

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 136 (2010)
Heft: 36: Nach dem Abfluss

Artikel: Mikroverunreinigungen reduzieren
Autor: Abegglen, Christian / Böhler, Marc
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-130709>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

MIKROVERUNREINIGUNGEN REDUZIEREN

Titelbild

Edelstahl-Wärmetauscher einer Hausanlage zur Nutzung der Abwasserwärme
(Foto: FEKA Energiesysteme AG)

ÄNDERUNG DER GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG (cc/pd)

Das Uvek möchte die Reinigungsleistung der ARA für Mikroverunreinigungen deutlich verbessern und hat daher Ende 2009 einen Entwurf zur Revision der Gewässerschutzverordnung in die Vernehmlassung geschickt. Er sieht vor, 100 der insgesamt 700 ARA in der Schweiz bis spätestens 2022 aufzurüsten. Vor allem grosse ARA, solche an Gewässerabschnitten mit einer ungenügenden Verdünnung des gereinigten Abwassers im Fließgewässer sowie ARA an Gewässern, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, sollen aufgerüstet werden. Die erforderlichen Investitionskosten werden auf 1.2 Mrd. Franken geschätzt, die jährlichen Betriebskosten auf 130 Mio. Franken. Damit würden sich die Kosten für die Abwasserentsorgung um rund 6 % erhöhen. Diese Kosten sollen nach dem Verursacherprinzip durch die Inhaber der ARA über die Abwassergebühren finanziert werden.

Die Finanzierung war denn auch einer der wesentlichen Kritikpunkte in der Vernehmlassung. Nicht goutiert wurde insbesondere die Tatsache, dass der Bund nicht mitzahlen will. Dass nur die Gebührenzahler der betroffenen ARA und nicht alle Verursacher die Kosten tragen müssen, führe ausserdem zu einer Ungleichbehandlung. Die Änderung der Verordnung noch vor Abschluss der Pilotversuche und ohne Erfahrungen im Dauerbetrieb der neuen Reinigungsstufen wurde als übereilt und unausgereift kritisiert. Zudem sei der Umsetzungszeitraum zu knapp bemessen.

Mitte August liess sich die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (Urek-S) über die Anhörungsergebnisse unterrichten. Die Kommission ist von der Notwendigkeit der Massnahmen überzeugt, stellte aber fest, dass der Finanzierungsvorschlag ungeeignet ist. Sie beschloss einstimmig, eine Kommissionsmotion einzureichen, die den Bundesrat auffordert, eine verursachergerechte Finanzierung für die Eliminationen von Spurenstoffen im Abwasser zu schaffen.

Mikroverunreinigungen im Abwasser sind eines der drängendsten Probleme im Gewässerschutz. Sie können in den Kläranlagen nicht ausreichend entfernt werden und gelangen dadurch in die Gewässer. Die Kläranlagen sollen daher mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe aufgerüstet werden. Zur Diskussion stehen die Ozonung oder die Adsorption an Pulveraktivkohle. Beide Verfahren werden derzeit in Labor- und grosstechnischen Versuchen hinsichtlich Wirksamkeit, Kosten und Energiebedarf evaluiert.

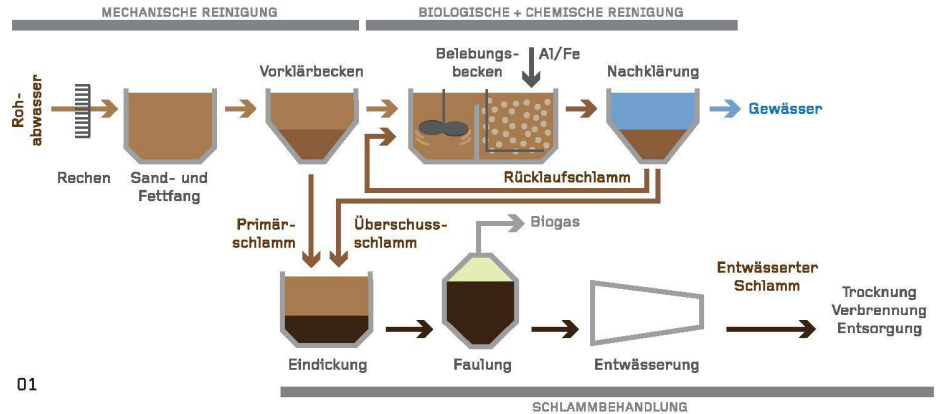
Heutige Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sind darauf ausgerichtet, Feststoffe, organische Substanz und Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor zu entfernen. Sogenannte Mikroverunreinigungen werden aber nur ungenügend reduziert. Mikroverunreinigungen sind organische Stoffe, die in sehr tiefen Konzentrationen (Milliarden- bis Billionstel Gramm pro Liter) in den Gewässern vorkommen. Sie stammen aus Pflanzenschutzmitteln, Körperpflegeprodukten, Reinigungsmitteln oder Medikamenten und gelangen zu einem grossen Teil über die Siedlungsentwässerung in die Gewässer, vor allem über die Ausläufe der kommunalen ARA.

