KÖNNEN"

Fachgespräch am 16.11.2017 im Hause des Bundesumweltministerium

Weltweit wächst die Sorge, dass in die Umwelt gelangte Arzneimittel negative Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit zeitigen: Zunehmende Antibiotika-Resistenzen sind ein gravierendes Problem, das vielerlei Ursachen im Mißbrauch und der Überdosierung von Medikamenten hat, aber u.a. auch aus der Abwasserbelastung mit diesen Stoffen aus der Produktion (vor allem in Schwellenländern) resultiert. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) behandelt auf Grund ihrer Zuständigkeit für die menschliche Gesundheit das Problem der Antibiotika-Resistenzen mit höchster Priorität. Im Rahmen des Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM) hat die 4. Internationale Konferenz (ICCM4) das Thema **„Environmentally Persistent Pharmaceutical Pollutants**“ (**EPPP**) als eine „emerging policy issue –EPI“ identifiziert und alle Akteure aufgerufen, bestehende Wissensdefizite zu beseitigen, Informationen auszutauschen und Handlungsempfehlungen zu entwickeln. **Gute Beispiele des Zusammenwirkens der Akteure zur Prävention oder zur Verringerung der Umweltbelastung mit Arzneimitteln sind daher Thema des Fachgesprächs am 16. November.**

Weitere Informationen erhalten Sie unter
http://www.umweltbundesamt.de/saicm-epi-fachgespraech-2017-zu-pharmaka-in-der#textpart-5

13.10.2017

8. KOMS-TECHNOLOGIEFORUM SPURENSTOFFE

Das **8. KomS-Technologieforum Spurenstoffe** fand im Rahmen der **DWA-Landesverbandstagung am 13. Oktober 2017** in der Schwabenlandhalle Fellbach statt.
Weitere Informationen unter **www.landesverbandstagung-bw.de**

11.07.2017

5. ERFAHRUNGSAUSTAUSCH DER DWA SONDER-NACHBARSCHAFT SPURENSTOFFE AUF DER KLÄRANLAGE STOCKACHER AACH

Am 11. Juli 2017 fand das diesjährige Treffen der DWA Sonder-Nachbarschaft Spurenstoffe auf der Kläranlage Stockacher Aach in Bodman-Ludwigshafen statt. Am Vormittag wurden in drei Vorträgen zunächst Erfahrungen zum Betrieb der AFF-Anlage auf der Kläranlage Hechingen, Ergebnisse einer Messkampagne zur Spurenstoffelimination als auch Auswertungen eines Fragebogens zur Betriebserfahrung bei Kläranlagen mit Aktivkohleeinsatz vorgestellt. Nach einer kurzen Diskussionsrunde über fachliche Themen wurde noch die Adsorptionsstufe der Kläranlage Stockacher Aach besichtigt. Am Nachmittag gab es für die Teilnehmenden eine Führung im Wasserwerk der Bodensee-Wasserversorgung. Der nächste Sonder-Nachbarschaftstag wird im Sommer 2018 auf dem Hauptklärwerk Mühlhausen in Stuttgart stattfinden.

Bilder vom Nachbarschaftstag finden Sie **hier.**

28.06. - 29.06.2017

5 JAHRE KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE – JUBILÄUMSVERANSTALTUNG MIT KOMS BW, KOM-M.NRW UND VSA PLATTFORM

Die Jubiläumsveranstaltung “5 Jahre Kompetenzzentren Spurenstoffe“ vom 28. - 29.06.2017 in Friedrichshafen konnten die Kompetenzzentren mit einer sehr guten Resonanz abschließen. 170 Teilnehmer besuchten das Fach- und Technologiesymposium zur Spurenstoffelimination aus kommunalem Abwasser. Das „Rund-um-Paket“ mit Fachexkursionen – Vortragsprogramm – Abendtreff auf dem Schiff und integrierter Fachausstellung hat dazu beigetragen, dass sich die Besucher in fachlichen Gesprächen austauschten, mit den Referenten diskutierten und sich bei den Ausstellern über deren Produkte und Dienstleistungen informieren konnten.

Impressionen der Tagungen finden Sie **hier.**

Spurenstoffstrategie muss über vierte Reinigungsstufe weit hinausgehen – ganzheitlicher Ansatz erforderlich

Steffen Metzger, André Hildebrand (Stuttgart) und Stefan Bröker (Hennef)

Mittels einer vierten Reinigungsstufe können zwar Spurenstoffe in Kläranlagen zurückgehalten werden, eine Spurenstoffstrategie muss aber über den Abbau in Kläranlagen weit hinausgehen. Notwendig ist ein ganzheitlicher Ansatz von der Vermeidung seitens des Verbrauchers über die Substitution in der Industrie bis besonderen Maßnahmen im Gesundheitswesen. Dies war der eindeutige Tenor der Teilnehmer auf dem 2. Kongress „Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt", den der DWA-Landesverband Baden-Württemberg in Kooperation mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg am 13. und 14. Juni 2016 durchgeführt hat. Rund 220 Fachleute sowie zehn Firmen in der begleitenden Fachausstellung kamen zur Veranstaltung in das Stadthaus Ulm.

Umweltminister Franz Untersteller bei seiner Eröffnungsrede

Lokale Strategie im europäischen Kontext

Eröffnet wurde der Kongress am 13. Juni mit den Grußworten des DWA-Landesverbandsvorsitzenden Dipl.-Ing. *Wolfgang Schanz*, dem ersten stellvertretenden Vorsitzenden der DVGW Landesgruppe Baden-Württemberg Prof. Dr.-Ing. *Frieder Haakh* sowie dem Oberbürgermeister der Stadt Ulm *Gunter Czisch*, die – im Blick der nachfolgenden Vorträge einleitend – auf die Dringlichkeit bei der Bewusstseinsbildung der Verbraucher und Akteure im Gesundheitswesen zum richtigen Gebrauch und der Entsorgung sowie bei der Abwasserbehandlung und dem Einsatz technischer Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen hinwiesen.

Baden-Württembergs Umweltminister *Franz Untersteller* stellte in seiner Eröffnungsrede die lokale Strategie im europäischen Kontext vor. Wichtig sei es insbesondere, im Gesundheitswesen ein Bewusstsein für die Spurenstoffproblematik zu schaffen, so Untersteller. „Nicht mehr benötigte Medikamentenreste gehören einzig und allein in die Restmülltonne. Wer dies beachtet vermeidet damit, dass unsere Flüsse, Bäche und Seen unnötigerweise belastet werden." Um diesen Zusammenhang sowohl den Beschäftigten in den Krankenhäusern und Arztpraxen, Apotheken und Krankenkassen als auch den Patientinnen und Patienten zu verdeutlichen, habe das Umweltministerium einen Diskussionsprozess mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesärztekammer, der Apothekerschaft, von Patientenverbänden und Krankenkassen sowie des Landesnaturschutzverbandes und der chemischen und pharmazeutischen Industrie ins Leben gerufen. Ein Ergebnis dieser Diskussionen ist beispielsweise ein Flyer zur richtigen Entsorgung von nicht gebrauchten Arzneimitteln, der inzwischen in der 2. Auflage erhältlich ist.

Untersteller zeigte sich enttäuscht darüber, dass die EU-Kommission ihre für September 2015 angekündigte Strategie gegen die Belastung von Gewässern mit Arzneimitteln bis zum heutigen Tage noch nicht vorgelegt habe. „In Baden-Württemberg befassen wir uns schon lange intensiv mit der Frage, wie wir die Belastung unserer Gewässer mit Spurenstoffe verringern können und warten nicht darauf, bis die EU-Kommission irgendwann eine mittel- bis langfristig wirkende europäische Strategie vorlegen wird."

Eine wichtige Rolle spiele hierbei auch der vom Land unterstützte Ausbau von kommunalen Kläranlagen mit der sogenannten vierten Reinigungsstufe. „Zwar haben wir im Land bereits viele mit der Technik zur Spurenstoffelimination aus-

Moderatorin Christiane Maschajechi, André Hildebrand (re.) und Wolfgang Schanz (2. v. li.) mit den Referenten des ersten Veranstaltungstages

gebaute Kläranlagen in wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten – Arzneimittelrückstände lassen sich allerdings nicht restlos aus dem Abwasser entfernen“, betonte der Umweltminister weiter. Um das Problem der Spurenstoffe in den Griff zu bekommen, sei vielmehr ein umfassender Ansatz notwendig. Hierbei komme dem zweiten Spurenstoff-Kongress in Ulm eine wichtige Rolle zu.

Wasserqualitätsdiskussion darf nicht vernachlässigt werden

Prof. *Klaus Kümmerer*, Universität Lüneburg, plädierte in seinem Einführungsvortrag dafür, über die Wassermengendiskussion im Zusammenhang mit dem Klimawandel die Wasserqualitätsdiskussion nicht zu vernachlässigen. Als besonders problematisch stufte Kümmerer ein, dass es nach wie vor keine Abwasserbehandlungstechnik gibt, die alle oder auch nur die Mehrheit der zahlreichen Spurenstoffe vollständig eliminiert. Auch das Thema der Transformationsprodukte stellt für ihn nach wie vor ein großes Problem dar. In Anbetracht der Tatsache, dass alleine in Deutschland mehrere tausend bis zehntausend verschiedene Muttersubstanzen als umweltrelevant erachtet würden, sei eine weitergehende Elimination unmöglich, so Kümmerer. Notwendig ist für Kümmerer daher ein Ansatz am „Anfang des Rohres“, und nicht nur End-of-Pipe in der Abwasserwirtschaft. Das Spektrum möglicher Maßnahmen reicht für ihn von einer verbesserten Trennung der Abwasserteilströme über die Anwendung von Stoffen in geschlossenen Systemen bis zur gezielten Entwicklung von Stoffen mit einer besseren biologischen Abbaubarkeit.

Bund setzt auf nationale Mikroschadstoffstrategie

Auch der Bund setzt beim Umgang mit Mikroschadstoffen auf eine Ebene, die der Einführung einer 4. Reinigungsstufe vorgelagert ist. Der Ansatz des Bundes bestehe darin, führte Dr. *Jörg Wagner*, Ministerialdirigent im Bundesumweltministerium, in Ulm aus, zusammen mit den Ländern, den Verbänden der Wasserwirtschaft und weiteren Beteiligten einen Katalog grundsätzlich geeigneter Maßnahmen zum Umgang mit den Mikroschadstoffen zu erarbeiten. Hierzu wolle der Bund einen „Stakeholder-Prozess“ etablieren, so Wagner. Das Ergebnis dieses Dialogs solle dann zur nationalen Mikroschadstoffstrategie führen. Das von der Umweltministerkonferenz angeregte koordinierte Monitoring hält Wagner dabei für nicht ausreichend. Gemeinsame, länderübergreifende Handlungsvorschläge seien angesichts der Komplexität des Problems und der übergreifenden Auswirkungen geboten. Wagner bezog sich in diesem Zusammenhang auch auf die Bundeszuständigkeit für stoffbezogene Regelungen. Beginnen soll der Stakeholder-Dialog noch in diesem Sommer. Nach der Bundestagswahl 2017 könnte dann nach den Vorstellungen Wagners die Umsetzungsphase beginnen, die politische Absicherung könnte beispielsweise im Rahmen der nächsten Koalitionsvereinbarung erfolgen.

CUBE
Getauchte Module für **Membran-Bio-Reaktoren** (MBR)
960 m² Filterfläche CUBE LFM 20124
Mit über 40.000 installierten Membranmodulen
ist **MARTIN Membrane Systems** Ihr kompetenter Partner bei getauchten Filtermodulen für alle MBR-Anwendungen. Für unsere Kunden erweitern wir kontinuierlich unser Produktspektrum und investieren in die Erweiterung und Optimierung unserer Produktionsanlagen.
martin-membrane.com
MARTIN Membrane Systems

Organische Schadstoffe in allen Fließgewässern nachweisbar

Den grundsätzlichen Handlungsbedarf verdeutlichte Dr. *Ursula Maier* vom baden-württembergischen Umweltministerium in ihrem Vortrag. 2012/2013 seien in Baden-Württemberg 17 Fließgewässer auf 86 Spurenstoffe untersucht worden. In allen Fließgewässern seien dabei organische Spurenstoffe nachgewiesen worden, im Mittel wurden etwa 50 Prozent der analysierten 86 Stoffe gefunden, so Maier. Bei der Problemlösung setzt Baden-Württemberg nicht nur auf die vierte Reinigungsstufe. Insbesondere an sensiblen Gewässern oder Belastungsschwerpunkten sei der Ausbau unter dem Gesichtspunkt des Vorsorgeprinzips ein wichtiger Baustein der Spurenstoffstrategie. Laut Maier sind im Land bereits elf Anlagen in Betrieb sowie weitere in Bau oder Planung. Nach Inbetriebnahme der derzeit in Planung und Bau befindlichen Anlagen würden landesweit rund zwanzig Prozent der gesamten Abwassermenge in einer vierten Reinigungsstufe behandelt werden. Maßnahmen an der Quelle seien aber als vorrangig vor end-of-pipe-Maßnahmen anzustreben. Maßnahmen bei der Zulassung von Stoffen beziehungsweise Arzneimitteln müssten aber auf europäischer Ebene geregelt werden. Das Land setzt dabei auch auf die von der EU-Kommission zu entwickelnde Arzneimittelstrategie zur Reduzierung der Verschmutzung. In Baden-Württemberg sind der Dialog mit Akteuren im Gesundheitswesen sowie der Flyer zur richtigen Entsorgung von nicht mehr benötigten Arzneimitteln wichtige Elemente zur Bewusstseinsbildung.

Reduktion von Spurenstoffen verbessert Gesundheitszustand von Fischen

Dass end-of-pipe-Maßnahmen gute Ergebnisse erzielen können, belegte Prof. Dr. *Rita Triebskorn*, Universität Tübingen, anhand des Projektes SchussenAktivplus. Bei dem Projekt konnte laut Triebskorn gezeigt werden, dass sich mit der Reduktion von Spurenstoffkonzentrationen im Abwasser, Oberflächenwasser und in Biota der Gesundheitszustand von Fischen und Fischnährtieren deutlich verbessert habe. Die Reduktion der Spurenstoffkonzentration wurde an der Schussen durch den Einbau einer vierten Reinigungsstufe auf Pulveraktivkohlebasis in eine große Kläranlage an der Schussen erreicht. Neben diesen Erfolgen sprach Triebskorn in Ulm aber auch das nach wie vor bestehende Problem der Wissensdefizite an. So sei es zwar wahrscheinlich, dass durch Verbesserung der Analysemethoden künftig immer mehr Einzelkomponenten in den entsprechenden Umweltmatrices identifiziert werden könnten und dass im Zuge der Verbesserung der Non-Target-Analytik ein differenziertes Bild zur Zusammensetzung des Chemikalien-Cocktails entstehe. Jedoch werde es auch in Zukunft nicht möglich sein, nur auf der Basis chemischer Analysen für ein Umweltkompartiment eine Risikobewertung vornehmen zu können, so Triebskorn.

