

ÜBERWACHUNG DER SPURENSTOFFELIMINATION

UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMALEN WELLENLÄNGE DES SPEKTRALEN ABSORPTIONSKOEFFIZIENTEN (SAK)

Der spektrale Absorptionskoeffizient (Δ SAK) bei Wellenlänge 254 nm ist ein Mass in der kommunalen Abwasserreinigung, um die Ozondosierung bei der Behandlung von Mikroverunreinigungen zu regeln. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Korrelation des Δ SAK mit der Eliminationsleistung von Mikroverunreinigungen (\emptyset EMV) bei höheren Wellenlängen besser ausfällt. In den untersuchten Proben zeigte der Δ SAK bei einer Wellenlänge von 351 nm die höchste Korrelation mit \emptyset EMV.

Manuel Stäheli; Jean-Marc Stoll, OST Ostschweizerische Fachhochschule, Rapperswil
Edith Durisch; Fisnik Bajal, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel), Zürich

RÉSUMÉ

SURVEILLANCE DE L'ÉLIMINATION DES MICROPOLLUANTS – LONGUEUR D'ONDE OPTIMALE DU COEFFICIENT D'ABSORPTION SPECTRALE SAC

La présente étude a permis de réaliser une analyse systématique de la corrélation entre performance d'élimination des micropolluants (\emptyset EMV) et diminution du coefficient d'absorption spectrale (Δ SAC) dans le spectre 200–400 nm. Les eaux usées de huit stations d'épuration communales différentes du canton de Zurich ont été utilisées pour cette étude. Après prélèvement, les échantillons ont été traités en laboratoire avec de l'ozone ou du charbon actif en poudre. Le spectre d'absorption a ensuite été enregistré et comparé avec les eaux usées non traitées. Les concentrations des marqueurs pertinents pour l'évaluation ont été déterminées par HPLC-MS/MS. Pour les échantillons filtrés qui avaient été traités à l'ozone, la plus grande corrélation de \emptyset EMV et Δ SAC a été observée à une longueur d'onde de 351 nm.

Pour les échantillons filtrés traités au charbon actif, la corrélation maximale se situait à une longueur d'onde de 347 nm. La longueur d'onde de 254 nm, couramment utilisée aujourd'hui, se situait dans les deux cas dans une zone où la corrélation était plus faible. Une petite adaptation de la longueur d'onde offre donc la possibilité d'améliorer la surveillance et la régulation des installations d'ozone dans les systèmes existants.

EINLEITUNG

AUSGANGSLAGE

Mikroverunreinigungen (MV) stellen die Abwasserreinigung vor neue Herausforderungen. In der konventionellen Abwasserreinigung werden diese Stoffe kaum zurückgehalten. Die Behandlung erfordert spezielle Verfahren. Über die vergangenen zehn Jahre haben sich Verfahren etabliert, die auf der Oxidation mit Ozon und/oder der Adsorption an Aktivkohle basieren. Um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen, muss eine Eliminationsleistung von mindestens 80% erreicht werden. Die Eliminationsleistung wird anhand von zwölf Leitsubstanzen, deren Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage gemessen werden, bestimmt. Die Messung dieser Leitsubstanzen ist aber aufwendig. Ergebnisse liegen in der Regel erst Tage nach der Probenentnahme vor. Die Regelung der MV-Behandlung muss daher über einen Ersatzparameter erfolgen.

Die Korrelation der Eliminationsleistung von MV (\emptyset EMV) und der Abnahme des spektralen Absorptionskoeffizienten (Δ SAK) ist in der Praxis der Abwasserreinigung bekannt. Der Zusammenhang wird deshalb zur Regelung der Ozondosierung bei der Behandlung von Mikroverunreinigungen eingesetzt. Dabei wird der SAK normalerweise bei einer Wellenlänge von 254 nm gemessen.

Kontakt: J.-M. Stoll, jeanmarc.stoll@ost.ch

(©AdobeStock)

Im Rahmen einer Vorstudie an der OST wurde festgestellt, dass eine Wellenlänge von 254 nm zur Bestimmung des Δ SAK nicht die beste Wahl war. Die Korrelation von \emptyset EMV und Δ SAK fiel bei anderen Wellenlängen deutlich grösser aus, wodurch die erstellten mathematischen Modelle zuverlässiger wurden und das untersuchte Behandlungsverfahren bedarfsgerechter geregelt werden konnte.

