

VERFAHRENSTECHNIK MIKROVERUNREINIGUNGEN

WWW.MICROPOLL.CH – WISSENSPLATTFORM DES VSA

Noch liegen in der Schweiz erst wenige grosstechnische Erfahrungen mit den Technologien zur Elimination organischer Spurenstoffe auf Abwasserreinigungsanlagen vor. Deswegen wurde 2012 die Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» gegründet und innerhalb des Verbands der Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) angesiedelt. Sie soll helfen, Wissen aufzubauen, den Austausch unter den Akteuren zu fördern sowie offene Fragen zu bearbeiten.

Pascal Wunderlin; Adriano Joss; Hansruedi Siegrist, Eawag
Christian Abegglen, Entsorgung und Recycling Zürich ERZ / VSA
Michael Schärer, Bundesamt für Umwelt BAFU*

RÉSUMÉ

TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES MICROPOLLUANTS

WWW.MICROPOLL.CH – PLATEFORME DE CONNAISSANCES DU VSA

En Suisse, environ 100 des 750 STEP seront dotées d'ici 2040 de procédés avancés d'élimination des micropolluants dans les eaux usées. Plusieurs procédés peuvent être mis en œuvre. Selon les connaissances actuelles, le traitement au charbon actif en poudre (dosage direct ou comme traitement en aval avec réintroduction dans l'étape de nettoyage biologique), de même que l'ozonation, sont appropriés. De nouveaux procédés sont en cours de développement et peuvent constituer des alternatives très prometteuses pour l'avenir. Un grand nombre de projets sont menés en raison du petit nombre d'expériences pratiques avec ces procédés. D'autre part, la plateforme du VSA «Techniques de traitement des micropolluants» a été créée dans le but de promouvoir le partage d'expériences entre les acteurs, de consolider des connaissances et de communiquer. Le traitement des questions en attente est également un aspect important – notamment dans le cadre des projets en cours.

N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des questions ou des idées concrètes. Vous trouverez sous www.micropoll.ch les dernières nouveautés, des informations sur les prochains événements, les bases des procédés techniques et bien d'autres choses encore.

HINTERGRUND

In der Schweiz werden bis 2040 rund 100 der 750 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) mit technischen Verfahren zur Spurenstoffelimination ausgerüstet. Einer Finanzierung dieser Massnahmen über eine gesamtschweizerische Spezialfinanzierung und der entsprechenden Änderung des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) haben die eidgenössischen Räte am 21. März 2014 in der Schlussabstimmung mit grosser Mehrheit zugestimmt. Der Bundesrat hat inzwischen auch das Inkrafttreten der Änderung des GSchG auf den 1. Januar 2016 festgelegt. Die Gewässerschutzverordnung (GSchV) wurde auch angepasst und befindet sich nun bis Ende März 2015 in der Vernehmlassung. Die Änderungen der GSchV werden voraussichtlich ebenfalls per 1.1.2016 in Kraft treten.

Die ARA sind bei der Wahl des Verfahrens zur Spurenstoffelimination grundsätzlich frei, sofern es zweckmässig und wirtschaftlich ist sowie die gesetzlichen Vorgaben bezüglich Reinigungseffekt und entsprechende Vorgaben der Kantone erfüllt. Da aber erst wenige Erfahrungen mit Verfahren zur Spurenstoffelimination auf ARA vorliegen, wurde nach vorbereitenden Gesprächen zwischen dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), Vertretern der Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der

* Kontakt: pascal.wunderlin@eawag.ch

Schweiz (KVU), des VSA, der Forschung und ARA-Betreibern die Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» innerhalb des Verbands der Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) gegründet und dem Centre de Compétences (CC) «Abwasserreinigung» angegliedert (Fig. 1). Sie verfolgt insbesondere folgende drei Ziele:

- Kompetenzaufbau
- Erfahrungsaustausch
- Bearbeitung offener Fragen (für weitere Details s. [1])

Die Plattform ist seit 2012 aktiv und hat sich in der Praxis gut etabliert. Weitere Informationen sind auf der Website (www.micropoll.ch) zu finden.

AUFGABEN UND ORGANISATION

Die Plattform ist zusammengesetzt aus einem Leitungsteam, einer ständigen Arbeitsgruppe sowie den korrespondierenden Mitgliedern (Fig. 1):

Leitungsteam

Das Leitungsteam besteht aus fünf Mitgliedern und ist für die operative Planung sowie die Begleitung von laufenden Arbeiten zuständig.