Die Exkursionsteilnehmer bei der Besichtigung der Landeswasserversorgung in Langenau

Punktuelle Kläranlagennachrüstung, aber keine flächendeckende vierte Reinigungsstufe

Kläranlagennachrüstung in Einzelfällen, aber keine flächendeckende Einführung einer vierten Reinigungsstufe, ist die aktuelle bayerische Position. Für die Analyse, wo eventuell weitere Maßnahmen notwendig sind, bedient sich Bayern eines in 2011 erstellten Stoffflussmodells. Dipl.-Ing. *Stefan Bleisteiner* vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) stellte das Modell in Ulm detailliert vor. Er stufte es als geeignetes Werkzeug zur Konzentrationsabschätzung von durch Kläranlagen eingetragenen Stoffen ein. Insbesondere für den ökotoxikologisch besonders relevanten Parameter Diclofenac könne davon ausgegangen werden, dass das Modell eine gute Einschätzung der zu erwartenden Konzentrationen liefere, so Bleisteiner. Das Modell erlaube zudem Prognosen zur Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf definierten Kläranlagen für die Verbesserung der jeweiligen Gewässersituation.

Umweltrisikobewertung von Arzneimitteln

Neben dem Ausbau von Kläranlagen stehen bei der wasserwirtschaftlichen Diskussion der Spurenstoffproblematik regelmäßig neue Konzepte zur Umweltrisikobewertung von Humanarzneimitteln im Fokus. Dr. *Reinhard Länge* von der Bayer AG in Berlin stellte diesbezüglich das Ecopharmacostewardship-Konzept vor. Laut Länge setzt das Konzept vor allem auf drei Schwerpunkte: die Entwicklung von Methoden und Modellen zur Priorisierung von Altstoffen (vor 2006 auf dem Markt), die Entwicklung von Vorschlägen zur internen Bewertung und Überwachung von Arzneimittelwirkstoffeinträgen aus Produktions- und Formulierungsbetrieben sowie die Erweiterung der Umweltrisikobewertungsstrategie über den Zulassungsprozess hinaus. Im Kern sieht das Konzept laut Länge vor, die Entwicklung, Zulassung und Produktion der Wirkstoffe unter Umweltgesichtspunkten transparent, verantwortungsvoll und nachhaltig zu organisieren. Oberstes Ziel müsse aber bleiben, so Länge, Patienten den Zugang zu geeigneten Therapien zu erhalten.

Problem Röntgenkontrastmittel

Ein spezielles Problem bei Arzneimitteln stellen Röntgenkontrastmittel (RKM) dar. So sind jene Stoffe im Ablauf einer Kläranlage, trotz erfolgter Reinigung des

Abwassers, in vergleichsweise hohen Konzentration anzutreffen. Röntgenkontrastmittel werden in großen Mengen verabreicht und können dementsprechend seit Jahren in allen Teilen der aquatischen Umwelt nachgewiesen werden. Eine Möglichkeit die Einträge zu reduzieren, stellt die dezentrale Sammlung des Patientenurins mittels Urinbeuteln dar. Das Pilotprojekt „Minderung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln in die Umwelt“ (MindER) hat die Effektivität, Praktikabilität und Akzeptanz eines solchen Systems untersucht. Laut Dr.-Ing. *Thomas Hillenbrand*, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, zeigen die Ergebnisse aus der Pilotumsetzung, dass ca. 30–40 % der Patienten vor allem aufgrund ihrer körperlichen oder psychischen Verfassung in die Studie nicht einbezogen werden konnten. Etwa 20 bis 30 Prozent aller Patienten waren nach Untersuchungen mit Röntgenkontrastmitteln zur Nutzung von Urinbeuteln bereit. Diese Teilnehmer bewerteten die Maßnahme sehr positiv und zeigten eine hohe Akzeptanz für eine breite Umsetzung. Die Einschätzung des Personals zur Umsetzbarkeit, sowohl hinsichtlich der Praktikabilität der Beutel, der Teilnahmebereitschaft der Patienten als auch der Integrierbarkeit des Mehraufwandes in den medizinischen Alltag, war eher zurückhaltend. Insgesamt sei die separate Sammlung von Urin für einen Teil der Patienten ein kostengünstiger quellenorientierter Ansatz. Für eine weitgehende Verringerung der Umweltbelastungen mit RKM müsse diese Maßnahme jedoch mit anderen Maßnahmen kombiniert werden, führte Hillenbrand in Ulm aus.

Technische Möglichkeiten der Spurenstoffelimination

Dr. *Steffen Metzger* vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg führte anschließend die Diskussion zurück zur Abwasserbehandlung, konkret zu den verschiedenen technischen Möglichkeiten der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen. Grundsätzlich gilt für Metzger, dass Spurenstoffe mit dem Einsatz von Ozon oder Aktivkohle gezielt aus dem Abwasser entfernt werden können. Gegenwärtig würden zudem weitere oxidative Verfahren sowie weitere Verfahrensmöglichkeiten zum Einsatz von Aktivkohle getestet, berichtete Metzger in Ulm. Darüber hinaus würden an mehreren Standorten der Nutzen der kombinierten Anwendung von Ozon und Aktivkohle untersucht. Es sei wichtig, die Verfahren, die gegenwärtig als technisch umsetzbar gelten, weiter zu entwickeln und sich nicht mit dem bisher Erreichten zufrieden zu geben. Weitere Herausforderungen seien aktuell auch bei der Etablierung von Verfahren zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen im Zusammenhang mit den sich aus der Umsetzung sowie aus dem Betriebsalltag ergebenden Fragen zu sehen.

Professorin Dr. Rita Triebskorn während des Deutschlandfunk-Interviews

Strömungstechnische Optimierungen.

Entdecken Sie die verfahrenstechnischen Vorteile von PETERS-Einlaufsystemen:

- Verbesserung des Schlammabtriebs
- Verbesserung der Ablaufwerte
- Verhinderung von Verwirbelungen und Kurzschlussströmung

Unsere Spitzenleistung:

Wir setzen Simulationsvorgaben und planerische Vorstellungen in Fertigung und Montage optimal um.

Fordern Sie unsere Fachberatung an:
Tel. 06474-88240-0
info@petersgmbh.de

PETERS GmbH
KOMPONENTEN FÜR DEN ANLAGENBAU
www.petersgmbh.de

Spurenstoffe und Trinkwasser

Dass die Spurenstoffdiskussion nicht nur die Abwasserwirtschaft, sondern auch die Trinkwasserseite betrifft, verdeutlichte anschließend Dr. *Josef Klinger* vom TZW DVGW-Technologiezentrum in Karlsruhe. Klinger wies vor allem darauf hin, dass eine höhere Anzahl identifizierter Spurenstoffe im Trinkwasser nicht gleichbedeutend mit einer schlechteren Wasserbeschaffenheit sei. Dies sei auch der deutlich verbesserten Wasseranalytik geschuldet. Die Aufgabe der Wasserwirtschaft werde es daher sein, eine belastbare und verständliche Bewertung sowohl der Fachöffentlichkeit als auch den Bürgern darzustellen.

Ökonomische Aspekte der Spurenstoffdiskussion

Nicht mit den technischen, sondern mit den ökonomischen Aspekten der Mikroverunreinigungen beschäftigte sich anschließend Prof. Dr. *Erik Gawel* vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig. Er stellte in Ulm sein „Leipziger Modell“ vor, eine Reform der Abwasserabgabe zur volkswirtschaftlich effizienten Finanzierung des Ausbaus ausgewählter Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe. Zunächst sei dabei zu berücksichtigen, so Gawel, dass alle durchgeführten Maßnahmen zur Verminderung von Mikroverunreinigungen in vollem Umfang gebührenfähig seien. Die dafür anfallenden Aufwendungen seien uneingeschränkt ansatzfähige Kosten im Sinne des Kommunalabgabenrechts. Da aber nicht alle Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe ausgebaut werden sollen, sondern nur solche mit einer guten Nutzen-Kosten-Relation, fallen die finanziellen Lasten nur bei diesen Kläranlagen an. Zum Ausgleich könnten zur Finanzierung des öffentlichen Gutes „Minderung der Mikroverunreinigungsbelastung der Gewässer“ daher in angemessener Form auch diejenigen herangezogen werden, die zwar ebenfalls Verursachungsbeiträge zum Gewässergüteproblem leisteten, aber aus Effizienzgründen dennoch maßnahmenfrei blieben. Dies könnte laut Gawel sehr gut über die Abwasserabgabe erfolgen. Es ergäbe sich eine partielle Solidarfinanzierung der abwassereinleitenden Verursacher für die aus Effizienzgründen ausgewählten kommunalen Groß-Anlagen. Zur Sicherung der Finanzierung plädiert Gawel weiter für eine gezielte Erhöhung des Aufkommens aus der Abwasserabgabe. Hierfür kommen für ihn vorzugsweise Änderungen im Regelwerk der Abwasserabgabe in Betracht, die gleichzeitig den Wesenskern der Abgabe als ökonomischen Hebel zur effizienten Vorsorge im Gewässerschutz für eine breite Palette an Schadparametern nicht antasten beziehungsweise sogar stärken.

Verursacherverantwortung zur Reduzierung der Spurenstoffkonzentrationen

In der abschließenden Podiumsdiskussion wurden die verschiedenen Ansatzmöglichkeiten zur Reduzierung von Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt noch einmal intensiv und zum Teil kontrovers diskutiert. Einen breiten Raum nahm die Frage nach der Verursacherverantwortung ein. Ebenso intensiv wurde die Notwendigkeit von weiteren Dialogprozessen und Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung versus konkreter Konzepte zum Ausbau kommunaler Kläranlagen diskutiert. Grundsätzlich bestand jedoch Einigkeit darüber, dass die Reduzierung von Spurenstoffen einer Gesamtstrategie aus verschiedenen Bausteinen bedarf.

Spurenstoffelimination in der Praxis

Bereits am 1. Veranstaltungstag beteiligten sich 120 Teilnehmer an den beiden angebotenen Fachexkursionen: Auf der Kläranlage Steinhäule in Neu-Ulm besichtigten die Besucher die derzeit größte Aktivkohle-Adsorptionsanlage zur Spurenstoffelimination in Europa. Danach fuhren die Teilnehmer zur Wasseraufbereitungsanlage der Landeswasserversorgung in Langenau. Hier wurde u. a. die Aktivkohlefiltration von Donau- und Grundwasser vorgestellt und deren Forschungslaboratorien besichtigt.

Die zweite Exkursion führte zur Firma Boehringer Ingelheim in Biberach a.d. Riß. Dort bot sich den Teilnehmer die Möglichkeit, einen Einblick in das Werk zu nehmen sowie die Versuchsanlage des aktuell durchgeführten Forschungsvorhabens zur kombinierten Anwendung von Ozon und Aktivkohle anzuschauen.

Spurenstoffelimination in den Medien

Technische Neuerungen sind notwendig. Die Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Arzneimittel und deren Entsorgung muss durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit vorangetrieben werden. Ein Beitrag hierzu wurde vom Deutschlandfunk mit einem Interview des DWA-Landesverbandsvorsitzenden Wolfgang Schanz und Prof. Dr. Rita Triebskorn vom Institut für Evolution und Ökologie der Universität Tübingen am Dienstag, 14. Juni 2016, gesendet.

Über den Link *http://srv.deutschlandradio.de/themes/dradio/script/aod/index.html?audioMode=2&audioID=4&audio=462828* kann die Life-Schaltung nachgehört werden.

Der Tagungsband zur Veranstaltung kann unter *www.dwa-bw.de,* Publikationen bestellt werden. KA

www.dwa.de
Fort- und Weiterbildungskurse, Seminare und Tagungen
DWA Klare Konzepte. Saubere Umwelt.
Das DWA-Veranstaltungsprogramm aktuell unter **www.dwa.de/veranstaltungen**

Jubiläumsveranstaltung „Fünf Jahre Kompetenzzentren Spurenstoffe“

Technische Möglichkeiten und praktische Umsetzung der Spurenstoffelimination

Susanne Hartwein (Neu-Ulm)

24 Klärwerke gibt es derzeit in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und in der Schweiz, die mit Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination ausgestattet sind; weitere Anlagen sind im Bau oder in Planung. Diese Anzahl von Anlagen zur Elimination von Spurenstoffen würde es sicher nicht geben ohne die Arbeit der drei im Jahr 2012 gegründeten Kompetenzzentren für Spurenstoffe. Das sind namentlich das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg, das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW und die Schweizer VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“.

Der Einladung der Kompetenzzentren, in Friedrichshafen die bislang erzielten Fortschritte im Gewässerschutz zu feiern und dabei die Positionen und Maßnahmen zur Spurenstoffelimination in den Bodenseeanrainerstaaten vorzustellen und zu diskutieren, folgten Ende Juni 170 Teilnehmer aus Politik, Wasserwirtschaft, Industrie und Wissenschaft. Auftakt der zweitägigen Jubiläumsveranstaltung war eine Fachexkursion zur Kläranlage Kressbronn-Langenargen, die seit 2011 über eine Adsorptionsstufe verfügt, und zum Seenforschungsinstitut der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Vertreter der Bodenseeanrainerstaaten gaben anschließend im ersten Teil des Vortragsprogramms einen Überblick über die Spurenstoffstrategie in ihren Ländern.