In stark mit Abwasser belasteten Gewässerabschnitten können einzelne dieser Stoffe Konzentrationen erreichen, die sich nachteilig auf Gewässerlebewesen auswirken können.^{1,2} So wurde beispielsweise festgestellt, dass hormonaktive Stoffe zur Verweiblichung männlicher Fische führen. Ausserdem können Mikroverunreinigungen Trinkwasserressourcen beeinträchtigen, zumal sich die schwer abbaubaren Stoffe auch im Grundwasser nachweisen lassen. Um eine ausreichende Qualität des Rohwassers für die Trinkwasserproduktion zu gewährleisten und negative ökologische Auswirkungen zu minimieren, gibt es Bestrebungen, den Eintrag von Mikroverunreinigungen aus kommunalen ARA in die Gewässer zu verringern.³

TEIL DER «STRATEGIE MICROPOLL»

Mit welchen Massnahmen das erreicht werden kann, wird im Rahmen des Projekts «Strategie MicroPoll» untersucht, das 2006 vom Bundesamt für Umwelt (Bafu) gestartet wurde. Dazu gehören unter anderem technische Versuche, mit denen getestet wird, ob durch die Einführung einer zusätzlichen Reinigungsstufe in Kläranlagen Mikroverunreinigungen entfernt werden können. Die meisten ARA haben heute drei Reinigungsstufen – eine mechanische, eine biologische und eine chemische (Abb. 1). Als mögliche zusätzliche Reinigungsstufe werden die Ozonung sowie die Adsorption an Pulveraktivkohle (PAK) im Labor- und im Grossmassstab untersucht.

Die Ozonung wurde in der ARA Wüeri in Regensdorf während etwa 18 Monaten bis Oktober 2008 betrieben (vgl. TEC21 38/2007 und 37-38/2009).⁴ Bis Spätsommer 2010 läuft ein zweiter grosstechnischer Versuch in der ARA Lausanne. Dort wird zudem eine grössere Pilotanlage mit einer PAK-Adsorption betrieben.⁵ Zusätzlich werden am Wasserforschungsinstitut Eawag in Dübendorf verschiedene Varianten der PAK-Adsorption im Labormassstab untersucht und teilweise in grösseren ARA verifiziert.^{5,6,7} In diesem Artikel werden vorwiegend Resultate der Versuche in Regensdorf (Ozonung) und an der Eawag (PAK-Adsorption) vorgestellt. Die bisherigen Resultate in Lausanne zeigen aber vergleichbare Tendenzen.



01

OZONUNG

Ozon, das aus drei Sauerstoffatomen besteht, hat eine stark oxidierende Wirkung. Es greift viele Substanzen an und wandelt sie chemisch um. Da Ozon sehr instabil ist, muss es am Einsatzort aus getrockneter Luft oder flüssigem Sauerstoff produziert werden. Dann wird es gasförmig in den Abwasserstrom eingeblasen. Eine Ozonanlage in einer ARA besteht im Wesentlichen aus Ozonerzeugung, Kontaktreaktor, Abluftreinigung und Prozesssteuerung (Abb. 2).