Arbeitsgruppe

Die Arbeitsgruppe umfasst 23 Personen aus verschiedenen Bereichen (Anlagenbau, -ausrüstung und -betrieb, Forschung, kantonale Gewässerschutzfachstellen, Ingenieurbüros). Sie beschäftigt sich mit der strategischen Planung, dem Setzen von Themenschwerpunkten, löst Projekte aus und bearbeitet diese, und erarbeitet Empfehlungen.

Korrespondierende Mitglieder

Die korrespondierenden Mitglieder werden über die laufenden Aktivitäten im Rahmen der zweimal jährlich erscheinenden Newsletter auf dem Laufenden gehalten. Sie haben die Möglichkeit, Anregungen und Themenschwerpunkte einzubringen, und werden auch für die Mit-

arbeit in Projekten angefragt. Aufgrund der Breite und Komplexität der Themen und der Relevanz der Plattform wurden die Aktivitäten bisher von einem Koordinator in einem Teilzeitpensum unterstützt. Ab Mitte 2015 werden dafür zwei Personen zur Verfügung stehen.

LAUFENDE AKTIVITÄTEN

Der Wissensaufbau und die Bearbeitung offener Fragen sind Schwerpunkte der Plattformaktivitäten. Gegenwärtig sind fünf Projekte in Bearbeitung:

Dimensionierung, Redundanz, Anforderungen In Baden-Württemberg (D) wurden bereits verschiedene grosstechnische Pulveraktivkohle (PAK)-Anlagen realisiert. Die meisten behandeln bei Regenwetter einen Teilstrom in der PAK-Stufe, d.h. ein Teil des biologisch gereinigten Abwassers wird an der PAK-Stufe vorbeigeleitet. Eine Begründung dafür ist, dass bei Regenwetter die Konzentrationen vieler Stoffe im