ZIELSETZUNG

Im Hinblick auf eine bedarfsgerechte Regelung der Dosierung von Ozon und Pulveraktivkohle bei der EMV aus kommunalem Abwasser verfolgte die vorliegende Studie das Ziel, festzustellen, bei welcher Wellenlänge des SAK die beste Korrelation zur EMV erreicht wird. Von 254 nm abweichende Wellenlängen könnten die Aussagekraft erhöhen und so eine bedarfsgerechtere Regelung der Systeme erlauben. Dadurch soll eine Unter- wie auch Überdosierung vermieden werden. Während Letztere zu einer Verschwendung von Energie und Ressourcen führt, besteht bei einer Unterdosierung die Gefahr, die gesetzlichen EMV-Anforderungen nicht einzuhalten.

DURCHFÜHRTE ARBEITEN

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde eine systematische Untersuchung der Korrelation von \emptyset EMV und Δ SAK im Spektrum von 200 bis 400 nm durchgeführt. Bei der Untersuchung wurde das Abwasser von acht verschiedenen kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) des Kantons Zürich verwendet. Nach der Entnahme wurden die Proben im Labor mit unterschiedlichen Mengen an Ozon oder Pulveraktivkohle behandelt, sodass ein unterschiedlicher Anteil der MV eliminiert wurde. Aufgrund der heute in ARA angewandten Methode des Δ SAK bei 254 nm wurde ermittelt, welche Menge an Ozon oder Pulveraktivkohle nötig war, um unter den gewählten Versuchsbedingungen einen \emptyset EMV von ca. 40%, 60% und 80% zu erzielen. Mit den daraus resultierenden Ozon- bzw. Pulveraktivkohlemengen wurden die Proben aus allen acht ARA behandelt. Bei den daraus resultierenden Abwasserproben wurde einerseits das Absorptionsspektrum von 200 bis 400 nm aufgenommen und andererseits die Konzentrationen der Leit-substanzen mittels ultrahochauflösender Flüssigchromatografie (HPLC-MS/MS) bestimmt (AWEL Gewässerschutzlabor).

Schliesslich wurde für jede Probe und jede Wellenlänge der Δ SAK berechnet, gegen \emptyset EMV aufgetragen und die lineare Regression mit dem Bestimmtheitsmass R^2 bestimmt.

MATERIAL UND METHODEN

FOTOMETRIE

Die fotometrische Messung gibt Auskunft über die Absorption von Lichtstrahlen, die durch eine Wasserprobe geleitet werden. Die Messungen werden in einem Spektrofotometer durchgeführt. Verwendet werden Wellenlängen von 200 bis 800 nm. Analysen im Bereich von 200 bis 350 nm werden als UV-Fotometrie (Ultraviolett) bezeichnet. Oberhalb von 350 nm spricht man von VIS-Fotometrie (*Visible*, sichtbares Licht).

Die Absorption des Lichtes, die beim Durchstrahlen einer Probe auftritt, hängt hauptsächlich von der Zusammensetzung der Probe ab. Bestimmte Substanzen weisen charakteristische Absorptionsspektren auf und deren Gehalt kann in einer fotometrischen Analyse bestimmt werden. Es existieren zahlreiche Test-Kits bzw. Methoden, um verschiedenste gewässerschutzrelevante Stoffe zu bestimmen. Häufig müssen der Probe ein oder mehrere Reagenzien zugefügt werden, um die Messung zu ermöglichen.

Zahlreiche gelöste organische Stoffe (DOC) und davon besonders viele organische Spurenstoffe weisen aromatische Ringe oder Doppelbindungen auf, welche die UV-Strahlung absorbieren. Als Einzelsubstanzen sind sie gut vom «reinen» Leitungswasser zu unterscheiden. Im Abwasser ist das nicht möglich. Dennoch ist die Veränderung der UV-Absorptionseigenschaften, über eine MV-Reinigungs-

stufe, ein aussagekräftiger Parameter (Fig. 1).

