

# 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 ent-

springt 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

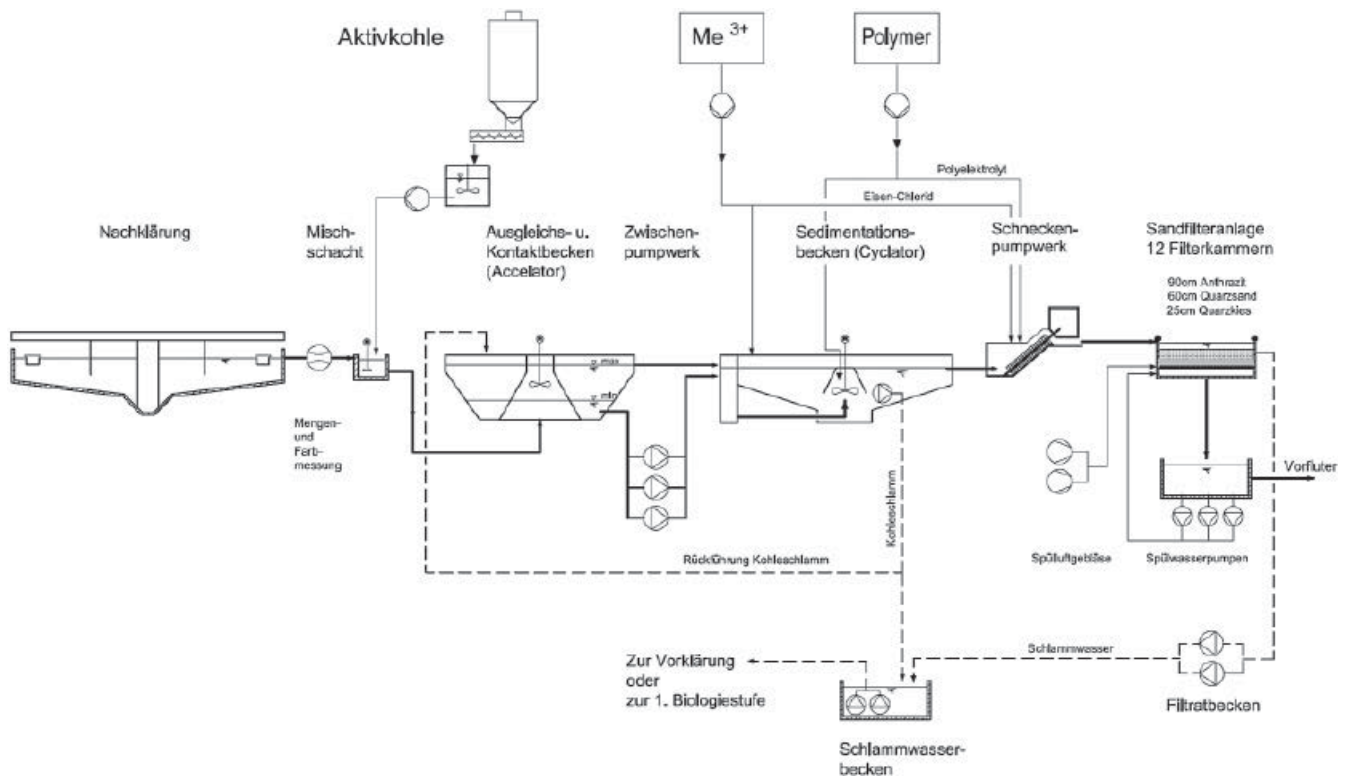


Abb. 1: Schematisches Verfahrensfliessbild der PAK-Anlage der Kläranlage Albstadt-Ebingen

(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 Accelerator und Cyclator zur adsorptiven Reinigungsstufe) sowie dem Neu-

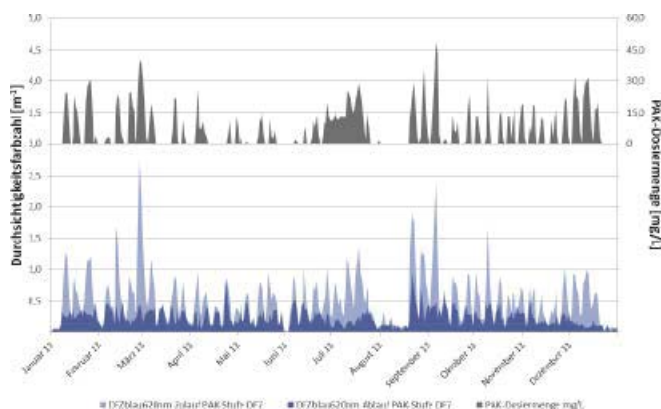


Abb. 2: Durchsichtigkeitsfarbzahl blau im Zu- und Ablauf der PAK-Anlage sowie zugehörige Pulveraktivkohledosiermengen im Jahr 2013