Nur die Schweiz hat eine gesetzliche Regelung

Die bisher weltweit einzige gesetzliche Regelung zum Umgang mit Spurenstoffen hat die Schweiz getroffen: Bis zum Jahr 2040 werden dort 100 der 700 Kläranlagen mit einem Verfahren zur gezielten Spurenstoffentfernung ausgerüstet und so rund 60 Prozent der Abwässer erfasst. Bei den betroffenen Kläranlagen handelt es sich um große Anlagen mit mehr als 80 000 angeschlossenen Einwohnern, größere Anlagen mit über 24 000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet der Trinkwassergewinnung sowie Kläranlagen über 8000 angeschlossene Einwohner, die in kleine und mittlere Gewässer einleiten und ein Abwasseranteil von mehr als 10 Prozent vorliegt. Der Investitionsbedarf von 1,2 Mrd. CHF wird bis zum Jahr 2040 über eine landesweite Abwasserabgabe finanziert, die pro Einwohner und Jahr maximal 9 CHF beträgt. Parallel dazu setzt die Schweiz laut Dr. *Stephan Müller* vom Schweizer Bundesamt für Umwelt in Bern auf Maßnahmen, um die Spurenstoffeinträge an der Quelle zu minimieren. Vor allem kleine Gewässer sind durch Pestizideinträge aus der Landwirtschaft belastet. Ein Nationaler Aktionsplan Pestizide soll hier Abhilfe schaffen. Daten zu den Spurenstoffeinträgen aus Industrie und Gewerbe gibt es in der Schweiz kaum. In einzelnen Messkampagnen wurden jedoch relevante Frachten nachgewiesen. Derartige Messkampagnen gilt es zu intensivieren und Maßnahmen zur Reduktion zu erarbeiten.

Österreich hält Spurenstoffelimination auf Kläranlagen für nicht erforderlich

In Österreich „erscheint eine generelle Nachrüstung kommunaler Abwasserreinigungsanlagen mit einer vierten Reinigungsstufe derzeit nicht erforderlich und zielführend“, so Dr. *Robert Fenz* vom Österreichischen Bundesministerium für

Fachexkursion auf dem Klärwerk Kressbronn

Land- und Forstwirtschaft. Entsprechend ist dort auch nur eine solche Anlage in Betrieb. Die Auswirkungen von Spurenstoffbelastungen auf die Gewässerbiologie bei Verwendung der herkömmlichen Bewertungsmethoden werden weniger kritisch eingestuft als bei anderen Belastungen. Die große Herausforderung im Land sind laut Fenz vielmehr diffuse Einträge von ubiquitären Schadstoffen und Pestiziden. Monitoringprogramme, toxikologische Untersuchungen, Stoffbilanzierungen und Forschungsprojekte zu Maßnahmen in Hinblick auf chemische Schadstoffe in Gewässern bestehen und werden fortgeführt.

Deutschlands Spurenstoffstrategie ist auf dem Weg

Ministerialdirigent *Peter Fuhrmann*, Vorsitzender der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), berichtete vom Sachstand der Spurenstoffstrategie der deutschen Bundesregierung. In mehreren Workshops hatten in den letzten Monaten Vertreter der Industrie, der Zivilgesellschaft, der Wasserwirtschaft, aus den Ländern und den betroffenen Bundesressorts Handlungsoptionen definiert, um den Eintrag von Spurenstoffen in die Gewässer zu reduzieren. Ein wichtiger Meilenstein war am 27. Juni 2017 erreicht worden, als die Ergebnisse dieses „Stakeholder-Dialogs“ in einem gemeinsamen getragenen Papier dem Bundesumweltministerium übergeben werden konnten. In dem Strategiepapier wurde dem Vorsorgeprinzip eine zentrale Bedeutung zugesprochen und quellenorientierte, anwendungsorientierte und nachgeschaltete Maßnahmen definiert. Dazu zählen unter anderem die Sensibilisierung der Bevölkerung für die Spurenstoffproblematik und eine entsprechende Verhaltensänderung. Von den Herstellern relevanter Spurenstoffe und Produkte, die solche enthalten, müssen Handlungsempfehlungen entwickelt werden, um zukünftig die Einträge in die Gewässer zu reduzieren oder zu vermeiden. Als nachgeschaltete Maßnahme wurde auch die weitergehende Behandlung auf Kläranlagen genannt, wenn eine besondere Belastungssituation oder Empfindlichkeit der Gewässer vorliegt. Die Bedeutung von Niederschlags- und Mischwassereinleitungen für die Belastung der Gewässer mit relevanten Spurenstoffen ist ebenfalls zu untersuchen, um gegebenenfalls geeignete Maßnahmen entwickeln zu können.

Interessierte Zuhörer am ersten Veranstaltungstag auf dem Schiff MS Graf Zeppelin

Die Fortführung des Themas soll in der Koalitionsvereinbarung der neuen Bundesregierung festgeschrieben werden. Bis Mitte 2018 werden die Stakeholder die Diskussionen zur Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen weiter vertiefen. Dazu gehören unter anderem die Festlegung der relevanten Spurenstoffe, die Abstimmung mit dem Bundesforschungsministerium hinsichtlich erforderlicher Forschungs- und Modellprojekte sowie ein Orientierungsrahmen für den Ausbau von Kläranlagen.

Hemmschuh Finanzierung?

Erhebliche Diskussionen gibt es laut Fenz in vielen Bereichen von Österreichs Wasserwirtschaft bezüglich der Finanzierung von Maßnahmen zur Spurenstoffelimination. „Für die Schweiz war es nie eine Frage, ob bessere Kläranlagen nicht zu teuer wären“, stellt hingegen Dr. *Stephan Müller* fest. Im Rahmen der Spurenstoffstrategie der deutschen Bundesregierung steht die Prüfung von Finanzierungsinstrumenten im nächsten Jahr an. Betreiber von Kläranlagen wie zum Beispiel der Zweckverband Abwasserreinigung Kressbronn-Langenargen, der aus freien Stücken seine Kläranlage um eine Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination erweitert hat, berechnet für diesen vorsorglichen Gewässer- und Trinkwasserschutz jedem Einwohner acht Euro im Jahr. Proteste aus der Bevölkerung gibt es dafür bislang nicht.

Vorreiter Baden-Württemberg

Baden-Württemberg verfolgt seit Jahren eine Spurenstoffstrategie und ist hier weiter als der Bund. Über die konkreten Maßnahmen berichtete Dr. *Ursula Maier* vom Umweltministerium Baden-Württemberg. Unter dem Gesichtspunkt der Vorsorge sind dort vor allem an besonders empfindlichen Gewässern oder an Belastungsschwerpunkten 13 Kläranlagen mit einem Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination ausgestattet worden. An weiteren fünf Anlagen ist eine entsprechende Erweiterung in Planung oder Bau. Das Land hat hierfür ein Förderprogramm aufgelegt.

Bei den quellenbezogenen Maßnahmen hat Baden-Württemberg besonders die Arzneimittel im Fokus, deren Rückstände im Abwasser zu einer zunehmenden Belastung der Gewässer führen und damit ökotoxikologische Wirkungen auf Fische und andere Gewässerbewohner zur Folge haben können. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „SchussenAktivplus“ konnte eine Verbesserung der Gesundheit dieser Tiere durch den Einsatz von Pulveraktivkohle auf der Kläranlage AZV Mariatal nachgewiesen werden. Das Land ist im Dialog mit Arzneimittelherstellern, Ärzten, Apothekern, Krankenkassen und Verbrauchern, um sie für diese Problematik zu sensibilisieren. Hinzu kommen Projekte wie MINDER, in dem die Reduzierung des Eintrags von Röntgenkontrastmitteln näher untersucht wurde, oder ReAs, bei dem die Reduzierung des Arzneimitteleintrags von Gesundheitseinrichtungen in Gewässer in-

tensiver beleuchtet wird. Die Ergebnisse aus den Projekten bringt Baden-Württemberg nicht zuletzt bei der Erarbeitung der europäischen Arzneimittelstrategie und der Spurenstoffstrategie des Bundes ein. Der Spurenstoffeintrag durch Mischwasserentlastungen wurde im Rahmen einer Studie ebenfalls als relevant identifiziert. Baden-Württemberg beabsichtigt deshalb, alle Regenüberlaufbecken mit Messeinrichtungen nachzurüsten, um das Entlastungsverhalten zu erfassen und entsprechend steuernd in das Gesamtsystem eingreifen zu können.

Nordrhein-Westfalen fördert Machbarkeitsstudien

Die besondere Relevanz der Spurenstoffe für Nordrhein-Westfalen stellte Dipl.-Ing. *Arnold Schmidt* vom Landesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz dar. Diese ergibt sich durch die hohe Industrie- und Besiedlungsdichte, den hohen Versieglungsgrad der Flächen und die PFT-, Pyrazol- und TFA-Belastung. Handlungsbedarf besteht zum Schutz des Trinkwassers, das unter anderem aus Uferfiltrat von Rhein und Ruhr gewonnen wird, aber auch um den geforderten guten ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer zu erreichen. Denn für 156 Oberflächenwasserkörper besteht der Verdacht der Zielverfehlung durch den Eintrag von Spurenstoffen aus Kläranlagen. Im Zuge künftiger Anforderungen an die Kläranlagen wie Energieeffizienz, Stickstoff- und Phosphorelimination sowie Phosphorrückgewinnung „wird in vielen Fällen die Spurenstoffelimination dazu gehören müssen“, so Schmidt. Nordrhein-Westfalen setzt hier vor allem auf die Förderung von Machbarkeitsstudien zur Ermittlung des Handlungsbedarfs von Kläranlagen. Derzeit sind 117 Studien in Bearbeitung bzw. abgeschlossen. Zudem werden bauliche Umsetzungsmaßnahmen gefördert.

Potenzial der biologischen Abwasserreinigung

Auf großes Interesse stieß der engagierte Vortrag von Dr. *Adriano Joss* (Eawag Dübendorf/Schweiz) über die Möglichkeiten zur Optimierung der standardmäßigen biologischen Abwasserreinigung, um den Abbau von Spurenstoffen zu verbessern. Joss war hierzu an dem EU-Forschungsprojekt Athene beteiligt. Standardmäßig können mit der biologischen Abwasserbehandlung mit Nitrifikation ca. 50 Prozent der Spurenstoffe eliminiert werden, ohne Nitrifikation ca. 30 Prozent. Ein Vergleich der Reinigungsleistung des Belebungsverfahrens mit anderen biologischen Reinigungsverfahren hat ergeben, dass lediglich mit dem Hybrid-Wirbelbett ein verbesserter Abbau für Diuron und Diclofenac nachgewiesen werden konnte. Seiner Aussage nach sind Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination mit einer 80-%-Elimination der Spurenstoffe derzeit am wirkungsvollsten. Fazit der anschließenden Diskussion: Mit der biologischen Abwasserbehandlung so viele Spurenstoffe wie möglich aus dem Abwasser entfernen und anschließend das Abwasser mit Ozon oder Aktivkohle behandeln.

Energieaufwand und Treibhauspotenzial

Auch in der Wasserwirtschaft sind Energieeffizienz und CO_2-Neutralität relevante Faktoren, auf die sich eine zusätzliche Reinigungsstufe negativ auswirkt. Über die Details am Beispiel einer Modellkläranlage mit 1,5 Millionen EW und Standort in Berlin referierte Dr.-Ing. *Christian Remy* vom Kompetenzzentrum Wasser Berlin. Für diese Anlage wurden der Energieaufwand und das Treibhauspotenzial einer Ozonung sowie der Aktivkohleadsorption mit PAK und GAK verglichen. Das Ergebnis der Ökobilanz, die im Rahmen des Forschungsprojekts IST4R erstellt wurde, verschlechtert sich durch die Spurenstoffentfernung signifikant. In Abhängigkeit von dem geforderten Grad der Spurenstoffelimination ergeben sich bei Ozon ein bis zu 40 Prozent höherer Energieaufwand und bis zu 26 Prozent mehr CO_2, bei PAK bis zu 67 Prozent mehr Energieverbrauch und bis zu über 100 Prozent mehr CO_2 und bei GAK 17 Prozent mehr Energie und ein Mehr an CO_2 von 17 Prozent. Diese drastischen Werte stehen in direktem Zusammenhang mit dem DOC, der in der Modellkläranlage sehr hoch ist. Die Empfehlung von Remy ist, die Ziele des Gewässerschutzes gegenüber den Zielen der Energieeffizienz und des Klimaschutzes abzuwägen.

Abklärung der Verfahrenseignung der Ozonung

Aline Meier von der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ in Dübendorf stellte das vom Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) empfohlene Vorgehen vor, mit dem abgeklärt werden kann, ob sich das Abwasser einer Kläranlage für eine Ozonbehandlung eignet. Denn die Behandlung von Abwasser mit Ozon darf nicht zur übermäßigen Entstehung neuer problematischer Stoffe führen. Ausgehend von der qualitativen Betrachtung des Abwassers im Einzugsgebiet der Kläranlage, die bekannte problematische Einleiter berücksichtigt, wer-

Interessante Erfahrungsaustausche während der Pausen

Kompetenzzentren Spurenstoffe

Die Kompetenzzentren in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und der Schweiz bestehen seit 2012 und werden von den jeweiligen Umweltministerien finanziell gefördert. Ziele sind der Kompetenzaufbau im Bereich der Verfahrenstechnik zur Spurenstoffelimination, der Informationsaustausch und Wissenstransfer sowie die internationale Vernetzung. Die Kompetenzzentren sind wichtige Ansprechpartner für die Wasserwirtschaft und die Kommunalpolitik.
Die Kompetenzzentren organisieren Veranstaltungen, deren Ergebnisse in die Praxis einfließen, unterstützen Kläranlagenbetreiber bei der Planung (zum Beispiel Technologieauswahl) und Inbetriebnahme von Anlagen zur Spurenstoffelimination, stellen Versuchsanlagen zur Verfügung und begleiten wissenschaftliche Untersuchungen. Die Veröffentlichung von Broschüren sowie Projekt- und Kostensteckbriefen runden das Angebot ab.

den die drei nachfolgenden Untersuchungsstufen immer spezifischer: Messungen potenziell kanzerogener Oxidationsnebenprodukte wie Bromat und Nitrosamine im Zulauf der geplanten Ozonung, chemische Labortests mit Abwasser aus dem Ablauf der Nachklärung zur Simulation der Ozonung und der biologischen Nachbehandlung und schließlich Biotests zur Auswirkung der Ozonung auf die ökotoxikologische Abwasserqualität. Am Ende jeder Untersuchungsstufe erhält man ein Resultat darüber, ob die Ozonung geeignet ist oder nicht oder ob die Situation unklar ist. Stellt sich die Ozonung schon zu Beginn der Untersuchung als ungeeignet heraus, erübrigen sich die nachfolgenden Schritte. Bei unklaren Ergebnissen könnte Aktivkohle das bessere Verfahren sein oder der Eintrag der problematischen Stoffe ins Abwasser vermieden werden, um eine Ozonung zu ermöglichen.