Als einfach und online erfassbarer Kontrollparameter für die Überwachung der Eliminationsleistung, der sich auch für die Steuerung der Dosierung eignet, hat sich eine Methode auf Basis der UV-Absorption bewährt: Der spektrale Absorptionskoeffizient bei einer Wellenlänge von 254 nm (SAK254) ist das Mass für die Schwächung von Lichtstrahlen auf eine 1 m Schichtdicke umgerechnete Wasserprobe. Die Einheit ist Extinktion pro Meter (E/m oder 1/m). Viele elektronenreiche, organische Moleküle, wie beispielsweise Substanzen mit Doppelbindungen oder Aromaten, absorbieren Licht dieser Wellenlänge. Diese Moleküle, zu denen auch MV gehören, werden bei Verfahren zur Elimination von MV oxidiert oder eliminiert. Folglich kann anhand der Messung und Differenzbildung des SAK254 vor und nach einer Behandlungsstufe auf den Reinigungseffekt geschlossen werden. Die Praxis der Abwassertechnik gibt an, dass eine Abnahme des SAK254 um 40% mit einer MV-Eliminationsleistung von 80% einhergeht [1]. *Figur 1* veranschaulicht das Prinzip. Zur Ermittlung von Absorptionsspektren und SAK wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ein UV-VIS-Spektrofotometer vom Typ *Cary 60* (Agilent) verwendet. Alle Messungen wurden mit Quarzglaszuvetten (VWR, 634-6021) durchgeführt. Der Nullabgleich wurde mit Reinstwasser (Millipore) bei 400 nm durchgeführt.

HPLC MS/MS

Die Analyse von Mikroverunreinigungen mittels HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*; Hochleistungsflüssig-

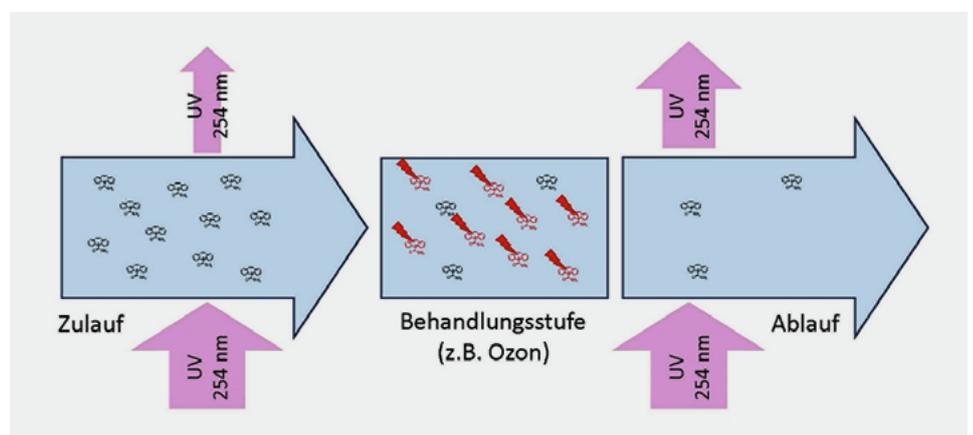


Fig. 1 UV-Messung zur Beurteilung der Konzentration von MV im Abwasser. Die Abnahme des spektralen Absorptionskoeffizienten (Δ SAK) korreliert mit der Abnahme der MV-Konzentration.

chromatografie) ist ein aufwendiges und teures Verfahren. Die Ergebnisse liegen oftmals erst mit einer erheblichen Verzögerung vor. Für die Analyse der zwölf Leitsubstanzen zur Überwachung der Reinigungsleistung auf den ARA muss mit Kosten von ca. 350 Franken pro Probe gerechnet werden. Eine Laboranalyse dient daher überwiegend der nachträglichen Kontrolle, eignet sich aber nicht zur kontinuierlichen Überwachung oder Regelung eines Prozesses. Aus diesen Gründen werden MV-Behandlungsstufen proportional zum Durchfluss oder über einen Ersatzparameter wie den SAK oder DOC geregelt.

Bei der HPLC-Analyse werden verschiedene Substanzen eines Stoffgemisches auf einer Chromatografie-Säule nach deren Affinitäten zu einer flüssigen Phase (Laufmittel) und einer festen Phase (Säulenmaterial) separiert. Die aufgetrennten Substanzen werden dann detektiert, nach deren Laufzeit und Massenspektrum identifiziert und quantifiziert. Dabei kommen verschiedene Detektortypen zum Einsatz. Für die Bestimmung von MV hat sich die Kopplung der HPLC an ein Massenspektrometer (MS) bewährt. Nach Stand der Technik werden in der Spurenanalytik auch zwei Massenspektrometer nacheinandergeschaltet, diese Systeme werden als HPLC-MS/MS bezeichnet.