Die Auswirkung der Ozonung auf die Qualität des Abwassers wurde in der ARA Regensburg anhand von chemischen, ökotoxikologischen und biologischen Parametern untersucht. Es zeigte sich, dass durch die Ozonung sowohl die Anzahl der messbaren Mikroverunreinigungen als auch deren Konzentrationen substantiell abnahmen. So konnten vor Inbetriebnahme der Ozonungsstufe von den 50 untersuchten Stoffen 31 im Ablauf der Kläranlage nachgewiesen werden, während es nach der Inbetriebnahme nur noch 16 Substanzen waren. Die Gesamtkonzentration der gemessenen Mikroverunreinigungen sank von rund 15 µg/l auf etwa 3,5 µg/l. Betrachtet man einzelne Stoffgruppen, so wurden z. B. die untersuchten Östrogene komplett eliminiert. Es gibt aber auch Substanzgruppen, beispielsweise die iodierten Röntgenkontrastmittel, die kaum angegriffen werden. Insgesamt wird das gereinigte Abwasser durch die Ozonung aber wesentlich von Mikroverunreinigungen befreit.

UNERWÜNSCHTE REAKTIONSPRODUKTE?

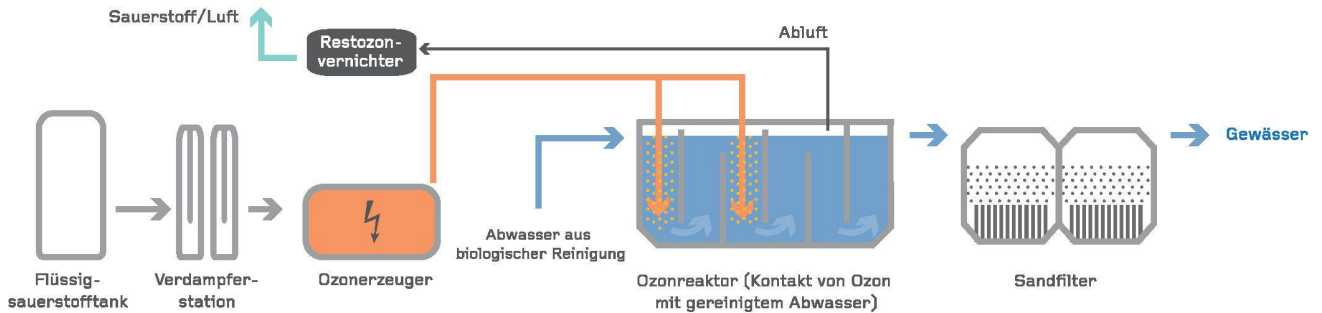
Ein Problem der Ozonung ist, dass sie die angegriffenen Substanzen nicht komplett eliminiert, sondern sie lediglich in grösstenteils unbekannte Reaktionsprodukte umwandelt. Man wollte daher wissen, ob diese Produkte weniger schädlich sind als die Ausgangsstoffe. Dafür wurden die wenigen bekannten, unerwünschten Umwandlungsprodukte mittels chemischer Analytik untersucht. Man stellte fest, dass ihre Konzentrationen im Auslauf der Ozonung deutlich unterhalb von Richtwerten für Trinkwasser lagen.

Ergänzend wurden ökotoxikologische Tests durchgeführt, um zu untersuchen, ob durch die Ozonung die toxischen Effekte auf Organismen reduziert werden oder ob das Abwasser nach der Behandlung «schädlicher» ist.⁴ Viele ökotoxikologisch relevante Effekte (zum Beispiel Hormonaktivität) wurden deutlich reduziert. Bei zwei dieser Tests wurde aber direkt nach der Ozonung eine Verschlechterung gegenüber dem biologisch gereinigten Abwasser beobachtet. Dies ist vermutlich auf die Bildung von labilen Reaktionsprodukten zurückzuführen. Nach dem Durchlaufen des nachgeschalteten Sandfilters waren diese negativen Effekte jedoch verschwunden. Um den Eintrag solcher Reaktionsprodukte in die Gewässer zu vermeiden, wird empfohlen, der Ozonung eine weitere Stufe (etwa Sandfilter) nachzuschalten, wo sie biologisch abgebaut werden können (Abb. 2).