Anstieg der Spurenstoffkonzentration stoppen

Einblick in seine Erfahrung mit dem Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg bei der Planung und Realisierung der Pulveraktivkohleanlage auf der Kläranlage Mannheim gab Dipl.-Ing. *Andreas Hein* von der dortigen Stadtentwässerung. „Danke, dass es Sie gibt!“ adressierte er an das Team des Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW. In der zunächst für die Teilstrombehandlung ausgelegten PAK-Anlage werden seit Mitte 2016 im Dauerbetrieb 90 Prozent des biologisch gereinigten Abwassers behandelt. Mit einem Monitoring von männlichen Regenbogenforellen konnte eine signifikante Reduzierung der östrogenen Wirkung des Abwassers durch die zusätzliche Behandlung des Abwassers mit Aktivkohle nachgewiesen werden. „Das hat uns mehr gezeigt als alles andere“, sagt Andreas Hein. Sein Fazit: „Es gilt, für die Zukunft den Anstieg der Spurenstoffkonzentration in unseren Wasservorkommen zu stoppen. Denn kein Wissenschaftler kann sagen, welche Langzeitwirkungen sich auf die Lebewesen und Biotope ergeben.“

Weitere Beispiele aus Forschung, Technik und Praxis

Dr. *Verena Höckele* vom Projektträger Karlsruhe PTKA berichtete über das inzwischen abgeschlossene Bundesforschungsprojekt „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf – RiSKWa“ und über die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis. Dr.-Ing. *Demet Antakyali* vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe. NRW erläuterte, wie Machbarkeitsstudien zur Entscheidungsfindung über die Notwendigkeit und Umsetzung eines Verfahrens zur gezielten Spurenstoffelimination beitragen können. Einblicke in das Auswahlverfahren für eine Spurenstoffelimination des Gewässerschutzverbandes der Region Zugersee-Küssnachtersee-Ägerisee in der Schweiz gab Dr.-Ing. *Knut Leikam*, Pöyry Schweiz AG. Über die baulichen und betrieblichen Aspekte beim Einsatz von granulierter Aktivkohle informierte Dr.-Ing. *Andreas Nahrstedt* vom Rheinisch-Westfälischen Institut für Wasserforschung, und Dr. *Christian Abegglen* vom Klärwerk Werdhölzli in Zürich berichtete über die Erfahrungen bei Planung und Bau der dortigen Ozonung.

Letztendlich eine politische Entscheidung

Prof. em. Dr. *Helmut Kroiss* (Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien), Präsident der International Water Association, ordnete in seinem Impulsvortrag die Spurenstoffthematik in einen internationalen Kontext ein. Für die Mehrzahl der Weltbevölkerung ist der Zugang zu Trinkwasser generell das Problem, ebenso wie eine geregelte Entsorgung des Abwassers. Das mitteleuropäische Prinzip der Vorsorge ist laut Kroiss weltweit eher die Ausnahme, und er selbst plädiert für eine differenzierte Herangehensweise an die Spurenstoffproblematik. So sei die Kosten-Nutzen-Frage der Spurenstoffeliminierung nicht geklärt: „Wir kennen den Nutzen nicht.“ Die Technologie selbst hält er nicht für den limitierenden Faktor, sondern die Klärung der Frage, ob eine Spurenstoffentfernung bei allen Anlagen notwendig ist. Im Bereich des Bodensees sieht Kroiss nach derzeitigem Stand des Wissens keine Gefährdung des Trinkwassers durch Spurenstoffe: Abwasser mache nur ein Prozent des Zuflusses zum See aus, der Verdünnungseffekt sei hoch und eine Spurenstoff-Entfernung aus dem Abwasser im Einzugsbereich daher nicht erforderlich. Mit Verweis auf das sechste Sustainable Development Goal der UN ist für Kroiss die gesicherte Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung für jedermann absolut vorrangig. „Welches Risiko wir auf uns nehmen, ist immer eine politische Entscheidung“, so Kroiss.

VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“
www.micropoll.ch

Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW
www.kompetenzzentrum-mikroschadstoffe.de

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg
www.koms-bw.de

Autorin

Susanne Hartwein
Marshallstraße 150
89231 Neu-Ulm

7. KomS-Technologieforum Spurenstoffe

Sophie Zawadski (Stuttgart)

Am 6. Oktober 2016 fand im Eventhaus Vetter in Lahr das 7. KomS-Technologieforum Spurenstoffe statt, veranstaltet vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS). Die insgesamt 132 Teilnehmer konnten sich bei der Veranstaltung einen Überblick über den Stand zum Thema „Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg" verschaffen. Die zwölf Aussteller rundeten das Informationsangebot ab. Im Anschluss an das Tagungsprogramm konnte das Klärwerk Lahr besichtigt werden, das als weltweit erstes Klärwerk ein Verfahren zur Spurenstoffelimination mit nachgeschaltetem Tuchfilter betreibt.

Ausgebucht – 132 Teilnehmer

Eröffnet wurde die Veranstaltung durch die Begrüßungsworte von *Jürgen Bolder*, stellvertretender Vorsitzender des DWA-Landesverbands Baden-Württemberg. Er wies darauf hin, dass in Baden-Württemberg bereits einige Kläranlagenbetreiber auf freiwilliger Basis eine Stufe zur Spurenstoffelimination gebaut haben bzw. sich aktuell in Bau oder Planung einer solchen Anlage befinden. Zudem stellte er Ministerialrat *Joachim Eberlein* vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg als Vertretung des Landes vor sowie Dr.-Ing. *Steffen Metzger* und *André Hildebrand* vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS BW) und Prof. Dr.-Ing. *Helmut Kapp*, der die Moderation der Veranstaltung übernahm.

In einem Grußwort wies *Tilmann Petters*, Bürgermeister der Stadt Lahr, auf die Bedeutung hin, nachhaltige Technologien zu unterstützen. Er teilte mit, dass der Bau des innovativen Verfahrens zur Spurenstoffelimination des Klärwerks Lahr mit Fördermitteln der EU und dem Land unterstützt wurde.

Spurenstoffstrategie in Baden-Württemberg

Im ersten Vortragsblock berichtete zunächst *Joachim Eberlein* über die Spurenstoffstrategie in Baden-Württemberg. Das Konzept des Landes stützt sich auf zwei Säulen. Zum einen muss zur Vermeidung des Eintrags von Spurenstoffen an der Quelle und bei der Verwendung angesetzt werden, zum anderen setzt das Land Baden-Württemberg auf den Ausbau von Kläranlagen. Joachim Eberlein erläuterte im Folgenden das bisherige Vorgehen zur Spurenstoffthematik in Baden-Württemberg. Nach langjährigen Untersuchungen auf der Kläranlage Steinhäule in Neu-Ulm wurde 2010 die erste Anlage zur Spurenstoffelimination in Mannheim mit einer Teilstrombehandlung in Betrieb genommen. Im Jahr 2012 wurde dann das KomS BW gegründet. Seit Februar 2015 ist die größte Aktivkohleanlage in Europa auf der Kläranlage Steinhäule in Neu-Ulm in Betrieb. Insgesamt sind im Jahr 2016 bereits zwölf Kläranlagen in Baden-Württemberg mit einer Stufe zur Spurenstoffelimination ausgerüstet.

Zudem verwies Joachim Eberlein auf den Bericht zum „Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg", der von der LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) 2014 veröffentlicht wurde. Dieser beinhaltet die Ergebnisse aus Untersuchungen von sechs Kläranlagen und 17 Fließgewässern auf 86 Spurenstoffe, die vor allem mit dem häuslichen Abwasser in die Gewässer eingetragen werden.

Ein weiterer Inhalt des Vortrags waren außerdem erste Ergebnisse der Bestandsaufnahme zur Spurenstoffsituation in kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg. Bei dieser Messkampagne wurden 40 Kläranlagen in Baden-Württemberg auf das Vorkommen von 50 Substanzen und deren Entfernung in konventionellen Klärprozessen hin untersucht. Diese Ergebnisse zeigen, dass Handlungsbedarf gegeben ist und Joachim Eberlein sicherte zu, dass das Land Baden-Württemberg den Ausbau von Kläranlagen um eine Stufe zur Spurenstoffelimination weiter unterstützen wird.

Im folgenden Vortrag berichteten *André Hildebrand* und Dr.-Ing. *Steffen Metzger* von den Erfahrungen aus dem fünfjährigen Bestehen des KomS BW. Zunächst gab Steffen Metzger, Leiter des KomS BW, einen Einblick in den Status Quo der Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg. Im Jahr 2016 befinden sich zwölf Aktivkohleanlagen in Betrieb, elf davon werden mit einem Verfahren mit Pulveraktivkohle betrieben. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der Reinigungsleistung der verschiedenen Anlagen untereinander. Zudem befinden sich fünf weitere Kläranlagen in

Planung oder Bau. Darüber hinaus wurden für weitere ca. 20 Kläranlagen Machbarkeitsstudien erstellt. Steffen Metzger erwähnte im Folgenden die Handlungsempfehlungen, die in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg erarbeitet wurden. Das Dokument enthält Empfehlungen für die Vorgehensweise zur Erhebung der Spurenstoffsituation wie auch zur Betriebsüberwachung der Spurenstoffelimination bei der Erweiterung einer Kläranlage um eine Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg. Zudem informierte er über eine Umfrage zu Betriebserfahrungen auf Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination. Diese Umfrage zeigte, dass im Wesentlichen der Betriebsaufwand als gering eingeschätzt wurde und die Betreiber sich grundsätzlich positiv über ihre Erfahrungen äußern.

André Hildebrand berichtete anschließend über die Öffentlichkeitsarbeit des Kompetenzzentrums und verwies hierbei auf die Homepage des KomS BW. Informationen, wie die Steckbriefe der Kläranlagen mit einer Stufe zur Spurenstoffelimination, die Projektmappe des KomS BW wie auch die Handlungsempfehlungen und weitere Informationen können über die Homepage abgerufen werden. Den Austausch von Wissen und Erfahrungen unterstützte das KomS BW durch Fachgespräche, Kongresse und Foren sowie durch die Sondernachbarschaft Spurenstoffe. Zudem betonte André Hildebrand den Erfahrungsaustauch mit den Kollegen aus der Schweiz und Nordrhein-Westfalen.

Im letzten Vortrag des Blocks referierte *Gert Schwentner* (Stadt Sindelfingen) über die Betriebserfahrungen und Kostenbetrachtung aus fünf Jahren Aktivkohlebehandlung in Sindelfingen. Die Kläranlage Böblingen-Sindelfingen hat eine Ausbaugröße von 250 000 EW. Der Ablauf der Kläranlage macht einen Anteil von rund 80 % des Gewässers aus, weshalb die Gewässergüte im Wesentlichen von der Reinigungsleistung der Kläranlage abhängig ist. In der 2011 fertiggestellten Adsorptionsstufe kann ein Teilstrom von 1000 L/s Abwasser behandelt werden, womit über 80 % der Jahresabwassermenge gezielt mit frischer Aktivkohle behandelt werden. Die Betriebserfahrungen zeigen, dass das Absetzverhalten des Aktivkohleschlamms sehr gut ist und im Ablauf des Sedimentationsbeckens ein Feststoffgehalt von weniger als 10 mg/L AFS vorliegt. Zudem können neben den Spurenstoffkonzentrationen auch der CSB- und Phosphorwert im Kläranlagenablauf durch die Adsorptionsstufe verbessert werden. Durch die Kapitalkosten von 120 000 €/a und die Betriebskosten von 380 000 €/a ergibt sich für die verbesserte Abwasserreinigung eine Erhöhung der Abwassergebühr um 0,07 €/m³ bzw. 2,85 €/(EW × a).

Beurteilung der Spurenstoffelimination und Verfahren für kleine Kläranlagen

Den zweiten Block der Veranstaltung eröffnete *Annette Rößler* (KomS BW) mit ihrem Vortrag über die Anwendung des SAK_{254} zur Beurteilung der Spurenstoffelimination. Zur Überprüfung der Spurenstoffelimination können aufgrund des hohen Aufwands Spurenstoffanalysen nicht durch die Kläranlagenbetreiber direkt durchgeführt werden, wodurch keine

Erfahrungsaustausch in Pausengesprächen

zeitnahe Kontrolle möglich ist. Daher bedarf es eines Ersatzparameters, mit dessen Hilfe der Betrieb der zusätzlichen Reinigungsstufe dokumentiert werden sowie auf die Spurenstoffelimination rückgeschlossen werden kann. In Laborversuchen zeigte sich, dass anhand der Bestimmung des prozentualen SAK_{254}-Rückgangs auf die prozentuale Verringerung einzelner Spurenstoffe geschlossen werden kann. Zudem zeigte sich, dass es für die Sicherstellung einer konstanten Reinigungsleistung einer auf den SAK_{254} abgestimmten Dosiermenge an Pulveraktivkohle bedarf. Eine Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf den Durchlaufbetrieb ist prinzipiell gegeben, jedoch sind hierzu noch weitere Erfahrungen notwendig.

Johanna Neef (KomS BW) berichtete über Untersuchungen zur simultanen Anwendung von Pulveraktivkohle. Dieses Verfahren, bei dem Pulveraktivkohle direkt in die biologische Stufe dosiert wird, eignet sich für die Elimination von Spurenstoffen auf kleinen Kläranlagen. Auf der Kläranlage Emmingen-Liptingen mit der Größenklasse 3 wurde dieses Verfahren erstmals in Baden-Württemberg getestet. Johanna Neef stellte die Ergebnisse von begleitenden Laborversuchen vor. Diese haben gezeigt, dass bei der simultanen Anwendung die Pulveraktivkohle gut in den belebten Schlamm eingebunden wird und somit die Menge an Pulveraktivkohle im Ablauf der Nachklärung primär von der Abtrennung des belebten Schlamms bestimmt ist. Die Absetzeigenschaften des Schlamms wurden durch die Pulveraktivkohle nicht nachteilig beeinflusst. Bezüglich der Spurenstoffelimination hat sich gezeigt, dass bei den Stoffen Diclofenac und Carbamazepin bei der simultanen Anwendung eine etwas höhere Pulveraktivkohlemenge eingesetzt werden muss, um den gleichen Eliminationsumfang zu erzielen wie bei einem nachgeschalteten Adsorptionsverfahren.