Die HPLC-MS/MS-Messungen erfolgten an einem QTRAP 6500 LC-MS/MS des Herstellers Sciex. Die Bestimmungsgrenze des Messverfahrens liegt je nach Verdünnung der Proben bei 0,05 µg/l bzw. 0,02 µg/l. Zur Vorbereitung wurden die Proben mit Glasfaserfiltern (Whatman 1825) filtriert. Zur Analyse wurde ein Probenvolumen von 10 ml verwendet.

EXPERIMENTE

ABLAUF

Zu Beginn der Experimente wurden rund zehn Liter Abwasser aus dem Ablauf NKB (Nachklärbecken) bzw. Zulauf Filtration, oder, wenn vorhanden, Zulauf MV-Behandlung entnommen. Die Abwasserprobe wurde nach der Entnahme ins OST-Labor

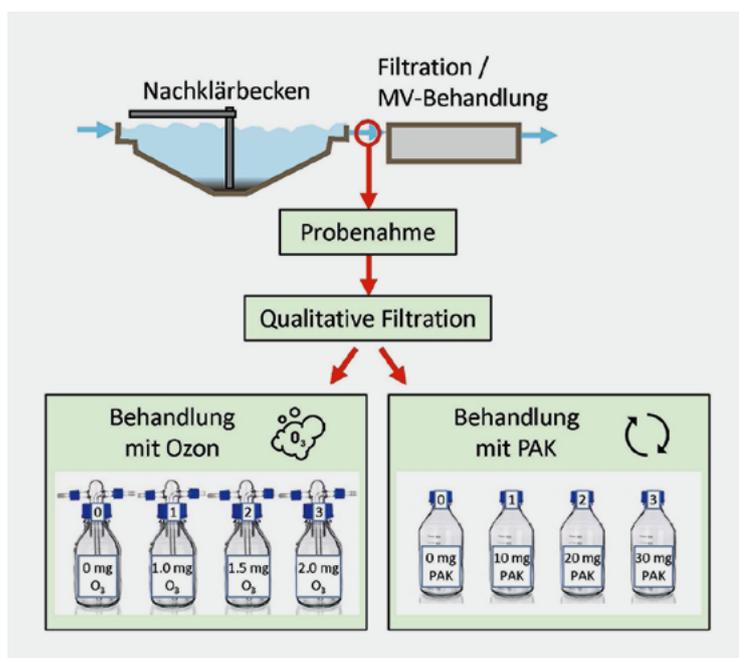


Fig. 2 Ablauf des experimentellen Teils. Die Dosierung mit Ozon bzw. PAK wurde so gewählt, dass daraus eine Reduktion der MV (ØEMV) von ca. 40%, 60% und 80% resultierte.

gebracht und dort einer qualitativen Filtration unterzogen. Dieser Schritt schafft vergleichbare Startbedingungen. Ein Teil der Abwasserprobe wurde mit Ozon behandelt, der zweite Teil mit Pulveraktivkohle. Pro zehn Liter Abwasserprobe wurden acht Proben generiert, die anschliessend analysiert wurden: vier Proben Ozon und vier Proben Aktivkohle. Je drei Proben wurden mit unterschiedlicher Menge Ozon bzw. Aktivkohle behandelt. Je eine Probe blieb ohne Behandlung. Der Ablauf der Experimente wird durch das Flussdiagramm in Fig. 2 veranschaulicht.

Nach der Behandlung der Proben mit Ozon bzw. Aktivkohle wurden die Proben geteilt. Bei einem Teil wurde die fotometrische Messung direkt nach der Behandlung durchgeführt. Der andere Teil wurde vor der photometrischen Messung filtriert. Die filtrierten Proben wurden anschliessend mit HPLC-MS/MS analysiert, um den Gehalt der Leitsubstanzen zu bestimmen. Dabei wurden die Leitsubstanzen gemäss UVEK-Verordnung [2] berücksichtigt (Tab. 1).

Sehr gut eliminierbare Substanzen gemäss UVEK-Verordnung (Kategorie 1)	Gut eliminierbare Substanzen gemäss UVEK-Verordnung (Kategorie 2)
<ul style="list-style-type: none"> • Amisulprid • Carbamazepin • Citalopram • Clarithromycin • Diclofenac • Hydrochlorothiazid • Metoprolol • Venlafaxin 	<ul style="list-style-type: none"> • Benzotriazol • Candesartan • Irbesartan • 4-Methylbenzotriazol und 5-Methylbenzotriazol als Gemisch

Tab. 1 Leitsubstanzen für die Beurteilung des Reinigungseffekts bei der Elimination organischer Spurenstoffe gemäss UVEK-Verordnung [2].