Mit dem grosstechnischen Versuch in Regensburg konnte gezeigt werden, dass eine Ozonung mit relativ geringem Aufwand in eine bestehende Anlage integriert werden kann. Eine Herausforderung war die Steuerung der Ozondosierung. Wird zu wenig Ozon dosiert, ist die Elimination der Mikroverunreinigungen ungenügend. Wird zu viel dosiert, steigen einerseits die Kosten für den Betrieb, andererseits wird Ozon aus dem Reaktor ausgetragen, was sich negativ auf den vor allem aus Bakterien bestehenden Biofilm im Sandfilter auswirkt. Mit

01 Schema einer heute üblichen, dreistufigen Abwasserreinigungsanlage mit mechanischer, biologischer und chemischer Reinigungsstufe sowie Behandlung des anfallenden Schlamms (Grafiken: Autoren/Anna-Lena Walther)

02



zunehmender Erfahrung werden hier aber noch wesentliche Optimierungen möglich sein. Da Ozon ein stark reizendes Gas ist, sind beim Einsatz einer Ozonungsanlage entsprechende Sicherheitsvorkehrungen (Abdichtungen, Gasdetektoren, Alarmsysteme) zu treffen, um das Personal zu schützen.

ADSORPTION AN PULVERAKTIVKOHLE

Die zweite untersuchte Option für die Entfernung von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser ist die Adsorption an Pulveraktivkohle. Adsorption bezeichnet die Bindung von Stoffen an der Oberfläche von Feststoffen. Die Stoffe werden dabei chemisch nicht verändert, sodass im Gegensatz zur Ozonung keine Abbauprodukte entstehen.

Wie effizient Aktivkohle die Mikroverunreinigungen entfernt, hängt wesentlich davon ab, an welcher Stelle in der Kläranlage sie zugegeben wird. Eine Schwierigkeit bei allen Methoden ist, die zugegebene Aktivkohle wieder vom Wasser zu trennen, bevor dieses in ein Gewässer eingeleitet wird.

Die einfachste Möglichkeit, die an der Eawag untersucht wird, ist die Zugabe der Aktivkohle in die biologische Reinigungsstufe (Abb. 3a) und die anschliessende Entfernung zusammen mit dem Belebtschlamm im Nachklärbecken. Da aber in der biologischen Reinigungsstufe die Konzentration an organischem Kohlenstoff (DOC), der die Adsorption der ebenfalls organischen Mikroverunreinigungen konkurrenziert, hoch ist, ist dieses Verfahren wenig effizient und braucht grosse PAK-Mengen. Dafür sind die Investitionskosten tief, da die bestehenden ARA nur geringfügig umgebaut werden müssen.

Favorisiert wird derzeit die Zugabe von Aktivkohle in den Ablauf der Nachklärung, da hier die Konzentration des DOC geringer ist. Das Abwasser wird dabei nach Verlassen der biologischen Reinigungsstufe und des Nachklärbeckens in einen separaten Adsorptionsreaktor geleitet, wo die PAK zugegeben wird. Anschliessend wird die PAK mittels Sedimentation oder Membranfiltration (Abb. 3b) abgetrennt. Diese Verfahren werden an der Eawag (Sedimentation) und in Lausanne (Membran) getestet. Im Fall der Sedimentation ist zusätzlich eine nachgeschaltete Filtration notwendig, da der Feinanteil der PAK schlecht sedimentiert. Eine Möglichkeit, die Effizienz dieses Adsorptionsprozesses zu verbessern, ist, die Kohle im Kreis zu führen. Bei zweistufigen Verfahren wird daher die vom Abwasser abgetrennte Aktivkohle, die dann schon teilweise mit Mikroverunreinigungen «beladen» ist, nochmals in die biologische Stufe zurückgeführt. Weil dort der Gehalt an Mikroverunreinigungen noch höher ist, kann die Aktivkohle noch mehr adsorbieren. Ein Nachteil des Verfahrens mit separatem Adsorptionsreaktor ist der höhere Platzbedarf.

Die Ergebnisse einer Pilotanlage der Eawag zur Elimination von Mikroverunreinigungen durch PAK zeigen, dass diese viele Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser eliminieren. Eine Rückführung der PAK in die biologische Stufe erscheint vorteilhaft, da für einige Stoffe, deren Elimination bei einer einstufigen Behandlung vergleichsweise gering ist (z. B. Röntgenkontrastmittel), eine deutlich verbesserte Reduktion erzielt wird.