Dr. *Christian Locher* (Jedele und Partner) stellte in seinem Vortrag den Vergleich der Anwendung von granulierter Aktivkohle (GAC) und Pulveraktivkohle (PAC) auf der Kläranlage Emmingen-Liptingen mit einer Ausbaugröße von 7500 E vor. Hierbei kamen jeweils großtechnisch die Anwendung von granulierter Aktivkohle in einem kontinuierlich betriebenen Filter und die simultane Anwendung von Pulveraktivkohle zum Einsatz. Es zeigte sich, dass die Elimination von Stickstoff und Phosphor im Filter bei der Anwendung von granulierter Aktivkohle ähnlich der Elimination im Sandfilter ist. Zu Beginn der GAC-Anwendung zeigte sich eine umfangreichere CSB-Verringerung. Der Betriebsaufwand für die Anwendung von granulierter Aktivkohle in einem kontinuierlich betriebenen Filter entspricht dem Aufwand eines mit Sand betriebenen kontinuierlich betriebenen Filters. Die simultane Anwendung von Pulveraktivkohle zeigte keine Auswirkung auf die Elimination von Stickstoff und Phosphor in der Kläranlage. Zudem resultierte aus der Pulveraktivkohlezugabe nur ein geringfügig niedrigerer CSB-Wert im Kläranlagenablauf. Es konnten darüber hinaus keine Auswirkungen auf den Schlammindex und die Entwässerbarkeit des Schlamms festgestellt werden. Bei der simultanen Dosierung der Pulveraktivkohle konnte ab einer Dosiermenge von 15–20 mg/L PAC eine Entnahme von über 80 % für alle analysierten Stoffe erreicht werden. Bei der Anwendung von granulierter Aktivkohle zeigten sich stoffspezifisch sehr unterschiedliche Entnahmen. Bis zu 25 000 Bettvolumen war jedoch keine Änderung der Entnahme zu verzeichnen, sodass mit einer hohen Standzeit des Filters zu rechnen ist. Ein Kostenvergleich der beiden Verfahren zeigt, dass die Implementierung einer simultanen Dosierung von Pulveraktivkohle ohne den Bau eines Sandfilters günstiger ist (8,4 Ct/m³) als die Implementierung eines kontinuierlichen GAC-Filters (11,7–13,1 Ct/m³), die Kosten für das simultane Verfahren mit Bau eines Sandfilters jedoch höher sind (14,6 Ct/m³). Beide Verfahren erwiesen sich für die Spurenstoffelimination auf kleinen Kläranlagen als geeignet, entscheidend sind die jeweiligen Randbedingungen. Bei bereits zur Verfügung stehenden kontinuierlichen Sandfiltern fallen zum Beispiel nur geringfügige Kosten zur Umrüstung an, sodass dieses Verfahren deutlich günstiger wird.

Dr.-Ing. *Werner Maier* (iat) referierte anschließend über den Einsatz granulierter Aktivkohle zur Spurenstoffeliminationen auf der Kläranlage Westerheim. Der Ablauf der Kläranlage Westerheim versickert direkt im Karstgestein und gelangt damit unmittelbar in das Grundwasser. Das Ziel des Einsatzes der granulierten Aktivkohle ist die Spurenstoffentnahme und damit der Schutz des Grundwassers und der Trinkwasserversorgung. Die Anlage ist auf eine Abwassermenge von 22 L/s (Q_M = 55 L/s) ausgelegt, damit können in zwei Filtereinheiten mehr als 90 % der Jahreswassermenge behandelt werden. Ein Endausbau auf vier Filtereinheiten ist möglich.

Exkursion zur Kläranlage Lahr

Anwendung von Ozon

Im dritten Vortragsblock berichtete *Fabian Soltermann* (eawag) über das Oxidationsnebenprodukt Bromat und inwieweit dieses ein Problem bei der Abwasserozonung darstellt. Er stellte eine Empfehlung für die Abklärung der Fragestellung, ob eine Ozonung für einen Kläranlagenstandort geeignet ist, vor. Hierbei sollte zunächst das Einzugsgebiet auf mögliche Bromidquellen hin betrachtet werden. Langzeitmessungen haben gezeigt, dass durch Massenbilanzen gute Abschätzungen getroffen werden können. Im weiteren Verlauf des Abklärungs-

verfahrens sollten Bromid-Messungen im geplanten Zulauf zur Ozonung durchgeführt werden, um zu eruieren welche Bromatkonzentrationen sich bei der Ozonierung des Abwassers einstellen werden. Die Betrachtung der vorliegenden Bromidsituation sollte aufwendigeren Biotests vorausgehen, da diese gegebenenfalls hinfällig sein könnten.

Marc Böhler (eawag) stellte im folgenden Vortrag die Möglichkeiten zur biologischen Nachbehandlung nach einer Ozonung vor. Zum Abbau der bei der Ozonung entstehenden Transformationsprodukte und zur Reduzierung derer ökotoxikologischen Wirkung können grundsätzlich alle biologisch aktiven Verfahren herangezogen werden. Er berichtete über das Projekt ReTreat, in dem einige alternative Verfahren auf ihre Eignung und Effizienz hin im Vergleich zur Sandfiltration untersucht wurden. Bei der Ozonung erhöht sich die Konzentration an assimilierbarem organischen Kohlenstoff (AOC). Durch einen Filter mit granulierter Aktivkohle wie auch durch einen Sandfilter konnte eine Verringerung des AOC in der Nachbehandlung erreicht werden. Durch einen Festbettfilter, ein Wirbelbett und einen Tuchfilter wurde nur eine geringe AOC-Verringerung erreicht. Die Elimination des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) war bei dem Verfahren mit granulierter Aktivkohle mit der Elimination im Sandfilter vergleichbar, mit dem Festbett und Wirbelbett konnten nur sehr geringe Entnahmen erlangt werden. Bezüglich der Spurenstoffe zeigten der Sandfilter, das Festbett und das Wirbelbett keine weitere Reduzierung.

Innovationen

Der letzte Vortragsblock wurde von Dr. *Manfred Tschui* (Holinger AG) mit seinem Vortrag über die kombinierte Anwendung von Ozon und Pulveraktivkohle eröffnet. Im Zuge des Ausbaus der ARA Basel soll auch eine Stufe zur Elimination von Spurenstoffen implementiert werden. Nachdem Vorversuche gezeigt hatten, dass eine Kombination der Verfahren mit Ozon und Pulveraktivkohle von Vorteil sein kann, wurden auf der ARA Basel Pilotversuche durchgeführt. Es zeigte sich, dass durch das kombinierte Verfahren die in der Schweiz geforderte Elimination von 80 % dauerhaft eingehalten werden kann. Da einige Stoffe besser mit Pulveraktivkohle, andere besser mit Ozon entfernt werden, kann durch die kombinierte Anwendung eine große Bandbreite an Stoffen eliminiert werden. Zudem haben die Untersuchungen gezeigt, dass die Betriebskosten der kombinierten Anwendung geringer sind als bei der Erzielung der gleichen Reinigungsleistung mit einer reinen Pulveraktivkohleanwendung. Vorteil des kombinierten Verfahrens gegenüber der günstigeren Variante Ozonung ist die geringere Ozondosierung und damit eine geringere Gefahr der Nebenproduktbildung.

Im folgenden Vortrag berichtete Dr.-Ing. *Tobias Morck* (Weber-Ingenieure) anhand aktueller Beispiele über Planung, Ausführung und Bau von Tuchfiltern zur Nachbehandlung bei der Spurenstoffelimination. Er wies darauf hin, dass die Filtertechnik möglichst früh ausgewählt werden muss, da diese aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung elementare Auswirkungen auf den Baukörper haben. Zudem beeinflusst die Auswahl des Filtrationsverfahrens die Verfahrenstechnik zur Spurenstoffelimination. So kann zum Beispiel eine Tuchfiltration nicht in Verbindung mit einer Ozonung eingesetzt werden, da die hierfür nötige biologische Wirkung nicht vorhanden ist. Eine Tuchfiltration zur Abtrennung von Pulveraktivkohle kann kosten- und platzsparend integriert werden.

Im letzten Vortrag der Veranstaltung gab Dr.-Ing. *Gereon Anders* (Abwasserverband Raumschaft Lahr) Einblicke in die Betriebserfahrungen des Klärwerks Lahr mit der Anwendung eines Tuchfilters für die Nachbehandlung des Abwassers nach einer Adsorptionsstufe zur Spurenstoffelimination. Es zeigte sich, dass der Tuchfilter eine geeignete Alternative zum Sandfilter darstellt. Schlechte Ablaufwerte bezüglich der Trübung ergaben sich lediglich durch feindisperses Eisen aus der biologischen Stufe, das die Adsorptionsstufe passierte und auch nicht vollständig durch den Tuchfilter zurückgehalten wurde. Im Vergleich zur Simultanfällung konnten die P-Ablaufwerte bei vergleichbaren Fällmitteldosiermengen deutlich verbessert werden.

Autorin

Dipl.-Ing. Sophie Zawadski
Universität Stuttgart
Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

E-Mail: sophie.zawadski@koms-bw.de KA

Zu beziehen bei:

DWA-Bundesgeschäftsstelle
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef
Tel. 0 22 42/872-333
Fax 0 22 42/872-100
E-Mail: info@dwa.de
DWA-Shop: www.dwa.de/shop KA

Neu erschienen

Merkblatt DWA-M 618 „Erholung und Freizeitnutzung an Seen – Voraussetzungen, Planung, Gestaltung“

Seen und ihr unmittelbares Umfeld bieten durch die starke Gliederung ihrer Lebensräume artenreiche und gleichzeitig auch sehr empfindliche Strukturen von hohem Wert für die Biosphäre, aber auch eine hohe Attraktivität für den Menschen. Mit der seit den Nachkriegsjahren erheblich gestiegenen und noch immer steigenden Freizeit der Bürger in Deutschland nimmt der Druck auf diese Lebensräume überproportional zu. Gleichzeitig werden durch Auskiesung und durch Einstau in den ehemaligen Braunkohletagebaugebieten Seeflächen neu geschaffen und ebenfalls einer Freizeitnutzung zugeführt. Unter diesen Konstellationen kann nur eine fundierte Fachplanung die Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung und Steuerung der Aktivitäten an den betroffenen Gewässern schaffen. Naturschutz und das berechtigte Anliegen der Bevölkerung, Raum für Erholung und Freizeit zu haben, sind abzugleichen. Dabei geht es nicht darum, das eine auszuschließen, um das andere zu stärken, sondern um die Schaffung der Vereinbarkeit von Gewässerschutz und Freizeitnutzung.

Hinweise für Fachplanungen dieser Art bietet das nun neu vorliegende Merkblatt DWA-M 618 „Erholung und Freizeitnutzung an Seen – Voraussetzungen, Planung, Gestaltung“. Es aktualisiert die bereits 1996 als Merkblatt DVWK-M 233 erschienene erste Fassung der Abhandlung mit dem Titel „Erholung und Freizeitnutzung an Seen – Voraussetzung, Planung, Gestaltung“. Die Notwendigkeit zur Überarbeitung ergab sich aus dem ausgeprägten Wandel der rechtlichen Vorgaben in den letzten Jahren, der weiter fortschreitenden Diversifizierung der Freizeitsportarten und der Intensivierung der Freizeitnutzung von Seen. Fallbeispiele nahmen in der ersten Ausgabe breiten Raum ein. Auf deren nicht immer übertragbare Information wurde zugunsten einer ausführlicheren Darstellung der Beurteilungs- und Lenkungsmöglichkeiten für Freizeitaktivitäten an Seen verzichtet.

Die DWA-Arbeitsgruppe GB-3.2 „Erholung und Freizeitnutzung an Seen“ will mit dem vorliegenden Merkblatt eine Arbeitshilfe bieten für Konzepte zur Planung von naturverträglichen und konfliktarmen Freizeitseen bzw. Freizeitnutzungen an Seen. Es bietet Anregungen, Hilfen und Argumente bei der Planung von Freizeitnutzungen an Seen und deren Infrastrukturen. Es ist gleichermaßen geeignet bei Fragen zur Bewertung, Prüfung und Genehmigung bei der Neuanlage von Seen (zum Beispiel Baggerseen, Talsperren, Tagebauseen) wie auch für die Sanierung und Restaurierung vorhandener Seen.

Die Empfehlungen dieses Merkblatts richten sich an all diejenigen, die mit der Planung, Ausgestaltung, Betreuung und dem Monitoring von Seen befasst sind. Dies sind vor allem Fachleute der Wasserwirtschaft, des Wasserbaus, der Landschaftsplanung und des Naturschutzes sowie der Umwelt- und Naturschutzverbände. Ebenso sind die Vertreter der Wassersportorganisationen, aber auch die Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft Zielgruppe des vorliegenden Merkblatts. Und schließlich soll es in der übrigen Bevölkerung für Verständnis und Akzeptanz für die naturschützerischen Notwendigkeiten im Lebensraum See werben.

Merkblatt DWA-M 618 „Erholung und Freizeitnutzung an Seen – Voraussetzungen, Planung, Gestaltung“
September 2014, 65 Seiten
ISBN 978-3-944328-75-1
Ladenpreis: 78 Euro
fördernde DWA-Mitglieder: 62,40 Euro

Zu beziehen bei:

DWA-Bundesgeschäftsstelle
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef
Tel. 0 22 42/872-333
Fax 0 22 42/872-100
E-Mail: info@dwa.de
DWA-Shop: www.dwa.de/shop KA

Landesverbände

Baden-Württemberg

KomS-Technologieforum Spurenstoffe in Neu-Ulm

Am 17. Juli 2014 fand das KomS-Technologieforum *Spurenstoffe* auf dem Klärwerk Steinhäule in Neu-Ulm mit rund 100 Teilnehmern statt.

Nicht nur die Spurenstoffelimination mit Pulveraktivkohle auf Kläranlagen in Baden-Württemberg war an diesem Tag ein wichtiger Gesprächspunkt. Das Vortragsspektrum deckte unter anderem auch das Thema Spurenstoffelimination mittels granulierter Aktivkohle sowie Dimensionierungsansätze für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe ab. Außerdem wurden aktuelle Projekte zur Umsetzung der 4. Reinigungsstufe in Baden-Württemberg an diesem Tag vorgestellt.