Fig. 3 zeigt beispielhaft die Veränderung des Absorptionsspektrums, die durch die Behandlung des Abwassers mit Ozon verursacht wird. Je grösser die dosierte Menge Ozon bzw. Aktivkohle, desto kleiner die UV-Absorption. Es ist zu sehen, dass die Absorption unterhalb von 235 nm stark zunimmt und kein Unterschied zwischen der Referenz (unbehandelte Probe) und den behandelten Proben gemessen werden kann.

Berechnung des ØEMV

Der ØEMV wurde nach Gleichung 1 berechnet:

$$\text{ØEMV} = \frac{2}{3} * \text{ØEMV}_{\text{Kat.1}} + \frac{1}{3} \text{ØEMV}_{\text{Kat.2}} \quad \text{Gl. 1}$$

ØEMV_{Kat.1} bildet den Mittelwert der (verfügbaren) Eliminationswerte aus Kategorie 1 der Leitsubstanzen gemäss Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen [2]; ØEMV_{Kat.2} dementsprechend aus Kategorie 2 der Leitsubstanzen. Die Berechnungsmethode entspricht der im Kanton Zürich angewendeten Praxis.

Berechnung des ΔSAK

Der ΔSAK wurde nach Gleichung 2 berechnet:

$$\Delta\text{SAK} = 1 - \frac{\text{SAK}_{\text{Probe},i}}{\text{SAK}_{\text{Referenz}}} \quad \text{Gl. 2}$$

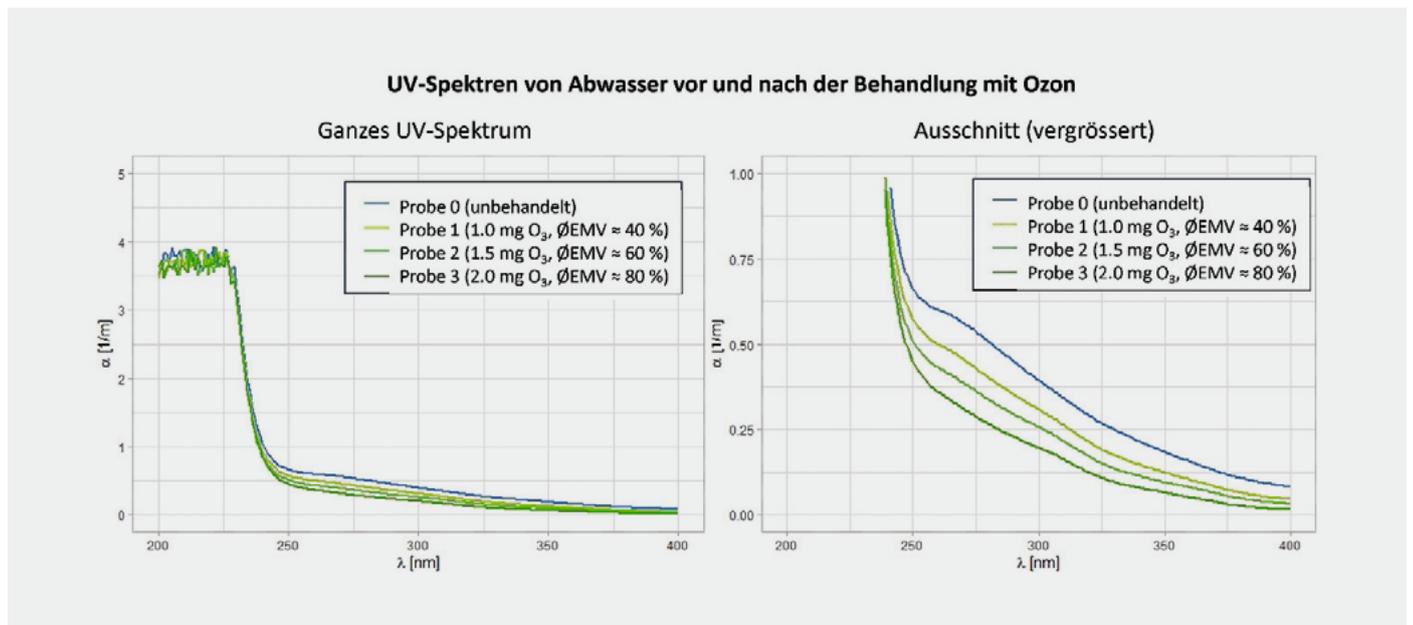


Fig. 3 UV-Spektren der Abwasserproben (links: ganzes Spektrum, rechts: Ausschnitt vergrößert). Mit zunehmender MV-Elimination sinkt die UV-Absorption.