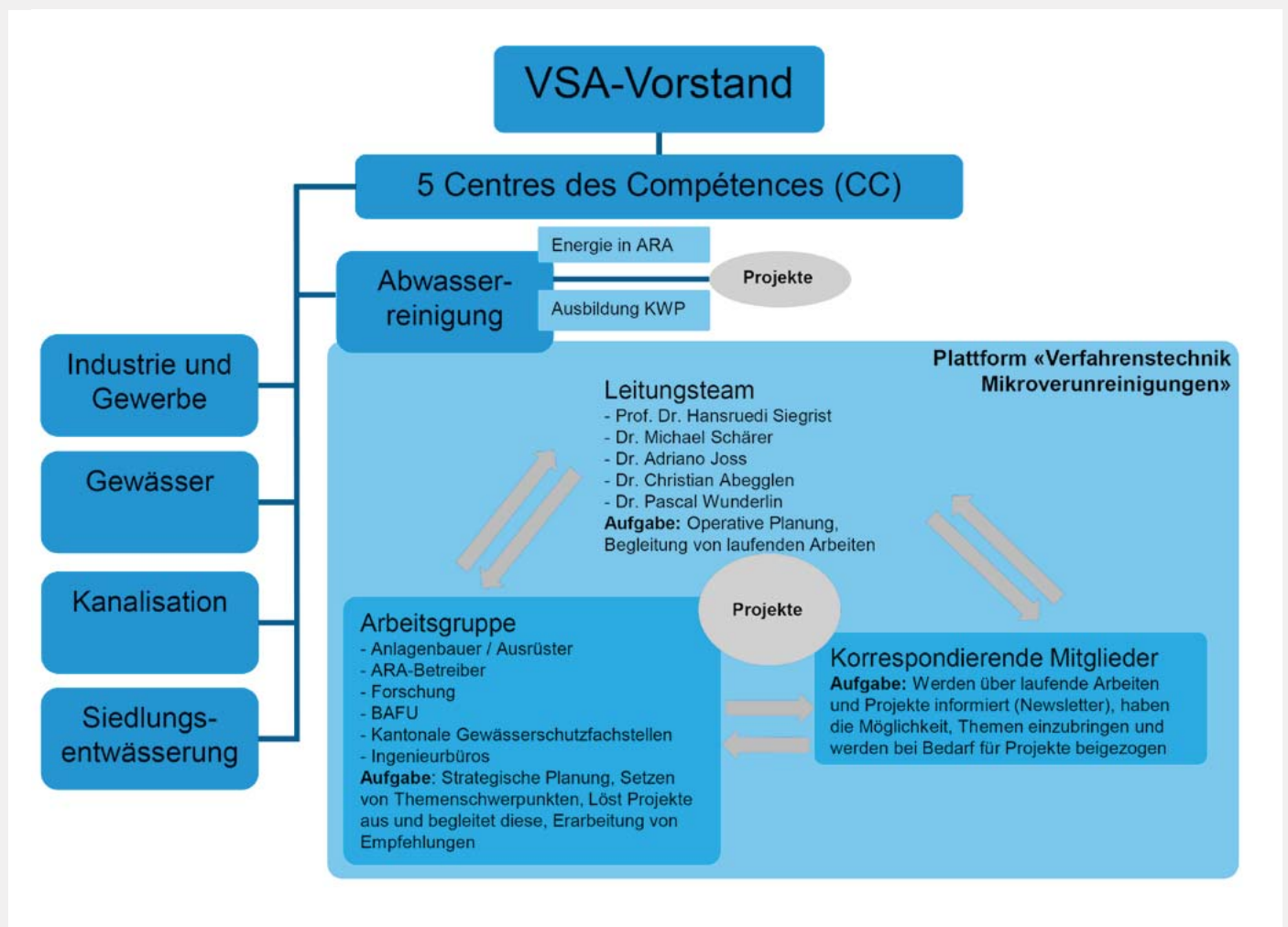


Fig. 1 Organisation der Plattform (Leitungsteam, Arbeitsgruppe, korrespondierende Mitglieder) sowie Übersicht über die Angliederung im VSA
 Organisation de la plateforme (équipe dirigeante, groupe de travail, membres correspondants) et aperçu du rattachement au VSA

Gewässer verdünnt sind und die Kosten für eine Vollstrombehandlung den zusätzlichen Nutzen nicht rechtfertigen.

Ziel des Projekts ist es, eine Empfehlung zu erarbeiten, um diese Frage für Schweizer ARA zu beantworten. Dazu wurde in einem ersten Schritt ein Grundlagenbericht erarbeitet, in dem sowohl der «Nutzen» als auch die Kosten für unterschiedliche Dimensionierungswassermengen quantifiziert wurden. Dieser Bericht wird Anfang 2015 auf Deutsch und Französisch vorliegen. Daneben wurden auch Kosten für Redundanzen ermittelt. Basierend auf dem Bericht wird derzeit eine Empfehlung erarbeitet, die nach einer Vernehmlassung im Jahr 2015 voraussichtlich auf im Sommer/Herbst 2015 publiziert wird.

Nachbehandlung

Bei einer PAK-Anlage ist eine weitgehende Kohleabtrennung von zentraler Bedeutung. Zur Abtrennung der PAK steht eine grosse Verfahrensvielfalt zur Verfügung. Im Gegensatz dazu muss der Ablauf einer Ozonung eine Stufe mit biologischer Aktivität durchlaufen, um allfällige problematische Reaktionsprodukte biologisch abzubauen. Auch hierfür gibt es eine grosse Verfahrensvielfalt. In diesem Projekt wird eine Übersicht über die verschiedenen Nachbehandlungsstufen sowie über mögliche Verfahrenskombinationen erarbeitet. Das bestehende Wissen wird dazu in einem modular aufgebauten Bericht zusammengetragen, der gezielt ergänzt werden kann, sobald weitere Informationen und Erfahrungen zu bestimmten Verfahren vorliegen. Wichtige Punkte der Verfahren sind unter anderem die Reinigungsleistung, der Ressourcenverbrauch, die Kosten sowie Schnittstellen zur bestehenden ARA.

Betriebsüberwachung und Betriebssicherheit

Beim Betrieb von weitergehenden Reinigungsstufen zur Spurenstoffelimination ist die Überprüfung des Reinigungseffekts ein wichtiger Aspekt. ARA-Betreiber können sich bei ihren täglichen Kontrollen nicht alleine auf gelegentliche, chemisch aufwendige Spurenstoffanalysen abstützen, sondern benötigen einfach zu messende «Hilfsgrössen», idealerweise Online-Messungen, um einen stabilen und zuverlässigen Betrieb sicherstellen zu können und allfällige Betriebsstörungen schnell zu erkennen und zu beheben. Daher werden aktuell in diesem Projekt Vorschläge und Konzepte für die betriebliche Überwachung erarbeitet. Daneben beschäftigt sich diese Projektgruppe auch mit Sicherheitsaspekten, für die anhand von Factsheets verschiedene Handlungsempfehlungen bereitgestellt werden.

Kennzahlen

In der Vergangenheit wurde wiederholt festgestellt, dass für einen Vergleich der Kosten und des Energieverbrauchs zwischen Anlagen klar definierte Referenzgrössen nötig sind. Um dies zu ermöglichen, werden in diesem Projekt einheitliche Kennzahlen für Energieverbrauch, Kosten und Reinigungsleistung definiert. Dazu gehören eine geschickte Wahl der Systemgrenzen, der Bezugsgrössen sowie einheitliche Berechnungsarten.