Für Interessierte wurde am Vortag eine Besichtigung des Klärwerks Steinhäule samt der noch im Bau befindlichen PAC-Anlage angeboten. Im Anschluss fand ein Abend in geselliger Runde statt.

KOMS
KOMPETENZZENTRUM SPURENSTOFFE-BW

KA

Neue UT-Fachkräfte in Baden-Württemberg

Am 27. Juni 2014 fand die Verabschiedungsfeier der UT-Fachkräfte für Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Kreislauf- und Abfallwirtschaft an der Kerschensteinerschule in Stuttgart-Feuerbach statt. Insgesamt konnten 60 Damen und Herren die Prüfung zur UT-

Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt

Kongress in Mannheim

André Hildebrand (Stuttgart), Christiane Prögel (Wernau/Neckar) und Svenja Baumgärtner (Mannheim)

Am 11. Juli 2013 fand im Congress Center Rosengarten Mannheim der Kongress „Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt“ statt. Veranstaltet wurde das Symposium vom Landesverband Baden-Württemberg der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) gemeinsam mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und der Landesgruppe Baden-Württemberg des DVGW.

Unter der Leitung von Stadtdirektor *Wolfgang Schanz*, Dr. *Josef Klinger*, Prof. Dr.-Ing. *Heidrun Steinmetz* und Ministerialdirigent *Peter Fuhrmann* hatten die rund 200 Teilnehmer die Möglichkeit, sich in drei Themenblöcken über Risiken und deren Bewertung sowie strategische Überlegungen und konkrete Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Spurenstoffen zu informieren. Zu der Veranstaltung waren neben dem Fachpublikum aus der Wasserwirtschaft auch Vertreter der Umweltverbände, der Baden-Württembergischen Ärzte- und Apothekerkammer und des Verbandes der Chemischen Industrie eingeladen. Eingeleitet mit einem Impulsvortrag von Prof. Dr. *Hans-Georg Kräusslich* von der Universität Heidelberg, fand abschließend eine Podiumsdiskussion unter der Leitung von Ministerialdirigent *Peter Fuhrmann* vom Umweltministerium Baden-Württemberg statt, in der vor allem gesamtgesellschaftlich relevante Denkanstöße erörtert wurden. In Ergänzung zum Veranstaltungsprogramm des Kongresses boten zwölf Unternehmen, darunter Anlagenbauer, Produktlieferanten und Planungsbüros, in einer Fachausstellung technische Informationen. Im Rahmen einer Fachexkursion zur Kläranlage Mannheim am 10. Juli 2013, dem Vortag der Konferenz, konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer darüber hinaus Einblick in die Praxis der Spurenstoffelimination mittels Pulveraktivkohle gewinnen.

Eröffnung des Kongresses durch den DWA-Landesverbandsvorsitzenden Wolfgang Schanz

Welche Auswirkungen hat menschliches Handeln auf die aquatische Umwelt?

Dem komplexen Thema der Spurenstoffe und den Auswirkungen des menschlichen Handelns auf die aquatische Umwelt widmete sich als erster Redner Prof. Dr.-Ing. *Hans Mehlhorn*, Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Auf die Vielschichtigkeit der Thematik und die Vielzahl der in der EU registrierten Chemikalien verweisend, beleuchtete Mehlhorn die Problematik anhand von elf Thesen. Unter anderem verwies er darauf, dass der Mensch mit seinen Aktivitäten stets einen „Fußabdruck“ hinterlasse, und jeder Stoff, der in die Umwelt entlassen und nicht vollständig mineralisiert werde, dort vorhanden sei – „also auch in unseren Gewässern“. Weiterhin betonte Mehlhorn die Bedeutung der Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit, die er beispielsweise im Hinblick auf die Bewertung von Spurenstoffen, differenziert nach öko- bzw. humantoxikologischen Auswirkungen, forderte. Ein verstärktes Augenmerk müsse künftig der Untersuchung von Abbau- und Transformationsprodukten gelten, da diese im Vergleich zu den ursprünglich in die Umwelt eingebrachten chemischen Substanzen nicht weniger, im Zweifelsfall sogar noch stärker toxikologisch relevant seien. Seinen Vortrag schloss der Referent mit dem Appell, einen gesellschaftlichen Konsens darüber einzufordern, „was in Zukunft in Kenntnis der Auswirkungen auf die Gewässer an Nutzung von chemischen Substanzen noch zu akzeptieren ist und was nicht. Und schließlich müssen wir auch darauf hinweisen, dass alle Maßnahmen in den Kläranlagen und den Trinkwasser-Aufbereitungsanlagen die Gesellschaft Geld kosten. Es muss der Öffentlichkeit bewusst gemacht werden, dass es ein hundertprozentiges Schutzniveau nicht geben kann, dass es aber an uns allen liegt, was wir unseren Gewässern zumuten.“

Welche Risiken für die aquatischen Ökosysteme gehen von Spurenstoffen aus?

Im nächsten Vortrag charakterisierte Prof. Dr. *Rita Triebskorn*, Universität Tübingen, die Risiken für aquatische Ökosysteme durch das Vorhandensein von Spurenstoffen in Gewässern. Bei der Charakterisierung der Risiken gehe es darum, eine von den jeweiligen Stoffen ausgehende potenzielle Gefahr für Freilandsysteme zu beschreiben. Effekte in aquatischen Ökosystemen müssten dabei ursächlich mit der Präsenz von Spurenstoffen in Zusammenhang gebracht werden. Die Herstellung entsprechender Kausalzusammenhänge sei allerdings vor dem Hintergrund komplexer Belastungen von Organismen in aquatischen Öko-

systemen kaum realisierbar. Wolle man Effekte, die sich in Ökosystemen manifestierten, ursächlich mit bestimmten Spurenstoffen (retrospektiv) in Verbindung bringen, so stehe man vor dem Problem, dass diese Spurenstoffe in der Regel in der Mischung sowie in Kombination mit anderen exogenen und / oder endogenen Stressoren auf Organismen wirkten. Auch wenn daher tatsächliche kausale Zusammenhänge unter Freilandbedingungen nur schwer ermittelt werden könnten, sei es dennoch möglich, anhand verschiedener Plausibilitätskriterien wahrscheinliche Verbindungen zwischen Ursachen und Wirkungen herzustellen. Triebskorn stellte in diesem Kontext das vom Land Baden-Württemberg geförderte Projekt „SchussenAktiv“ sowie das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf (RiSKWa)“ geförderte und vom Land Baden-Württemberg unterstützte Forschungsvorhaben „SchussenAktiv*plus*“ *vor,* in denen Freilandbeprobungen mit Laborproben kombiniert und so ökologisch relevante Aussagen – zum Beispiel durch Modellberechnungen von der Toxizität von Mischsubstanzen – möglich wurden. Nicht zuletzt sprächen erste Ergebnisse aus diesen Projekten dafür, dass bei zahlreichen Spurenstoffen, wenngleich nicht allen, von einem Risiko für aquatische Ökosysteme auszugehen sei.

Wie stellt sich die Spurenstoffthematik aus Sicht der Wasserversorgung dar?

Über die Anforderungen und Grenzen bei der Spurenstoffthematik in der Wasserversorgung referierte Dr.-Ing. *Martin Emmert*, Zweckverband Landeswasserversorgung (LW), Stuttgart. Ausgang seiner Ausführungen war die Tatsache, dass die LW rund ein Drittel ihres Rohwassers aus der Donau bezieht; der Rest wird durch Grund- und Quellwässer bereitgestellt. Der Eintrag von Mikroschadstoffen in die Gewässer geschehe, so Emmert, auf vielfältige Weise: Neben Abwasserkanälen, Verkehr, Siedlungstätigkeit und Landwirtschaft seien auch Haushalte, Industrie und Gewerbe usw. verantwortlich. Das Ziel der LW liege in der Gewinnung und Vertiefung von Kenntnissen zur Spurenstoffthematik, insbesondere auch der raschen Detektion neuer Substanzen. Emmert zeigte Anforderungen und Grenzen der Spurenstoffthematik im Kontext Trinkwasserqualität auf und ging dabei auf verschiedene Verfahren zur Elimination diverser Stoffe aus dem Rohwasser – bevorzugt durch Ozonung in Kombination mit einem Mehrschicht- oder Aktivkohlefilter sowie Nanofiltration und Umkehrosmose – ein. Zusammenfassend verwies Emmert darauf, dass für die Optimierung der Trinkwasseraufbereitung eine Kette von Maßnahmen zur systematischen Verringerung bzw. Verhinderung des Eintrags von Spurenstoffen in die Gewässer nötig sei. Hier wiederum dürften nicht nur die Betreiber von Abwasseranlagen in die Pflicht genommen, vielmehr müsse auch bei Herstellern, Betrieben und Verbrauchern angesetzt werden – zum Beispiel durch Verbot bestimmter Substanzen, Reinigung von Betriebsabwässern vor Einleitung in die Kanalisation sowie Aufklärung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit.

Aufmerksame Zuhörer verfolgen den Kongress.

Umweltqualitätsziele für prioritäre Stoffe – wo liegen die Verbesserungspotenziale?

Christiane Heiss, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, befasste sich in ihrem Vortrag mit der Ableitung und Qualitätssicherung von Umweltqualitätsnormen (UQN) bzw. Environmental Quality Standards (EQS) und erläuterte diese aus Behördensicht. Umweltqualitätsnormen seien fachlich begründete Werte, bei denen die Konzentrationen der Stoffe in Gewässern unterhalb der Grenze der Gefährdung für Mensch und Umwelt lägen, und stützten sich auf experimentell ermittelte Wirkungen. Dabei bestimme der Wert für das empfindlichste Schutzgut die Norm bei den UQN. Die Relevanzprüfung zur Bestimmung der prioritären

Intensive Diskussion während der Vorträge

Stoffe finde auf EU-Ebene auf Basis von Messdaten statt. Verbesserungspotenzial liege eindeutig beim Verfahren zum systematischen Monitoring der heute relevanten Stoffe, der Qualität von Veröffentlichungen und der systematischen Verringerung der Datenlücken; insgesamt bestehe mehr Standardisierungs- und Kooperationsbedarf innerhalb der Europäischen Kommission.

Wie hat sich die Spurenstoffanalytik in Gewässern entwickelt?

Über die Entwicklung der Spurenstoffanalytik und Konzentration von Spurenstoffen in Gewässern berichtete Dr. *Frank Sacher*, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe. Technische Fortschritte im Bereich der Analyseverfahren hätten dazu geführt, dass in den letzten Jahren immer mehr chemische Stoffe in verschiedenen Bereichen des Wasserkreislaufs (Abwasser, Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser) in immer geringeren Konzentrationen nachgewiesen werden können. Der Nachweis dieser Spurenstoffe stelle hohe Anforderungen an Wissenschaft und Gesellschaft hinsichtlich einer umfassenden Bewertung. Dabei kann Sacher zufolge aus dem analytischen Nachweis eines Spurenstoffes noch keine Aussage über dessen Wirkung auf aquatische Lebensgemeinschaften oder die menschliche Gesundheit abgeleitet werden. Der analytische Befund solle daher als Ausgangspunkt für eine wissenschaftlich fundierte Bewertung gesehen werden. Hierzu müssten Werkzeuge und Methoden entwickelt werden, die nicht nur die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der human- und ökotoxikologischen Forschung berücksichtigten, sondern auch gesellschaftlich akzeptiert würden. Sacher hob in diesem

Zusammenhang die Notwendigkeit raschen Handelns hervor.

Transformationsprodukte – welche Bedeutung haben sie für die Wasserqualität?

Im anschließenden Referat widmete sich Prof. Dr. *Thomas Ternes*, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, den zuvor bereits angesprochenen Transformationsprodukten (TP) und ihrer Bedeutung für die Wasserqualität. Neben den prioritären Schadstoffen der Wasserrahmenrichtlinie steige die Anzahl an nicht bewerteten Umweltchemikalien durch Transformation erheblich an. Bei Maßnahmen zur Minimierung der Belastung der Oberflächengewässer mit anthropogenen Spurenstoffen wie beispielsweise Strategien zur Verbesserung der Eliminationsleistung in der biologischen Stufe der Abwasserbehandlung oder durch die Nachbehandlung des geklärten Abwassers mittels Ozonung sei eine Entfernung der Ausgangssubstanzen nicht dem vollständigen Abbau (= Mineralisierung) gleichzusetzen. Die anthropogenen Spurenstoffe können im Abwasser durch mikrobielle Aktivität oder abiotische Prozesse in ihrer Struktur verändert und somit Transformationsprodukte gebildet werden. So entstehe während der Abwasserbehandlung aus gut bewerteten Ausgangssubstanzen ein Spektrum an TP mit weitgehend ungeklärtem ökotoxikologischen Risiko. Ternes ging auf die Komplexität solcher Transformationsprozesse im Hinblick auf Identifizierung, Messung und ökotoxikologische Bewertung der TP ein – eine Thematik, die neue Herausforderungen für die Bewertung organischer Mikroverunreinigungen in der aquatischen Umwelt darstelle.

Worauf zielt die IKSR-Strategie Mikroverunreinigungen ab und wie ist das Vorgehen?