Der SAK_{Referenz} wurde mit unbehandeltem Abwasser bestimmt und der SAK_{Probe,i} mit behandeltem Abwasser.

ERGEBNISSE

KORRELATION DER MV-ELIMINATION (ØEMV) MIT DER ÄNDERUNG DES SAK (ΔSAK)

Um die beiden erfassten Parameter ØEMV und ΔSAK miteinander zu vergleichen, wurden die beiden Parameter für jede Wellenlänge zwischen 200 und 400 nm gegeneinander aufgetragen. Bei acht untersuchten Kläranlagen und jeweils drei Dosierungen resultierten für jede Wellenlänge je 24 Punkte für Ozon und für PAK. Mit diesen 24 Punkten wurde eine lineare Regression erstellt, wobei das Bestimmtheitsmass R² als Grundlage

für die Bewertung der Qualität des linearen Modells verwendet wurde. Als Beispiel sind in Figur 4 die Resultate für die Ozonbehandlung und eine Wellenlänge von λ = 254 nm dargestellt. R² beträgt für diesen Fall 0,81.

Anschliessend wurden die für jede Wellenlänge ermittelten Werte von R² separat für filtrierte und für unfiltrierte Proben untereinander verglichen. Die Auswertung dieser Vergleiche ist in den folgenden Abschnitten dargestellt.

FILTRIERTER PROBEN

Die Aufbereitung der Proben mit einer Filtration (Porengrösse von 0,7 μm) erlaubte das Erstellen von Modellen mit sehr hoher Qualität (R² > 0,8). Die grösstmögliche Korrelation von ΔSAK und ØEMV wurde im Bereich von 350 nm festgestellt.

Die beiden Diagramme in Figur 5 zeigen das R² in Abhängigkeit zur Wellenlänge λ:

links für das mit Ozon behandelte Abwasser und rechts für PAK; die roten Linien markieren den Datenpunkt für eine Wellenlänge von 254 nm. Zu sehen ist, dass Wellenlängen unterhalb von 235 nm generell ungeeignet zur Bestimmung des ΔSAK sind.

Die höchsten Werte für R² bei mit Ozon behandeltem Abwasser wurden bei 246 nm (R² = 0,89) sowie zwischen 290 und 400 nm beobachtet. Dabei lag das Maximum bei 351 nm (R² = 0,93). Bei mit PAK behandeltem Abwasser lagen die höchsten Werte für R² zwischen 300 und 400 nm, mit einem Maximum bei 347 nm (R² = 0,89).

UNFILTRIERTER PROBEN

Wird nach der MV-Behandlung keine Filtration der Proben vorgenommen und die fotometrischen Messungen mit Rohabwasser durchgeführt, fällt die Korrelation von ΔSAK und ØEMV insgesamt

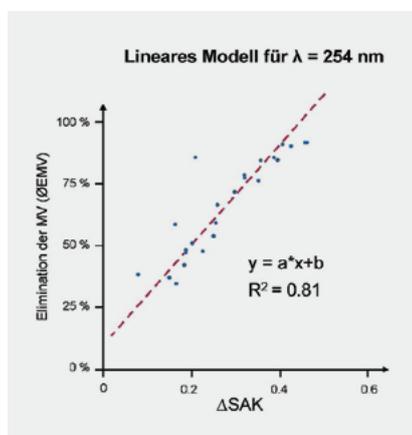


Fig. 4 Korrelation der beiden Parameter ØEMV und ΔSAK bei einer Wellenlänge von 254 nm für Abwasser, das mit Ozon behandelt wurde.

