

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.

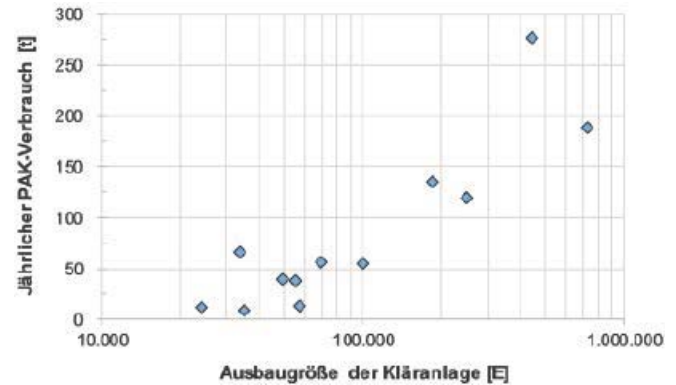


Abb. 1: Jahresverbrauch an Pulveraktivkohle in Abhängigkeit von der Größe einer Kläranlage (Bezugsjahr: 2016 bzw. 2017)

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

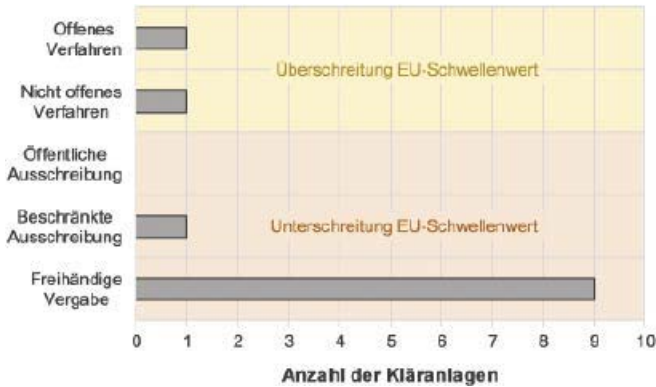


Abb. 2: Für den Einkauf von Pulveraktivkohle genutzte Vergabearbeiten gemäß VOL

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-

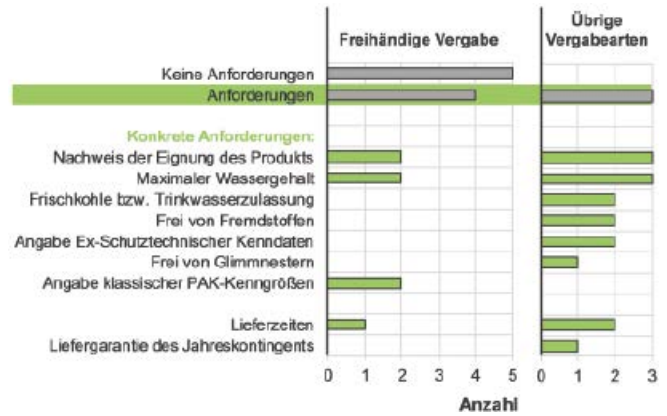


Abb. 3: Von den Kläranlagenbetreibern gestellte Anforderungen an ein Pulveraktivkohleprodukt

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).



MECANA

A Metawater Company



Phosphorelimination mit Tuchfiltern!

Auf der Kläranlage Sankt Augustin wurde die seit 2002 eingesetzte Mikrosiebung durch Polstoff-Tuchfilter ersetzt.

Dabei wurden sechs der acht bestehenden Mikrosiebbehälter genutzt, um 12 x 60 m² Mecana Scheibenfilter zu installieren.

Die Anlage ist seit November 2017 erfolgreich in Betrieb.



Mecana Polstofffiltration effizient, wirtschaftlich und robust!

Mecana Umwelttechnik GmbH
CH-8864 Reichenburg | T +41 55 464 12 00
www.opti_fibermedia.com
www.mecana.ch | info@mecana.ch



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 CO₂-Fußabdruck. Für Aktivkohle (AK) aus dem Rohstoff Braunkohle beträgt der CO₂-Fußabdruck etwa 14–18 t CO₂-Äqu./t AK, bei Verwendung von Kokosnussschalen liegt dieser Wert mit 5–7 t CO₂-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 (CO₂-Fußabdruck [t CO₂-Äqu./t AK] für Reaktivat: 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 Reaktivat nicht

automatisch aus. Gleichmaßen 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