Den Auftrag der Rheinministerkonferenz vom 18. Oktober 2007 und das damit verbundene Grundkonzept erläuterte *Ben van de Wetering*, Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), Koblenz: Die IKSR sei unter anderem beauftragt, eine „gemeinsame und umfassende Strategie zur Verringerung und Vermeidung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung in den Rhein“ zu erarbeiten. Wetering erläuterte zunächst das zugrunde liegende Vorgehen, bei dem zehn Stoffgruppen ausgewählt worden seien, für die anhand von Indikatorsubstanzen die Verbrauchs- und Anwendungsmengen, die Eintragspfade in die Gewässer, Messdaten aus Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser, Qualitätskriterien bzw. Vorschläge dazu und potenzielle Maßnahmen analysiert und in Auswertungsberichten zusammengefasst worden seien. Auf Basis dieser Daten habe man aus dem gesamten Maßnahmenspektrum zur Reduzierung der Einträge in die Gewässer (angefangen bei der Zulassung von Stoffen bis hin zu technischen Maßnahmen an zentralen Kläranlagen) für jede Stoffgruppe die

Die Podiumsdiskussion zeigt Potenziale und Perspektiven auf.

jeweiligen Möglichkeiten dargestellt. Aus den sich ergebenden Synergieeffekten – Maßnahmen also, die auf mehrere Stoffgruppen anwendbar seien – könnten Empfehlungen zur Vermeidung und Reduzierung der Belastung der aquatischen Umwelt und des Trinkwassers durch bestimmte (trink-)wasserrelevante Stoffe abgeleitet werden. Auch die Vermeidung und Verringerung von Mikroverunreinigungen aus sog. diffusen Quellen spiele in diesem Kontext eine Rolle. Wetering erläuterte in seinem Synthesebericht die konkrete Situation im Rhein-Einzugsgebiet und kam zu folgenden Schlussfolgerungen: Vor allem polare, schwer abbaubare Stoffe würden im Rohwasser von Trinkwasser-Gewinnungsanlagen gefunden und teils auch im Trinkwasser nachgewiesen. Den wichtigsten Eintragspfad für Mikroverunreinigungen stelle Abwasser aus dem Kläranlagenablauf dar. Auch im Hinblick auf die Strategie müsse es Ziel sein, die Emissionen von Mikroverunreinigungen in die Gewässer insgesamt zu verringern. Wetering erläuterte reduzierende Maßnahmen für vier verschiedene Bereiche: a) Maßnahmen an der Quelle, b) dezentrale Maßnahmen in Produktions- und Verarbeitungsbetrieben, c) zentrale Maßnahmen bei kommunalen Kläranlagen (Spurenstoffelimination durch Ozonung bzw. Einsatz von Aktivkohle), d) gezielte Information der Öffentlichkeit. Auf Basis der vorliegenden Schlussfolgerungen werde die IKSR Empfehlungen für Maßnahmen ausarbeiten.

Spurenstoffkonzept Baden-Württemberg – welches Fazit lässt sich bislang ziehen?

Ministerialrat *Hans Neifer*, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UMBW), Stuttgart, stellte das Spurenstoffkonzept Baden-Württemberg vor. Das Land habe im Sommer 2012 einen Spurenstoffbericht veröffentlicht. Darin werde auch der Sachstand hinsichtlich der Einführung neuer Technologien zur Spurenstoffelimination in kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg dargelegt. Derzeit befinden sich bereits sieben großtechnische Anlagen in Betrieb, weitere sieben in Bau oder Planung. Zur Verbesserung der Datenlage für Oberflächengewässer führe die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) Sonderuntersuchungen an ausgewählten Gewässern und Kläranlagen durch. Eine erste mit Messdaten validierte Stoffflussmodellierung habe u. a. gezeigt, dass das Schmerzmittel Diclofenac das größte Risikopotenzial aufweise. Szenarienanalysen hätten ergeben, dass die gesamte Fracht der Mikroverunreinigungen mit Ursprung in Baden-Württemberg mit dem Ausbau der acht größten Kläranlagen im Land zwar um ein Viertel reduziert werden könne, allein durch den Ausbau von Kläranlagen jedoch die Einhaltung der Umweltqualitätsnormen nicht zu gewährleisten sei. Neifer betonte die herausragende Bedeutung der kleinen Kläranlagen (< 10000 EW) im Land für den Schutz der aquatischen Ökosysteme; freilich sei eine zusätzliche Reinigungsstufe mit nicht unerheblichen Kosten verbunden. Ausführlich ging er zudem auf den aktuellen Stand und die Möglichkeiten zur Förderung des Ausbaus von Kläranlagen im Land ein und verwies dabei auf das vom Umweltministerium geförderte Kompetenzzent-

rum Spurenstoffe, das im April 2012 seine Arbeit aufgenommen hat. Als wichtige Bausteine in der Spurenstoffstrategie nannte der Referent u. a. die Sanierung undichter Abwasserkanäle sowie die Aufklärung der Bevölkerung über die richtige Entsorgung von Arzneimitteln. Zum Abschluss warf er einen Blick auf die Aktivitäten und Bewertungen in der EU und schloss seinen Vortrag mit der Einschätzung, das bisherige Konzept in Baden-Württemberg, den Ausbau von Kläranlagen in begründeten Fällen zu fördern, sei der richtige Weg.

Spurenstoffentnahme bei Kläranlagen: Wohin führt die Kosten-Nutzen-Diskussion?

Abschließend zeigte Dr.-Ing. *Steffen Metzger*, Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS BW), Stuttgart, die Kosten-Nutzen-Aspekte der Spurenstoffelimination bei Kläranlagen auf. Er ging zunächst auf die beiden derzeit realisierbaren Verfahrenstechniken ein – die Ozonung des Abwassers (wodurch die Spurenstoffe zu unbekannten Oxidationsprodukten transformiert werden) sowie die Aktivkohleadsorption (bei der sich die zu entfernenden Substanzen an die Aktivkohle anlagern und mit dieser aus dem Abwasser entnommen werden). Bei beiden Verfahren könnten einige der Substanzen mit relativ geringen Dosiermengen weitestgehend aus dem Abwasser entfernt werden; bei anderen Stoffen wiederum bedürfe es für denselben Eliminationserfolg der zwei- oder dreifachen Menge des jeweiligen Hilfsstoffes. Letztlich müsse in der Kostendiskussion auch berücksichtigt werden, dass die Spurenstoffelimination in Kläranlagen einen Baustein bei der Verminderung des Eintrags von Mikroverunreinigungen in die aquatische Umwelt darstelle. Selbst beim vollständigen Rückhalt von Spurenstoffen in den Kläranlagen werde es nicht gelingen, den Eintrag dieser Substanzen in die Gewässer komplett zu unterbinden. Somit bleibt Metzger zufolge letztendlich die Frage, welcher finanzielle Aufwand für die Spurenstoffelimination aus dem Abwasser gerechtfertigt werden könne. Die bislang in Baden-Württemberg betriebenen zusätzlichen Reinigungsstufen zur Spurenstoffentnahme, schloss Metzger seine Ausführungen, machten jedenfalls deutlich, dass mit einem ökonomisch vertretbaren Aufwand die Abwasserqualität nachhaltig verbessert werden könne.

Podiumsdiskussion zeigt Potenziale und Perspektiven auf

Die abschließende Podiumsdiskussion startete mit einem Impulsvortrag von Prof. Dr. *Hans-Georg Kräusslich*, Universitätsklinikum Heidelberg, in Form einer Betrachtung zum Thema „Risiken und Verantwortung in der modernen Gesellschaft“. Bei der Podiumsdiskussion selbst ging es unter anderem darum, welchen Beitrag die Chemieindustrie, Ärzte- und Apothekerverbände im Umgang mit der Spurenstoffproblematik zu leisten bereit seien und wie ein verstärkt interdisziplinärer Austausch aussehen könnte. Was in diesem Kontext die Rolle des Abwassersystems betrifft, so plädierte *Wolfgang Schanz*, Vorsitzender des DWA-Landesverbands Baden-Württemberg, dafür, den bislang eingeschlagenen Weg gemeinschaftlich mit allen Beteiligten weiter zu verfolgen. Die Kommunen bräuchten im Umgang mit dem Thema so schnell wie möglich verlässliche Vorgaben. Darüber hinaus sei es unbedingt notwendig, den bereits begonnenen gesellschaftlichen Dialog weiterzuführen.

Auch Dr. *Josef Klinger*, DVGW Baden-Württemberg, befürwortete den bislang eingeschlagenen Weg und sprach sich dafür aus, diesen weiterhin zu verfolgen. Er betonte die Bedeutung kompetenter Ansprechpartner in den Landratsämtern. Zudem müsse das Thema Wasser in der Schulbildung künftig besser verankert werden.

Prof. Dr.-Ing. *Helmut Kapp* von der Hochschule Biberach wies darauf hin, dass es ingenieurtechnisch gelungen sei, Spurenstoffe zu einem bezahlbaren Preis zu eliminieren. Jährlich würden für rund drei bis vier Milliarden Euro rezeptfreie Medikamente verkauft; der Aufwand, die daraus resultierenden Spurenstoffe (etwa zwei Drittel der Gesamtbelastung) aus dem Abwasser zu entfernen, belaufe sich demgegenüber nur auf rund 500 Millionen Euro pro Jahr. Die Bereitschaft, sich an diesen Kosten zu beteiligen, sei in der Bevölkerung durchaus vorhanden. Zudem müsse man darauf achten, dass in der Öffentlichkeit zum Thema Spurenstoffe keine unnötigen Ängste geschürt würden. Dem Vorbild der Schweiz folgend, gelte es, die vorhandenen Techniken zu nutzen und technische Möglichkeiten weiterzuentwickeln.

Dr. *Günther Müller*, Currenta GmbH, Leverkusen, der den Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI) vertrat, gab seiner Einschätzung Nachdruck, das Umweltministerium sei auf dem richtigen Weg. Bei der Spurenstoffproblematik habe man gewissermaßen einen Zwischenstand erreicht; jetzt gelte es, Kennzahlen für die Bewertung der zusätzlichen Reinigungsmaßnahmen zu entwickeln und Ziele zu definieren.

Fachexkursion auf der Kläranlage Mannheim – Einblick in die Praxis der Spurenstoffelimination

Auch Dr. *Günther Hanke*, Präsident der Landesapothekerkammer (LAK) Baden-Württemberg, zollte, nachdem er sich ausdrücklich für die Einladung zum Kongress und zur Podiumsdiskussion bedankt hatte, dem Umweltministerium Lob: Die Herausgabe des Flyers zur richtigen Entsorgung von Arzneimitteln sei der richtige Weg. Im Hinblick auf die Analytik von Substanzen betonte Hanke die Notwendigkeit eines Wissensaustauschs zwischen Pharmazeuten und der Wasserwirtschaft.

In ähnlicher Weise bekräftigte Dr. *Norbert Fischer*, Mitglied im Vorstand der Landesärztekammer und Vorsitzender des Ausschusses „Prävention und Umwelt“ der Landesärztekammer Baden-Württemberg, die Notwendigkeit des Austauschs von Informationen zwischen Ärzteschaft und Wasserwirtschaft über die in Gewässern problematischen Arzneimittel-Wirkstoffe. Von ärztlicher Seite her müsse alles getan werden, um die Doppel- bzw. Polymedikation von Arzneimitteln zu reduzieren und eine umweltverträgliche Entsorgung sicherzustellen.

Reiner Ehret, Vorsitzender des Landesnaturschutzverbandes (LNV) Baden-Württemberg, sprach sich für die Reduzierung des Medikamentenkonsums und den Einsatz von End-of-Pipe-Lösungen gleichermaßen aus. Im Übrigen müsse, sobald es um eine Gefährdung der Bevölkerung gehe, der Staat eingreifen und im konkreten

Fall sowohl den Konsum umweltgefährdender Medikamente regeln als auch Sorge dafür tragen, dass die Spurenstoffthematik ins Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt werde. Eine Kosten-Nutzen-Analyse müsse den Nutzen für die Gesundheit des Menschen mit einbeziehen.

In Analogie zur Energiewende forderte Ehret in der Wasserwirtschaft eine „Wende". Von ihr wünsche er sich, dass sie auch ohne dramatische Ereignisse (wie „Fukushima" im Energiesektor) auf den Weg gebracht werde! Hierzu, schloss Ehret, sei letztendlich eine gesellschaftliche Bewegung erforderlich.

Fachexkursion zur Kläranlage Mannheim

Zahlreiche Teilnehmer des Kongresses nutzten am Vortag der Tagung die Möglichkeit, den bislang im Klärwerk Mannheim eingerichteten Teilstrom der Adsorptionsstufe im Rahmen einer Fachexkursion zu besichtigen. Nach einer kurzen Einführung von Dipl.-Ing. *Alexander Mauritz* und Dr. *Steffen Metzger* berichtete zunächst Dipl.-Ing. *Annette Rößler* über die Ergebnisse der – im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der adsorptiven Verfahrenstechnik durchgeführten – Spurenstoffkampagne wie auch über die Erkenntnisse der Untersuchungen zur Verminderung von estrogen wirksamen Substanzen durch die Anwendung der Pulveraktivkohle. Im Anschluss daran konnten sich die interessierten Teilnehmerinnen und Teilnehmer unter fachkundiger Führung von Betriebsleiter Dipl.-Ing. *Andreas Hein* und seinen Mitarbeitern vor Ort einen Eindruck von der neuartigen Verfahrenstechnik machen.

Der Tagungsband zum Kongress ist in der Geschäftsstelle des Landesverbandes oder über *www.dwa-bw.de, Publikationen* erhältlich.

Autoren

André Hildebrand
DWA-Landesverband Baden-Württemberg
Rennstraße 8, 70499 Stuttgart

Christiane Prögel
Wort- und Textbau
Robert-Bosch-Straße 6
73249 Wernau (Neckar)

Svenja Baumgärtner
Stadt Mannheim
Dezernat V: Bürgerservice – Umwelt –
Technische Betriebe
Rathaus, E5
68159 Mannheim

E-Mail: Andre.Hildebrand@dwa-bw.de

Aktivkohle im Klärwerksbetrieb

Symposium Aktivkohle in Sindelfingen

Marie Launay und Annette Rößler (Stuttgart)

Am 5. Juli 2012 fand in der Stadthalle Sindelfingen das Symposium „Aktivkohle im Klärwerksbetrieb“ statt. Die Fachveranstaltung wurde erstmalig vom neu eingerichteten Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg durchgeführt. In Fortführung der beiden fachspezifischen Tagungen in Ulm und Mannheim, jeweils veranstaltet vom DWA-Landesverband Baden-Württemberg, bot die Fachtagung unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Helmut Kapp mehr als 130 Teilnehmern die Gelegenheit, sich einen aktuellen Überblick über planerische Aspekte zur Implementierung einer Adsorptionsstufe und deren Kosten sowie über die ersten Betriebserfahrungen und Ergebnisse zur Reinigungsleistung zu verschaffen. Darüber hinaus wurde länderübergreifend der Umgang mit Spurenstoffen diskutiert. Die 15 Aussteller, darunter Planungsbüros, Produktlieferanten sowie Anlagenbauer, rundeten das Angebot an Informationen ab. Parallel zur Fachtagung wurde auf dem Klärwerk Böblingen-Sindelfingen die bereits seit Oktober 2011 laufende Adsorptionsstufe offiziell in Betrieb genommen. Im Rahmen einer Fachexkursion bot sich den Teilnehmern am 6. Juli 2012 die Möglichkeit, die neue Adsorptionsstufe der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen zu besichtigen.