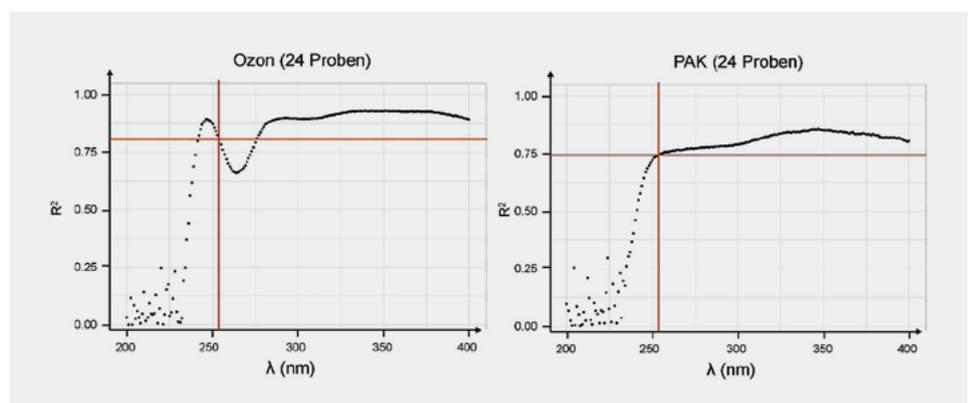


Fig. 5 Abhängigkeit von R² von der beim ΔSAK verwendeten Wellenlänge bei filtrierten Proben (links nach Ozon-Behandlung, rechts nach PAK-Behandlung).

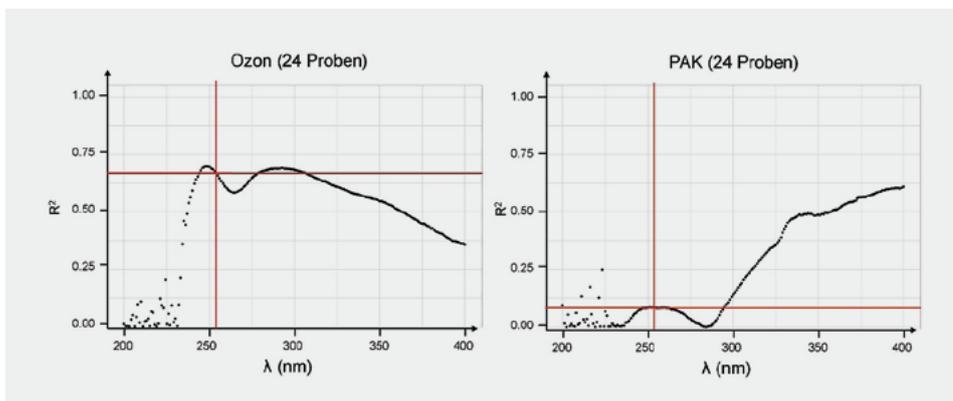


Fig. 6 Abhängigkeit von R^2 von der beim Δ SAK verwendeten Wellenlänge bei unfiltrierten Proben (links nach Ozon-Behandlung, rechts nach PAK-Behandlung).

kleiner aus als bei den filtrierten Proben. Die beiden Diagramme in *Figur 6* zeigen das R^2 in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ : links für das mit Ozon behandelte Abwasser und rechts für PAK; die roten Linien markieren den Datenpunkt für eine Wellenlänge von 254 nm.

Die höchsten Werte für R^2 bei mit Ozon behandeltem Abwasser wurden mit $R^2 = 0,69$ bei 248 nm sowie zwischen 280 nm und 300 nm beobachtet. Bei mit PAK behandeltem Abwasser lagen die Werte für R^2 unterhalb von 350 nm in einem unbrauchbar tiefen Bereich ($R^2 < 0,5$). Von 350 nm bis 400 nm stieg der Wert für R^2 über 0,6 mit einem Maximum bei 400 nm ($R^2 = 0,61$), was einen deutlichen Vorteil gegenüber der Wellenlänge von 254 nm bedeutet.

FAZIT

Die Abnahme des spektralen Absorptionskoeffizienten ist ein zuverlässiges Mass für die Eliminationsleistung von MV (\emptyset EMV) in der Abwasserreinigung. Dabei ist die heute verwendete Wellenlänge von 254 nm aber nicht die beste Wahl. Bei filtrierten Proben wurden im Bereich von 350 nm deutlich bessere Korrelatio-

nen gefunden als bei 254 nm. Δ SAK ist somit bei einer Wellenlänge von 350 nm als Parameter zur Vorhersage von \emptyset EMV deutlich besser geeignet als bei den heute verwendeten 254 nm. Dabei ist Δ SAK sowohl für Ozon- als auch für Aktivkohlesysteme ein aussagekräftiger Parameter, um die \emptyset EMV vorherzusagen bzw. zu überwachen. Wird auf eine Filtration der Proben vor der fotometrischen Messung verzichtet, sinkt die Aussagekraft des Δ SAK.