Testverfahren zur Eignung einer Ozonung bei speziellen Abwässern

Aus bisherigen Untersuchungen weiss man, dass die Ozonung zu einer deutlichen Reduktion der Toxizität des Abwassers führt. Zudem ist bekannt, dass in gewissen Abwässern bei der Ozonung auch eine Zunahme der Toxizität beobachtet werden

kann, z.B. bei ausgewählten Industrie- oder Deponiesickerwässern. Daher ist die Ozonung bei speziellen Abwässern nicht geeignet. An der Eawag wird deshalb aktuell ein modular aufgebautes, möglichst einfach durchführbares Testverfahren entwickelt, um die Eignung eines spezifischen Abwassers für die Ozonung im Rahmen der Planung einer weitergehenden Reinigungsstufe auf einer ARA zu untersuchen. Mit diesem mehrstufigen Testverfahren kann grob beurteilt werden, ob sich ein Abwasser bei der Ozonung «normal» oder «auffällig» verhält. Bei ausgeprägten Auffälligkeiten ist ein Einbau einer Ozonung nur geeignet, wenn weitergehende Abklärungen die Unbedenklichkeit dieses Verfahrens ergeben. Das Projekt ist derzeit in Arbeit, ein ausführlicher *Aqua & Gas*-Artikel darüber wird noch erscheinen.

INTERNATIONALER AUSTAUSCH

In Deutschland (v.a. Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen) sind bereits einige grosstechnische Anlagen zur Spurenstoffelimination in Betrieb. Der internationale Austausch ist daher ein wichtiger Aspekt für die Schweiz. Daneben ist die Plattform auch in Projekte des deutschen Umweltbundesamts und der DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) involviert. Es bestehen auch Kontakte zu Akteuren aus Frankreich, Italien, Österreich und Schweden.

UNTERSUCHUNGEN TECHNISCHER VERFAHREN ZUR ELIMINATION VON SPURENSTOFFEN

Im Rahmen des Projekts «Strategie Micropoll» des Bundesamts für Umwelt (BAFU) wurden eine Vielzahl von Projekten durchgeführt, um die Eignung von technischen Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen aus dem gereinigten Abwasser zu untersuchen. Es hat sich gezeigt, dass sowohl die Ozonung als auch der Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) geeignete Verfahren sind, da sie eine Vielzahl von Spurenstoffen weitgehend entfernen und die geforderte Reinigungsleistung von 80% gegenüber Rohabwasser erreichen [2]. *Figur 2* gibt eine Übersicht über bisher in der Schweiz durchgeführte, aktuell laufende sowie geplante Pilotprojekte und Realisierungen. Nachfolgend wird eine Auswahl detaillierter vorgestellt. Es wird auf die Verfahren mit Aktivkohle eingegangen, gefolgt von den Projekten zur Ozonung und weiteren neuartigen Verfahren. Im letzten Abschnitt werden die aktuellen Umsetzungen im grosstechnischen Massstab vorgestellt. Die vorhandenen (sowie die neu erscheinenden) Schlussberichte der Projekte sind unter www.micropoll.ch aufgeschaltet. Über die laufenden Projekte wird in den kommenden Newslettern der Plattform informiert.

EINSATZ VON AKTIVKOHLE

Die Aktivkohleanwendung lässt sich in vielen verschiedenen Verfahren umsetzen. Dabei können die folgenden Betriebsweisen unterschieden werden:

- Zugabe von Pulveraktivkohle (PAK) in eine nachgeschaltete Stufe (separater Kontaktreaktor, Dosierung vor dem Filter) und Rückführung der beladenen PAK in die biologische Stufe zwecks besserer Ausnützung der Kohle
- direkte PAK-Dosierung in die biologische Stufe
- Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) in einem Raumfilter

PAK-Einsatz in einem der Biologie nachgeschalteten Kontaktreaktor
Im Rahmen des Projekts «Strategie Micropoll» wurde an der Eawag der Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoff-