bau eines Flockungssandfilters die PAK-Anlage im Jahr 1992 in Betrieb genommen. Die gesamte Abwassermenge (Vollstrom,  $Q_m = 980 \text{ L/s}$ ) wird über die Anlagenstufe geführt. Seit der Inbetriebnahme wird die nahezu vollständige Entfärbung und AOX-Elimination ( $< 10 \mu\text{g/L}$ ) 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 eingeehrt (hochturbulent). Das durchmischte Abwasser fließt in das Ausgleichs- und Kontaktbecken ( $V = 4640 \text{ m}^3$ ). 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,  $V = 2260 \text{ m}^3$ ) 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 ( $\text{VDN} = 5500 \text{ m}^3$ ,  $\text{VN} = 7850 \text{ m}^3$ ,  $\text{VNKB} = 14100 \text{ m}^3$ ) 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  $30 \text{ m}^2$ ) 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 Spülwasser über einen Spülwasserschacht 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:  $85 \text{ mL/g}$ ).

## 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  $436 \text{ Nm}$ ) =  $1,2 \text{ m}^{-1}$ , DFZ Rot (Messbereich  $525 \text{ Nm}$ ) =  $0,6 \text{ m}^{-1}$  und DFZ Blau (Messbereich  $620 \text{ Nm}$ ) =  $0,6 \text{ m}^{-1}$ . Diese Grenzwerte sind jeweils in der qualifizierten Stichprobe einzuhalten. Die zudosierte Aktivkohlemenge liegt im Bereich von 5 bis  $45 \text{ mg/L}$  (in Abhängigkeit von der Farbigkeit), was einem jährlichen Kohleeinsatz von 70 bis  $100 \text{ Mg}$  entspricht. Mit der bestehenden Dosieranlage kann eine Dosiermenge von 10– $150 \text{ kg/h}$  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-

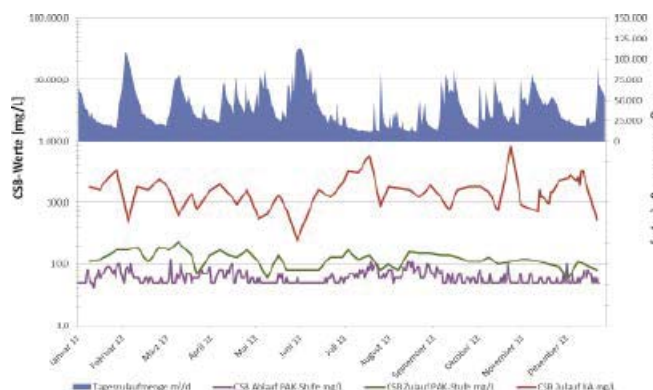


Abb. 3: Zulaufwassermengen 2013 sowie CSB-Werte an unterschiedlichen Probenahmestellen der Kläranlage Albstadt-Ebingen

ßerordentlich niedrig eingestuft werden: Die CSB-Ablaufwerte liegen im Mittel unter 10 mg/L, für P<sub>ges</sub> 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

**Anzahl Spurenstoffe mit verschiedenen Eliminationsraten**  
(beste Eliminationsrate als Basis)

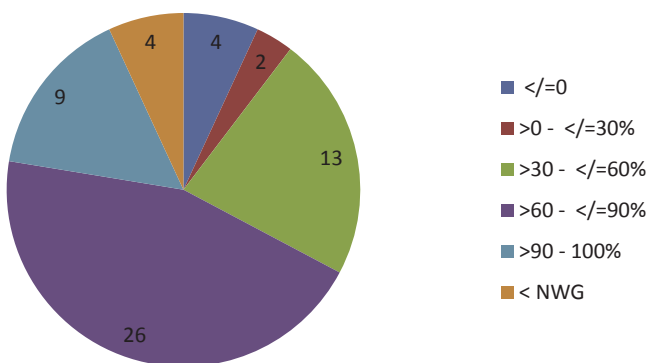


Abb. 4: Anzahl Spurenstoffe, die zu einem bestimmten Prozentsatz durch die PAK-Anlage in der Kläranlage Albstadt-Ebingen entnommen werden (Basis: beste Eliminationsrate)