AUSBLICK

Die Ergebnisse zeigen ein Optimierungspotenzial bei der Regelung der MV-Eliminationsstufen von kommunalen Kläranlagen durch eine angepasste Wellenlänge auf. Eine kleine Anpassung bietet die Möglichkeit zur verbesserten Überwachung und Regelung von Ozonanlagen in bestehenden Systemen. Die bedarfsgerechte Regelung erlaubt die konsequente Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben bei reduzierten Betriebskosten. Der Energiebedarf kann dadurch gesenkt und CO_2 eingespart werden.

Die Eignung des SAK zur Überwachung von Ozonanlagen war bereits vor dieser Untersuchung bekannt. Ein Zusammenhang von Δ SAK und \emptyset EMV wurde nun auch bei mit Aktivkohle behandeltem Abwasser festgestellt. Die Korrelation von Δ SAK und \emptyset EMV ist bei filtrierten Proben ähnlich stark ausgeprägt wie bei Ozon. Es eröffnen sich somit neue Anwendungs-

gebiete. Ein besonders geeigneter Anwendungsfall stellt, aus Sicht der Autoren, die Überwachung von GAK-Filtern dar. Die Filter können durch die Messung des SAK am Ein- und Auslass bis an die Kapazitätsgrenze betrieben werden und müssen nicht nach einer bettvolumenabhängigen Standzeit ersetzt werden.

Der Einsatz bei PAK-Systemen gestaltet sich schwieriger, da die PAK zusammen mit dem Rücklaufschlamm auf der ganzen ARA verteilt wird. Die MV-Behandlung erfolgt deswegen auf verschiedenen Verfahrensabschnitten der ARA. Die Bestimmung des Δ SAK müsste bspw. über Sonden im Zu- und Ablauf der ARA erfolgen anstatt im Zu- und Ablauf der MV-Stufe. Wie die Korrelation für so ein System aussähe, kann anhand der durchgeführten Experimente nicht abschliessend beurteilt werden, da nur biologisch gereinigtes Abwasser untersucht wurde. Dass ein Zusammenhang von Δ SAK und \emptyset EMV, bei entsprechender Aufbereitung der Proben, auch bei Messung des SAK im Zu- und Ablauf der ARA festgestellt werden kann, ist zu erwarten.

KOMPETENZZENTRUM FÜR MATHEMATIK UND NATURWISSENSCHAFTEN

Das KMN Kompetenzzentrum für Mathematik und Naturwissenschaften an der OST Ostschweizerischen Fachhochschule Rapperswil ist der Zusammenschluss der drei Fachgruppen für Mathematik, technische Physik und angewandte Chemie. Das vorliegende Projekt wurde in der Fachgruppe für angewandte Chemie durchgeführt.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Meier, A. (2018): *Erfahrungen mit UV/VIS-Sonden zur Überwachung der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen*, VSA, Glattbrugg
- [2] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) (2016): *Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen*, Bern

HERZLICHEN DANK!

Wir bedanken uns herzlich bei den Klärwärtern der beteiligten ARA für die Möglichkeit, ihr Abwasser zu untersuchen, und für die Unterstützung bei der Probenahme.

Fängt keine Schurken, ist trotzdem ein Meisterdetektiv

Der Geräuschlogger **ZoneScan AI**
überwacht Wasserversorgungsnetze.
Permanent, flächendeckend, automatisch.
Das macht ihn zum unentbehrlichen
Alltagshelfer in Gemeinden und Städten.

Ihr Nutzen?

**Sie sparen. Kosten und
wertvolles Trinkwasser.**

Wir zeigen wie viel.

Wälli AG Ingenieure

14 × in der Schweiz

A-Vertretung Gutermann AG



www.waelli.ch/
zonescan



swan
ANALYTICAL INSTRUMENTS



CHEMATEST 42



AMI SAC254

CHEMATEST 42

NEU mit integrierter Trübungsmessung
und einem grossen Messbereich.

AMI SAC254

Bestimmung von organischer Substanzen
(DOC, TOC). Fehlerfrei und beständig gegen
Verschmutzung.

verlässlich – benutzerfreundlich – robust

Swan Wasseranalytik AG · CH-8340 Hinwil

www.dach.swan.ch

wasseranalytik@swan.ch

SWISS  MADE

 Trinkwasser und kommunales Abwasser