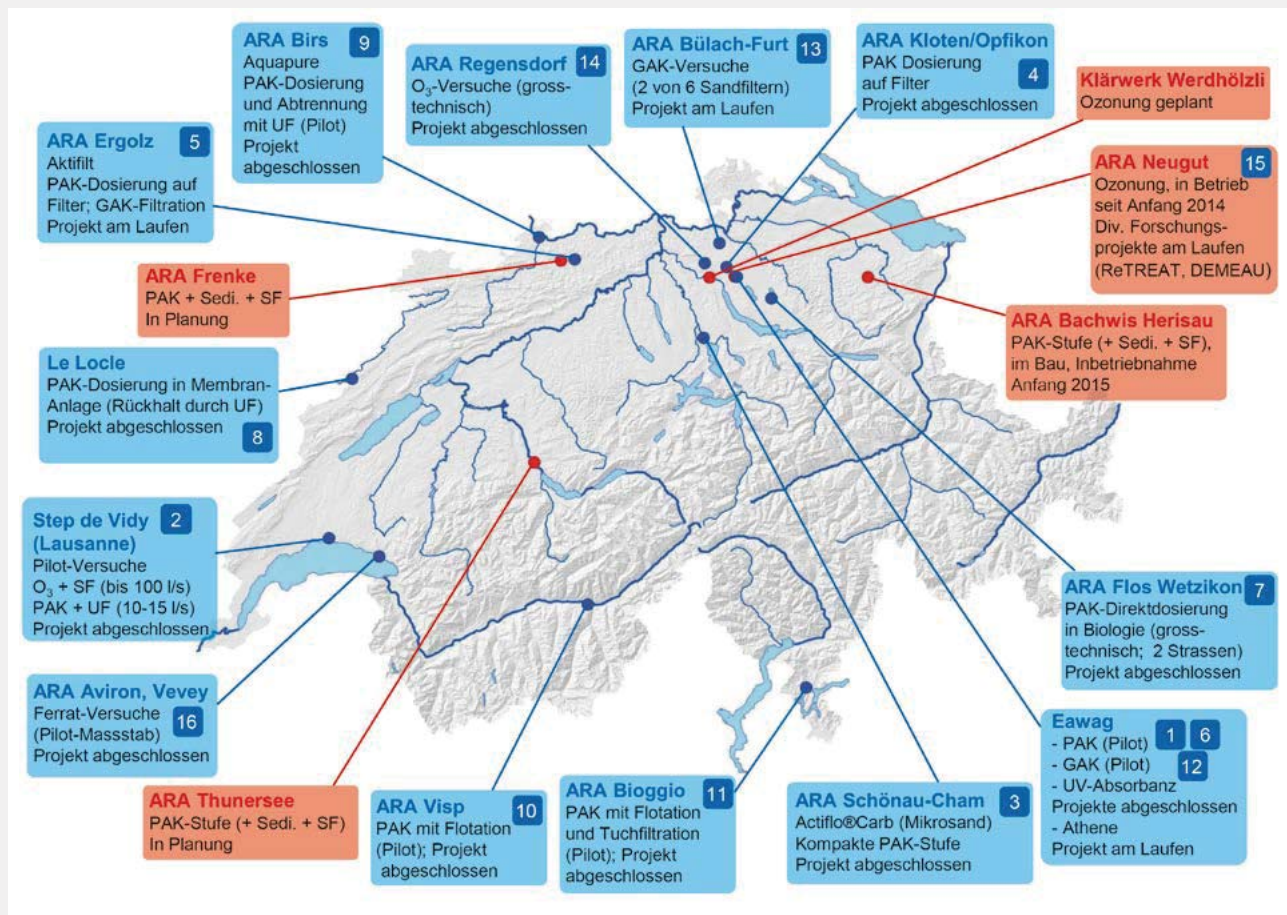


Fig. 2 Übersicht der Forschungsprojekte (am Laufen/abgeschlossen; blau) sowie der Ausbauprojekte (rot) zur Spurenstoffentfernung aus dem gereinigten Abwasser (UF: Ultrafiltration, PAK: Pulveraktivkohle, GAK: granuliert Aktivkohle, Sedi.: Sedimentationsstufe, SF: Sandfiltration, O₃: Ozon) (reproduced with permission of swisstopo / JA100119; Datenquelle: Eawag [3])

Aperçu des projets de recherche (en cours/achevés; bleu) ainsi que des projets de développement (rouge) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux usées (UF: ultrafiltration, CAP: charbon actif en poudre, CAG: charbon actif en grains, Sédi.: étape de sédimentation, FS: filtration sur sable, O₃: ozone) (reproduced with permission of swisstopo / JA100119; source de données: IFAEPE [3])

entfernung aus dem gereinigten Abwasser im Pilotmassstab untersucht [4, 5] (Projekt-Nr. 1 in Fig. 2). Dabei wurde die PAK in einem nachgeschalteten separaten Reaktor mit dem Abwasser in Kontakt gebracht. Die beladene PAK wurde in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt (Gegenstromprinzip), um eine effizientere Nutzung der Kohle zu erreichen: Durch die Rückführung der beladenen Kohle wird das Abwasser «vorbehandelt» (Entfernung der mit den Spurenstoffen konkurrierenden organischen Stoffe), damit in der nachfolgenden PAK-Stufe die frisch zugegebene Kohle effizienter genutzt werden kann. Es konnte gezeigt werden, dass erhöhte Konzentrationen an gelösten organischen Stoffen (DOC) eine höhere PAK-Dosis erfordern, und dass eine Rückführung der Aktivkohle aus der nachgeschalteten PAK-Stufe in die Biologie eine höhere Spurenstoffelimination bewirkt. Um den Abtrieb der Aktivkohle in den Vorfluter minimal zu halten,

wurde für die Abtrennung der PAK vom gereinigten Abwasser nach der Sedimentation ein Tuchfilter verwendet, was sehr gut funktioniert hat.