VERGLEICH DER VERFAHREN

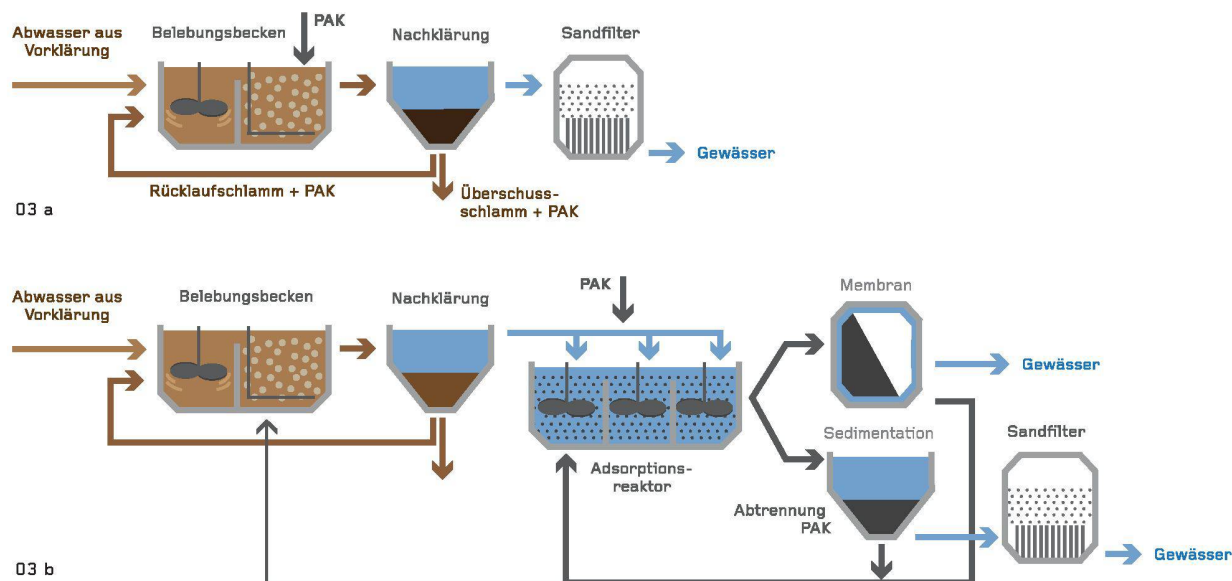
Die Qualität des gereinigten Abwassers verbessert sich mit beiden Verfahren deutlich, die Reinigungsleistung kann sich für einzelne Substanzen aber deutlich unterscheiden. Der

02 Verfahrensschema einer Ozonung:

Das gereinigte Abwasser gelangt aus dem Nachklärbecken in ein geschlossenes Becken, wo Ozon eingeblasen wird. Nicht verbrauchtes Ozon wird bei der Abluftbehandlung entfernt, damit kein Ozon ins Freie gelangt

03 Zwei mögliche Verfahrensvarianten für die Adsorption an Pulveraktivkohle (PAK):

- Zugabe der PAK direkt in die biologische Reinigungsstufe; Abtrennung der Kohle mit dem Belebtschlamm im Nachklärbecken
- Zugabe der PAK in einem separaten Adsorptionsreaktor; Abtrennung der Kohle durch Sedimentation oder Membranfiltration



Anmerkungen

- 1 R. Gälli, C. Ort und M. Schärer: «Mikroverunreinigungen in den Gewässern – Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung», in: Umwelt-Wissen Nr. 17/09, Bundesamt für Umwelt, Bern, 2008, S. 103
- 2 C. Götz, R. Kase, C. Kienle, J. Hollender: «Beurteilung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser», in: Gas Wasser Abwasser 7/2010, Zürich, 2010
- 3 Bafu (Hrsg.): Eintrag von organischen Spurenstoffen – Erläuternder Bericht zur Änderung der Gewässerschutzverordnung. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation – Bundesamt für Umwelt, 18.11.2009
- 4 C. Abegglen et al.: «Ozonung von gereinigtem Abwasser», in: Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf, Publikation zum Projekt «Strategie MicroPoll». Eawag, Dübendorf, 2009
- 5 Die Pilotversuche in Lausanne und an der Eawag werden im Sommer/Herbst 2010 abgeschlossen. Ende 2010 liegt der Schlussbericht mit den detaillierten Resultaten aus den Versuchen in Lausanne vor. Der aktuelle Kenntnisstand zu den Verfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser wie auch die Resultate und Schlussfolgerungen aller Micropoll-Versuche werden voraussichtlich Anfang 2011 in einer Bafu-Publikation veröffentlicht
- 6 M. Böhler et al.: «Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon», in: Eawag Zwischenbericht, Dübendorf, 2009
- 7 B. Zwickenpflug und M. Böhler: «Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus dem kommunalem Abwasser», in: 3. Zwischenbericht, Studie Eawag im Auftrag des Bafu. Dübendorf, 2009, www.eawag.ch/organisation/abteilungen/eng/schwerpunkte/abwasser/strategie_micropoll/pak_eawag/index (10.5.2010)