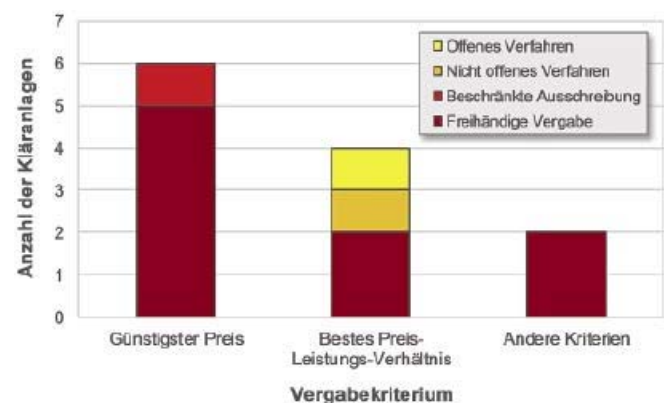


Abb. 6: Vergabekriterien beim Einkauf von Pulveraktivkohle

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 Phos-

phatfällung oder von Polymerprodukten zur Schlammwässerung 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-

Wasseranalytik

MACHEREY-NAGEL

NANOCONTROL NANOCHECK 2.0


Prüfmittel für alle in einer einfachen



Anerkannte Ergebnisse

- 2 in 1 – Potentiometrischer Rückfluss-Linearitätstest
- Schnell – Prüfen aller Parameter
- Schnell – Prüfen des elektrischen Leiters in nur 1 Minute

MACHEREY-NAGEL
www.mn-net.com

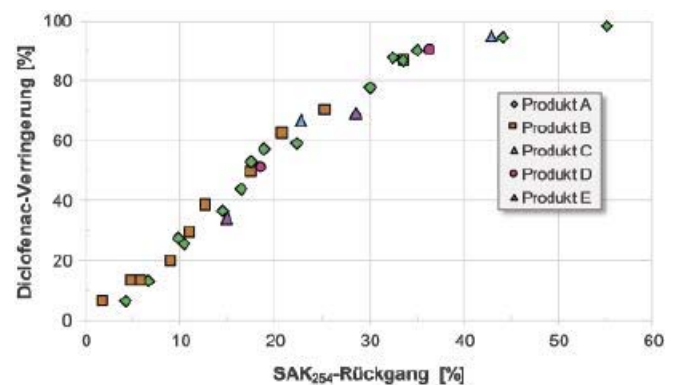


	Fall 1	Fall 2	Fall 3
1. Wertungsvoraussetzung	nicht gegeben	mittlere Verringerung von Carbamazepin + Diclofenac + Metoprolol + Benzotriazol > 60% bei Dosierung von 10 mg/L PAK	mittlere Verringerung von Carbamazepin + Diclofenac > 70% bei Dosierung von 10 mg/L PAK
2. Ermittlung des Preis-Leistungs-Verhältniss			
Leistung des PAK-Produkts definiert über...	SAK ₂₅₄ -Rückgang	SAK ₂₅₄ -Rückgang	DOC-Entnahme
Formel zur Berechnung	$\frac{\text{Preis [€/t]}}{\text{SAK}_{254}\text{-Rückgang [\%]}}$	(MV-Faktor) · Angebotspreis	$\frac{\text{Preis [€/t]}}{\text{DOC-Entnahme [\%]}}$
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-Verhältniss“

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 SAK₂₅₄-Rückgang herangezogen. Der Parameter SAK₂₅₄ 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 SAK₂₅₄-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-Verhältniss. 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 SAK₂₅₄-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 SAK₂₅₄-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

	Dosiermenge	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 1.500 €/t	10 mg/L	29,5	24,4	39,3	50,8	1,48	2.214
	20 mg/L	48,2	35,6				
	40 mg/L	71,4	57,8				
Produkt 2 1.800 €/t	10 mg/L	38,4	28,9	44,4	46,9	1,00	1.800
	20 mg/L	55,4	44,4				
	40 mg/L	70,5	60,0				
Produkt 3 1.450 €/t	10 mg/L	27,7	20,0	35,6	52,3	1,63	2.368
	20 mg/L	44,6	35,6				
	40 mg/L	66,1	51,1				
Produkt 4 1.425 €/t	10 mg/L	27,7	20,0	34,1	51,4	1,60	2.282
	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

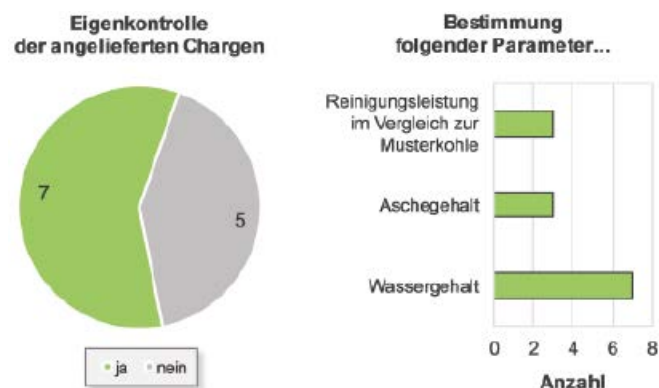


Abb. 9: Von den Betreibern durchgeführte Eigenkontrolle der angelieferten Chargen

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 $SAK_{2,5,4}$ 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

A