Auf der Kläranlage in Lausanne (STEP de Vidy) wurde ebenfalls im Rahmen des Projekts «Strategie Micropoll» der Einsatz von PAK im Pilotmassstab untersucht [6] (Projekt-Nr. 2 in Fig. 2). Durch die PAK-Abtrennung mittels Ultrafiltration konnte ein kompletter Rückhalt der Aktivkohle sowie eine weitgehende Entkeimung erreicht werden. Der relativ hohe Energieverbrauch der im Pilotversuch eingesetzten Membranen weist aber auf ein bedeutendes Optimierungspotenzial hin. Der Einsatz von PAK wurde auch in weiteren Projekten untersucht: In einem Umwelttechnologieprojekt wurde beispielsweise das Actiflo®Carb-Verfahren zur PAK-Abtrennung auf der ARA Schönau (Cham) getestet [7] (Projekt-Nr. 3 in Fig. 2). Dieses Verfahren ist im Vergleich mit konventionellen PAK-Sedimentations-

Verfahren deutlich platzsparender, da durch die Zugabe von Mikrosand und Polymeren die Aktivkohle sehr effizient vom gereinigten Abwasser abgetrennt werden kann. Die Resultate zeigen, dass die Spurenstoffeliminationsleistung vergleichbar ist zu herkömmlichen PAK-Verfahren, allerdings sind der Energieverbrauch sowie der Verbrauch von Chemikalien (Fällmittel, Flockungshilfsmittel, Sand) tendenziell höher.

PAK-Dosierung in den Zulauf der Filtration
Auf der ARA Kloten-Opfikon wurde die Direkt dosierung von PAK in den Filterzulauf untersucht [5, 8] (Projekt-Nr. 4 in Fig. 2). Trotz der kürzeren Kontakt- und Aufenthaltszeit der PAK im Sandfilter konnte – auch dank der Rückführung der beladenen Kohle mit dem Rückspülwasser in die biologische Reinigungsstufe – eine ausreichende Spurenstoffelimination erreicht werden. Zudem war die Art der Einmischung der PAK im Flockungsreak-

tor sowie die Flockungsmitteldosierung entscheidend für den Kohlerückhalt im Filter: Feine kompakte Flocken konnten im Filter effizient zurückgehalten werden, während zu grosse Flocken zu einem erhöhten Druckverlust geführt haben aufgrund einer Ablagerung auf der Filteroberfläche. Anhand dieser positiven Resultate wurde gefolgert, dass die PAK-Dosierung auf den Filter ein grosses Potenzial hat, da viele ARA in der Schweiz bereits mit einer Flockungsfiltration ausgerüstet sind.

Derselbe Versuchsaufbau wird derzeit auf der ARA Ergolz in Sissach im Rahmen des *Aktifilt*-Projekts volltechnisch getestet, um Langzeiterfahrungen (saisonale Effekte) zu sammeln (Projekt-Nr. 5 in *Fig. 2*).

Direktdosierung von PAK in die biologische Reinigungsstufe

Eine weitere Möglichkeit der PAK-Anwendung besteht in der direkten Dosierung in die biologische Reinigungsstufe. Dies wurde an der Eawag im Pilotmassstab (als Teil des Projekts «Strategie Micropoll») untersucht [4] (Projekt-Nr. 6 in *Fig. 2*). Es hat sich gezeigt, dass die Spurenstoffelimination bei gleicher PAK-Dosierung bei den nachgeschalteten Verfahren grösser ist. Dies kann dadurch erklärt werden, dass in der Biologie die DOC-Konzentrationen höher sind. Bei Kläranlagen mit knappen Platzverhältnissen kann diese Betriebsweise aber ein attraktives Verfahren darstellen.

Diese Ergebnisse konnten in einer grosstechnischen Studie auf der ARA Flos (Wetzikon) bestätigt werden (Projekt-Nr. 7 in *Fig. 2*). Dort wurde rund ein Drittel des Abwassers mit Aktivkohle behandelt und mittels Sedimentation mit dem Belebtschlamm wieder vom gereinigten Abwasser abgetrennt. Der bestehende Dynasandfilter wurde als Polishing-Stufe genutzt. Sowohl bei Trocken- wie auch bei Regenwetter konnten die gemessenen Spurenstoffe ausreichend entfernt werden. Ebenfalls konnte die PAK durch den Dynasandfilter effizient zurückgehalten werden. Zudem haben sich die (vorher schlechten) Absetzeigenschaften des Belebtschlammes durch die PAK-Dosierung positiv verändert. Die Ergebnisse sind ab Seite XX detailliert beschrieben.