**Anzahl Spurenstoffe mit verschiedenen Eliminationsraten**  
(schlechteste Eliminationsrate als Basis)

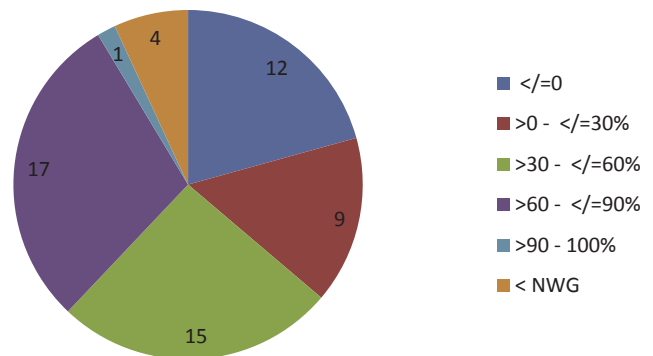


Abb. 5: Anzahl Spurenstoffe, die zu einem bestimmten Prozentsatz durch die PAK-Anlage in der Kläranlage Albstadt-Ebingen entnommen werden (Basis: schlechteste Eliminationsrate)

(76–84 %) oder Octylphenol (72–75 %). Sehr schlecht eliminiert wurden zum Beispiel Clofibrinsäure (– 120 %), Amidotri-zoesäure (– 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

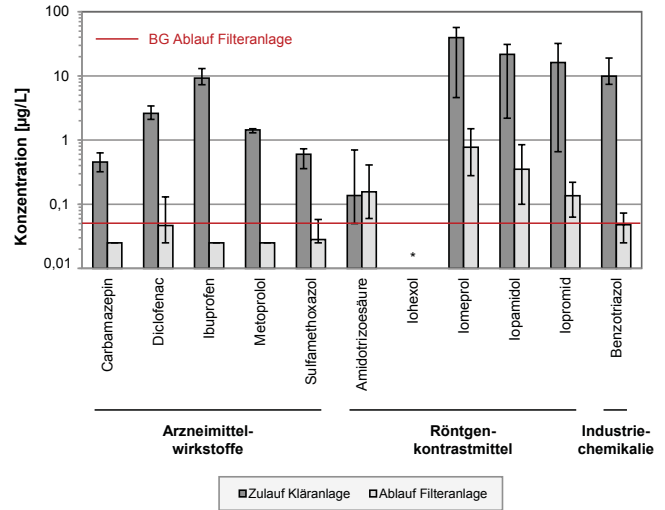
Stufe und der PAK-Anlage bestimmen zu können, wurden im Zulauf, im Ablauf der Nachklärung und im Ablauf der Filteranlage über einen Zeitraum von zehn Tagen jeweils mengenproportionale 24-h-Mischproben gezogen. Vor der Spurenstoffanalyse wurden sämtliche Proben membranfiltriert, da ausschließlich die 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 m<sup>3</sup>/d. Die gelöste Restorganik, ausgedrückt durch den CSB<sub>gelöst</sub>, 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 Entnah-



\* 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

me impliziert. Die in Abbildung 7 dargestellten Entnahmeraten innerhalb der Kläranlage beruhen hierbei auf der Gegenüberstellung der jeweiligen Zu- und Abflafracht 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-

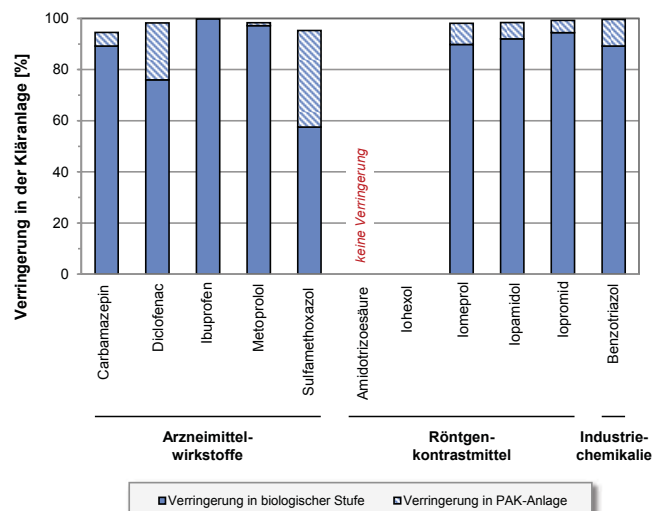


Abb. 7: Zusammensetzung der Gesamtentnahme von Spurenstoffen

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 Entnahmefumfang 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] Triebkorn, 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] Triebkorn, 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](http://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 Triebkorn  
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](mailto:hans-joachim.vogel@rpt.bwl.de)