Baden-Württemberg als Vorreiter

Eröffnet wurde das Symposium durch Prof. Dr.-Ing. *Helmut Kapp* (Hochschule Biberach). Er zeigte sich erfreut darüber, dass, auf Grundlage der im halbtechnischen Maßstab gewonnenen Erkenntnisse bereits mehrere Kläranlagen in Baden-Württemberg um eine Adsorptionsstufe erweitert wurden. Gleichzeitig betonte er, dass mit der Umsetzung von technischen Maßnahmen zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen der Fokus auf ökologische Nachhaltigkeit auch beim Gewässerschutz gerichtet wird, wobei alle zusätzlich eingeführten Verfahrensschritte unter ökonomischen Gesichtspunkten zu bewerten sind.

Helmfried Meinel: Grußwort an die Teilnehmer der Tagung

Helmfried Meinel, Ministerialdirektor im Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, zeigte sich erfreut über die Vorreiterrolle von Baden-Württemberg bei der Elimination von Spurenstoffen, die das Bundesland, dank der Installation von Adsorptionsstufen in mehreren Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen, eingenommen hat. In diesem Zusammenhang bedankte er sich bei den innovativen Kläranlagenbetreibern, die sich auch in Zeiten schwieriger Finanzen für derartige Maßnahmen zum Umweltschutz entschieden haben und hoffte, dass dieses Engagement zahlreiche Nachahmer finden wird. Zudem wies er auf die Bedeutung der Adsorptionsstufe im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen für den Gewässerschutz hin. Damit werde ein wichtiges Signal für die Einführung innovativer und zukunftsweisender Umwelttechnologien in Europa gegeben. Mit solchen Leuchtturmprojekten gelänge es, vorhandene Stärken zu festigen und im gesamteuropäischen Interesse weiter auszubauen, so Meinel.

Im Namen der Stadt Sindelfingen begrüßte Oberbürgermeister Dr. *Bernd Vöhringer* die Teilnehmer. Die Stadt gehe, so Vöhringer, schon immer mit dem technologischen Fortschritt, sodass mit dem Bau einer Adsorptionsstufe im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen eine weitere wichtige Etappe erreicht sei. Er betonte die Bedeutung der Elimination von Spurenstoffen aus dem Abwasser für die Wasserqualität der Schwippe und dankte daher allen Beteiligten für deren Unterstützung bei der technischen Umsetzung des Verfahrens.

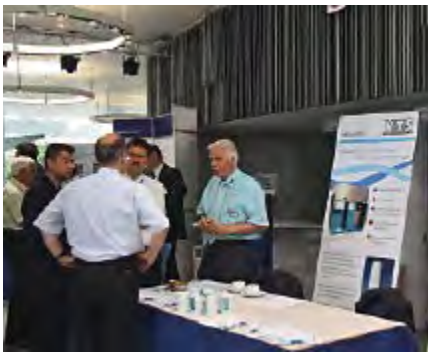
Elimination von Spurenstoffen – Kompetenzen vernetzen

Im ersten Themenblock stellte zunächst Dipl.-Ing. *Hans Neifer* vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg die Aktivitäten des Landes zur Verminderung des Eintrags von Spurenstoffen in die Gewässer vor. Er wies darauf hin, dass diese Substanzen flächendeckend in messbaren Konzentrationen nachgewiesen wurden, woraus sich ein Handlungsbedarf ergibt. Vorrangig sind Spurenstoffe direkt am Ort des Anfalls zu reduzieren. Da dies primär nur für Industriebetriebe umsetzbar ist, werden Erweiterungen von Kläranlagen um eine zusätzliche Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination im Sinne einer „End-of-pipe-Lösung“ vom Land begrüßt. Die korrekte Entsorgung von Restarzneimitteln über den Hausmüll, die Sanierung undichter Kanäle sowie der Verzicht auf eine bodenbezogene

Klärschlammverwertung können der Problematik ebenfalls entgegenwirken.

Im nächsten Vortrag berichtete Dr.-Ing. *Christian Abegglen* vom Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) über das Vorgehen der Schweiz hinsichtlich des Umgangs mit Mikroverunreinigungen. Von 2006 bis 2012 wurde vom schweizerischen Bundesamt für Umwelt (BAFU) das Projekt „Strategie Micropoll – Mikroverunreinigungen in den Gewässern“ durchgeführt. Das Ziel war zunächst die Beurteilung der Belastungslage, um daraus notwendige Maßnahmen ableiten zu können. Aufgrund der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse hat das BAFU ein Konzept zur Verringerung der Einträge von organischen Spurenstoffen aus dem kommunalen Abwasser in die Gewässer erarbeitet, das 2009 in einem Änderungsvorschlag der Gewässerschutzverordnung umgesetzt wurde. Gemäß dem aktuellen Vorschlag sind die größten Kläranlagen (> 80 000 angeschlossene EW), große Kläranlagen (> 24 000 angeschlossene EW) im Einzugsgebiet von Seen sowie mittlere und große Kläranlagen (> 8000 angeschlossene EW) im Einzugsgebiet von Fließgewässern mit einem Abwasseranteil von mehr als 10 Prozent von einem Ausbau betroffen. Innerhalb des VSA wurde zwischenzeitlich die Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ etabliert, um den Kompetenzaufbau in der Praxis sowie den Erfahrungsaustausch zu fördern und offene Fragen zu klären.

Zur Spurenstoffelimination in Nordrhein-Westfalen referierte Dr.-Ing. *Viktor Mertsch* vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Er stellte den von der Landesregierung entwickelten „Masterplan Wasser“ vor, dessen Ziel es unter anderem ist, neben der Reduzierung stofflicher Belastungen und der Renaturierung der Gewässer hin zu einem guten Zustand, eine umfassende Verbesserung der Gewässerqualität zu erreichen. Dabei setzt Nordrhein-Westfalen auf Maßnahmen nach dem Multibarrierenprinzip, das heißt, die Emissionen von Stoffen sind grundsätzlich an der Quelle zu reduzieren. In Ergänzung hierzu sind aber auch gezielte Maßnahmen in kommunalen Kläranlagen sowie in Wasseraufbereitungsanlagen durchzuführen. Aktuell werden vom MKULNV elf FuE-Projekte zum Thema Spurenstoffe gefördert, die sich unter anderem mit Verfahrensmöglichkeiten zur Elimination dieser Stoffe auf kommunalen Kläranlagen beschäftigen. Mit dem Aufbau des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe. NRW soll der nationale und internationale Erfahrungsaustausch gefördert und vorhandenes Wissen gebündelt werden.



Erfahrungsaustausch mit Ausstellern der Tagung

Technologische Umsetzung am praktischen Beispiel: Klärwerk Böblingen-Sindelfingen – Bau einer Adsorptionsstufe

Mit der von der Hochschule Biberach entwickelten „Adsorptionsstufe“ werden Spurenstoffe mithilfe von Pulveraktivkohle in einem hohen Umfang aus dem Abwasser entfernt. Auf Grundlage der im halbtechnischen Maßstab gewonnenen Erkenntnisse wurden in Baden-Württemberg inzwischen bereits mehrere Kläranlagen unterschiedlicher Ausbaugröße um eine Adsorptionsstufe im technischen Maßstab erweitert.

Mit dieser technologischen Umsetzung am Beispiel der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen befasste sich der zweite Themenblock, in dem zunächst Dipl.-Ing. *Norbert Biebersdorf* (Tuttahs & MeyerR, Bochum) über die Erweiterungsplanung referierte. Mit der Auslegung der neuen Reinigungsstufe als Teilstrombehandlung auf einen maximalen Zufluss von 1000 L/s, der dem halben maximalen Zufluss zur Kläranlage entspricht, kann bereits 90 Prozent des jährlich anfallenden Abwasservolumens adsorptiv gereinigt werden. Weiterhin zeigte Biebersdorf, dass mit einer kompakten Bauweise der Beckenvolumina das Verfahren auch auf Kläranlagen mit einem beengten Platzangebot realisiert werden kann.

Die ersten Ergebnisse zur Reinigungsleistung der Adsorptionsstufe wurden

von Dipl.-Ing. (FH) *Annette Rößler* (Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg, Stuttgart) vorgestellt. Die Messungen von Spurenstoffen zeigen, dass durch die Zugabe von 10 mg/L Pulveraktivkohle und eine anschließende Flockungsfiltration nicht-ionische Röntgenkontrastmittel, Benzotriazole sowie einige Arzneimittelrückstände in einem hohen Umfang aus dem Abwasser entfernt werden. Darüber hinaus stellte sie die Unterschiede in der Verringerung des gelösten CSB durch die adsorptive Verfahrenstechnik bei verschiedenen hydraulischen Verhältnissen dar.

Abschließend berichtete Dipl.-Ing. *Gert Schwentner* (Stadt Sindelfingen) über die ersten Betriebserfahrungen und die Kosten zur Realisierung der Adsorptionsstufe. Es hat sich gezeigt, dass die der Planung zugrunde gelegten Bemessungsgrößen einen sicheren Betrieb der Anlage erlauben. Als positiver Nebeneffekt können darüber hinaus bei gleichem Fällmittelverbrauch wie in den Jahren zuvor, neben der Reduzierung des CSB und der Spurenstoffkonzentrationen, geringere P_{ges}-Werte im Ablauf der Kläranlage festgestellt werden. Mit einer Kostendarstellung zeigte Schwentner, dass der Neubau der Adsorptionsstufe zu einem Anstieg der Abwassergebühren von rund 2,00 €/(EW × a) führt, wobei die Beschaffungskosten der Pulveraktivkohle den größten Anteil an den gesamten Betriebskosten der neuen Reinigungsstufe darstellen.

Betriebliche und technologische Optimierung von Pulveraktivkohleanlagen

Dipl.-Ing. *Jürgen Schmid* (Kopf Anlagenbau GmbH, Sulz-Bergfelden) berichtete über das Lagern und Dosieren von Pulveraktivkohle. In seinem Vortrag ging er dabei auf die sicherheitstechnischen Bedingungen ein, die beim Umgang mit dem Medium Pulveraktivkohle zu beachten sind. Anhand der im Klärwerk Böblingen-Sindelfingen errichteten Pulverkohledosieranlage erläuterte Schmid das von der Firma Kopf entwickelte Dosiersystem AK-DOS, das sich durch eine kompakte und modulare Bauweise auszeichnet.

Im folgenden Vortrag berichtete Dipl.-Ing. *Andreas Hein* von der Stadtentwässerung Mannheim über die Erfahrungen im Umgang mit Pulveraktivkohle im täglichen Betrieb eines Klärwerks. Er ging dabei auf die verschiedenen Eigenarten der Pulveraktivkohle und der sich daraus ergebenden Probleme bei der Dosierung des Mediums ein. Zugleich wies er in seinen Ausführungen darauf hin, dass die gewünschte Dosiergenauigkeit nur mit einer gravimetrisch überwachten Dosiertechnik erzielt werden kann. Eigens durchgeführte Optimierungsarbeiten im Bereich des Förder- und Einspülsystems der Dosiertechnik haben dazu beigetragen, den Reinigungsaufwand des Dosiersystems deutlich zu reduzieren, so Hein.

Pulveraktivkohle-Anlage auf dem Klärwerk Böblingen-Sindelfingen

Dr.-Ing. *Steffen Metzger* (Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg, Biberach) stellte Ergebnisse zur Reinigungsleistung aus der wissenschaftlichen Begleitung der adsorptiven Teilstrombehandlung im Klärwerk Mannheim vor. Im Rahmen der Spurenstoffuntersuchungen wurde das Abwasser auf 180 Einzelsubstanzen verschiedener Substanzklassen hin untersucht. Rund 70 dieser Substanzen konnten im Ablauf der Nachklärung quantitativ nachgewiesen werden. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass, gemessen am heutigen Ablauf der biologischen Reinigungsstufe, knapp 25 Prozent dieser Substanzen bereits mit einer Dosierrate von 10 mg/L Pulveraktivkohle jeweils zu über 80 Prozent aus dem Abwasser eliminiert werden können. Ein Großteil der Arzneimittelrückstände hat sich dabei als vergleichsweise „gut“ entfernbar erwiesen. Anhand der Ergebnisse eines Fischmonitorings konnte zudem gezeigt werden, dass durch den Einsatz der Pulveraktivkohle im Klärwerk Mannheim die estrogene Wirkung des biologisch gereinigten Abwassers um über 80 Prozent verringert werden kann. Parallel dazu durchgeführte Laboruntersuchungen mit einem In-vitro-Testverfahren bestätigen dieses Ergebnis.

Wissens- und Informationsplattform für Baden-Württemberg

Im letzten Vortrag stellte Prof. Dr.-Ing. *Heidrun Steinmetz* (Universität Stuttgart) das im April 2012 gegründete Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg vor, bei dem es sich um eine Kooperation zwischen der Hochschule Biberach, der Universität Stuttgart und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg handelt. Durch die Einrichtung des KomS Baden-Württemberg soll sowohl der Wissensaufbau und die -bündelung als auch der Wissenstransfer und die Kommunikation mit den Beteiligten der kommunalen Abwasserbehandlung rund um das Thema Spurenstoffe in den nächsten Jahren vorangetrieben werden. Eine wesentliche Aufgabe stellt deshalb zunächst der betriebliche Support dar, um Kläranlagenbetreiber während der Einfahrphase von neu errichteten Reinigungsstufen oder bei Betriebsoptimierungen zu unterstützen. Darüber hinaus ist es unter anderem das Ziel, Verfahren zur Spurenstoffentnahme zu etablieren und weiterzuentwickeln sowie den fachlichen Austausch mit der Schweiz und Nordrhein-Westfalen zu vertiefen.

Fachexkursion auf das Klärwerk Böblingen-Sindelfingen

Zahlreiche Teilnehmer des Fachsymposiums nutzten am zweiten Veranstaltungstag die Möglichkeit, die Adsorptionsstufe auf dem Klärwerk Böblingen-Sindelfingen im Rahmen einer Fachexkursion zu besichtigen. Nach einer kurzen Einführung durch Dipl.-Ing. *Walter Kremp* (Stadt Sindelfingen) und Dipl.-Ing. *Gert Schwentner* konnten sich die interessierten Teilnehmer einen Eindruck von dieser neuartigen Verfahrenstechnik machen.

Autorinnen

Dipl.-Ing. Marie Launay
Universität Stuttgart
Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. (FH) Annette Rößler
KomS Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

E-Mail: info@koms-bw.de

www.koms-bw.de