In einem kürzlich abgeschlossenen Projekt wurden in Le Locle (NE) Versuche zur PAK-Direktdosierung in eine Membranbelebungsanlage (MBR) durchgeführt (Projekt-Nr. 8 in *Fig. 2*). Insbesondere ging es darum, den PAK-Verbrauch bei dieser Verfahrensführung zu bestimmen und zusätzliche Informationen zum Betrieb von MBR-Anlagen mit PAK-Direktdosierung zu erhalten.

Verfahren zur Abtrennung von Pulveraktivkohle

Die effiziente Abtrennung der PAK vom gereinigten Abwasser ist ein entscheidender Punkt. Gegenwärtig existiert eine Vielzahl von Abtrennungsverfahren, die teilweise aber noch weiter untersucht werden müssen. So wurden beispielsweise im Projekt *Aquapure* auf der ARA Birs verschiedene Ultrafiltrations-Membranen zur PAK-Abtrennung getestet [9-11] (Projekt-Nr. 9 in *Fig. 2*). Die beiden untersuchten Ultrafiltrationsmembransysteme (gedrückte und getauchte Membranen) konnten stabil und bei einer hohen Permeatqualität über einen Zeitraum von einem Jahr betrieben werden, ohne dass die Membranen beschädigt oder abgenutzt wurden. Die gedrückte Membran schien dabei energetisch etwas günstiger zu sein. Die Versuche zeigten insgesamt sehr vielversprechende Resultate.

Ein weiteres Verfahren für die PAK-Abtrennung ist die Flotation. Dieses System wurde bis vor Kurzem auf der ARA Bioggio und der ARA Visp untersucht (Projekt-Nr. 10 und 11 in *Fig. 2*).

Spurenstoffelimination durch granuliert Aktivkohle (GAK)

Der Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) in einem Raumfilter kann als eigenständiges Verfahren genutzt werden. Das bedingt aber sehr wahrscheinlich einen regelmässigen Austausch der Aktivkohle. An der Eawag wurde die GAK-Filtration im Pilotmassstab getestet [12] (Projekt-Nr. 12 in *Fig. 2*). Die Resultate zeigten, dass das Potenzial der GAK-Filtration zur Spurenstoffelimination als eigenständiges Verfahren als gering einzustufen ist, da viele der untersuchten Spurenstoffe bereits nach rund 4000 Bettvolumina (behandelte Wassermenge dividiert durch das Leerbett-Filtervolumen) nicht mehr ausreichend zurückgehalten wurden (bezogen auf die 80%-Eliminationsleistung). Da der Versuch lediglich während gut 100 Tagen betrieben wurde, kann aktuell aber keine Aussage über den biologischen Abbau der Spurenstoffe (zusätzlich zur reinen Adsorption) gemacht werden. Untersuchungen aus Deutschland zeigen aber zum Teil deutlich positivere Resultate (z.B. [13]). Aus diesem Grund wird in einem aktuellen Projekt in der Schweiz die Eignung der GAK-Filtration im grosstechnischen Massstab untersucht. So wurden im November 2014 zwei bestehende Sandfilter auf der ARA Bülachfurt mit GAK umgerüstet, die über die nächsten zwei Jahre durchgehend betrieben werden (Projekt-Nr. 13 in *Fig. 2*). Das Ziel besteht darin, Erfahrungen im grosstechnischen Betrieb zu sammeln (Rückspülverhalten, Feststoffrückhalt, Filtergeschwindigkeit) sowie die Effizienz der Spurenstoffelimination zu untersuchen. Im zweiten Teil des Projekts wird das Zusammenspiel zwischen einer vorgeschalteten Teilozonung und der GAK-Filtration angeschaut.

EINSATZ VON OZON

Neben dem Einsatz von Aktivkohle ist die Oxidation der Spurenstoffe durch Ozon ein weiteres Verfahren, das als erweitertes Reinigungsverfahren auf Kläranlagen zum Einsatz kommt. In den bisherigen Projekten konnte insgesamt gezeigt werden, dass mittels Ozonung eine Vielzahl von Spurenstoffen aus dem gereinigten Abwasser entfernt und eine Reinigungsleistung von 80% erreicht werden konnte.