Einsatz von PAK bewirkt eine zusätzliche Elimination des organischen Kohlenstoffs, während Ozon dank seiner desinfizierenden Wirkung die Keimzahl reduziert.

Bezüglich der Kosten schneiden beide Verfahren ähnlich ab. Für grössere Anlagen belaufen sich die Mehrkosten (ohne Filtration) auf ca. 10 Rp./m³ Abwasser (das entspricht rund 10 Fr. pro Einwohner und Jahr), bei kleineren Anlagen sind es 15–25 Rp./m³ Abwasser. Ist noch kein Sandfilter vorhanden, ist mit weiteren 5–15 Rp./m³ zu rechnen.

Anders sieht es beim Energieverbrauch aus: Ozon wird vor Ort in einem energieintensiven Prozess hergestellt, d.h. der grösste Teil des Energieverbrauchs fällt in der ARA selbst an. Damit wird sich der Stromverbrauch im Durchschnitt schätzungsweise um ca. 20 % (ca. 0.06 kWh/m³ Abwasser; mit Filtration: ca. 30 % oder 0.1 kWh/m³) erhöhen. Gemäss einer Hochrechnung wird sich dadurch der Stromverbrauch der Abwasserreinigung in der Schweiz bei einer Ausrüstung von rund 100 grösseren ARA mit einer Ozonungsstufe (inkl. Filtration und Sauerstoffproduktion) von derzeit rund 400 GWh/a um 25 % auf etwa 500 GWh/a erhöhen. 100 GWh entsprechen etwa 0.15 % des Schweizer Stromverbrauchs.

Eine PAK-Stufe erhöht den Energieverbrauch der ARA nur unwesentlich. Die Herstellung der PAK ist jedoch sehr energieintensiv. Der Primärenergiebedarf für die PAK-Produktion liegt daher um einen Faktor 1.5 bis 3 höher als derjenige für die Ozonung.

Mit der PAK-Adsorption und der Ozonung stehen zwei Verfahren zur Verfügung, die organische Spurenstoffe in ARA weitgehend eliminieren können. Welches Verfahren für welche ARA geeignet ist, muss im Einzelfall geklärt werden (Platz, Abwasserzusammensetzung etc.). Aufgrund der Erfahrungen im In- und Ausland sind grundsätzlich beide Verfahren reif für die grosstechnische Anwendung, obwohl noch nicht restlos alle Fragen geklärt sind. Forschungsbedarf gibt es vor allem im Bereich Materialwahl und Steuerung/Regelung, bei der PAK zusätzlich bei der Abtrennung und Schlammbehandlung.

Andere Verfahren, die eine ähnliche Breitbandwirkung bezüglich der Elimination von Spurenstoffen zeigen und deren Kosten und Energieverbrauch in einem vertretbaren Rahmen sind, sind derzeit nicht in Sicht.

Christian Abegglen, Dr. sc. ETH, Umweltingenieur, Eawag, Dübendorf, christian.abegglen@eawag.ch;
Marc Böhler, dipl. Ing. FH, Eawag, Dübendorf, marc.boehler@eawag.ch; **Hansruedi Siegrist**, Prof. Dr., Leiter Abteilung Verfahrenstechnik, Eawag, Dübendorf, hansruedi.siegrist@eawag.ch

An den Projekten in Regensdorf sowie an der Eawag war eine Vielzahl von Forschenden, Behördenvertretern und Ingenieuren beteiligt. Die Autoren danken allen herzlich für ihren grossen Einsatz. Die Studien wurden vorwiegend vom Bundesamt für Umwelt (Bafu) sowie vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel) des Kantons Zürich finanziert.

Der Text ist eine gekürzte und überarbeitete Version eines Artikels, der in der Zeitschrift «gwa» Nr. 7/2010 erschienen ist.