Im Rahmen des Projekts «Strategie Micropoll» des BAFU wurden auf der Kläranlage Regensdorf die ersten grosstechnischen Versuche zur Elimination von Spurenstoffen durch den Einsatz von Ozon vorgenommen [14, 15] (Projekt-Nr. 14 in *Fig. 2*). Die Effizienz der Ozonung wurde anhand von mehr als 50 Spurenstoffen untersucht. Begleitend dazu wurden auch umfangreiche ökotoxikologische Untersuchungen durchgeführt, um nicht messbare Stoffe, wie beispielsweise toxische Nebenprodukte aus der Ozonung, erfassen zu können. Es konnte gezeigt werden, dass die Ozonung eine breite Palette von Stoffen ausreichend eliminieren konnte und dabei keine toxischen Produkte gebildet wurden. Eine der Ozonung nachgeschaltete biologische Behandlung ist allerdings notwendig, um reaktive Transformationsprodukte abzubauen. Ergänzend zu den Versuchen in Regensdorf wurde die Ozonung auch auf der ARA Lausanne (STEP de Vidy) untersucht [6, 16] (Projekt-Nr. 2 in *Fig. 2*). Die Versuchsergebnisse aus Regensdorf wurden dort weitgehend bestätigt.

Im Rahmen des Umwelttechnologieförderprojekts *ReTREAT* werden auf der Ozonungsanlage der ARA Neugut in Dübendorf aktuell verschiedene Nachbehandlungsverfahren getestet, um unerwünschte Nebenprodukte nach der Ozonung effizient zu eliminieren. Diese Untersuchungen werden ebenfalls durch ökotoxikologische Tests begleitet (Projekt-Nr. 15 in *Fig. 2*).

NEUARTIGE VERFAHREN

Neben den bekannteren Verfahren wie Aktivkohleanwendungen oder Ozon können aber auch andere Ansätze ein Potenzial für eine zukünftige Anwendung aufweisen. So könnte beispielsweise der Einsatz von Ferrat (Fe[VI]) eine Alternative zu Ozon darstellen [17] (Projekt-Nr. 16 in Fig. 2), was auf der ARA Aviron in Vevey im Pilotmassstab untersucht wurde. Ein Vorteil dieses neuartigen Verfahrens liegt darin, dass Ferrat zu Eisen (III) reduziert wird und somit gleich als Fällmittel zur Phosphatelimination verwendet werden kann. Eine Schwierigkeit liegt jedoch bei der grosstechnischen Produktion von Ferrat, da es sehr rasch zerfällt, sowie der starken pH-Änderung des Abwassers. Die Resultate zeigen, dass ein breites Spektrum an Spurenstoffen effizient durch Ferrat oxidiert werden konnte. Zudem lagen die grob geschätzten Kosten im Bereich einer Ozonung. Der Einsatz von Ferrat kann somit als vielversprechend betrachtet werden.

GROSSTECHNISCHE UMSETZUNGEN

Neben den oben vorgestellten Forschungsprojekten befinden sich bereits einige grosstechnische Anlagen in unterschiedlichen Stadien der Realisierung (s. rot markierte ARA in Fig. 2): Die erste grosstechnische Ozonung auf der ARA Neugut ist seit April 2014 in Betrieb. Die erste grosstechnische PAK-Anlage der Schweiz ist aktuell auf der ARA Bachwis (Herisau) im Bau und wird voraussichtlich Anfang 2015 in Betrieb gehen. Daneben sind verschiedene Anlagen in Planung: Auf der ARA Thunersee und der ARA Frenke sind eine PAK-Stufe mit Sedimentation und Filtration vorgesehen, auf dem Klärwerk Werdhölzli wird gegenwärtig eine Ozonungsstufe geplant. Diese ersten Anlagen werden wertvolle Informationen, Erkenntnisse und Betriebserfahrungen ergeben, die bei der Plattform gesammelt und über die entsprechenden Kanäle an die interessierten Akteure weitergegeben werden.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In der Schweiz werden bis 2040 rund 100 der 750 ARAs mit erweiterten Verfahren zur Spurenstoffelimination aus dem Abwasser aufgerüstet. Dabei können verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen. Nach aktuellem Stand des Wissens eignet sich sowohl der Einsatz von Pulveraktivkohle (Direktdosierung oder als nachgeschaltetes Verfahren mit Rückführung in die biologische Reinigungsstufe) wie auch die Ozonung. Andere neuartige Verfahren sind in Entwicklung und können in Zukunft vielversprechende Alternativen darstellen. Da gegenwärtig aber noch wenige Praxiserfahrungen mit diesen Verfahren in der Abwasserreinigung vorliegen, werden einerseits eine Vielzahl von Projekten durchgeführt. Andererseits wurde die VSA-Platt-

form «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» gegründet, mit dem Ziel, den Erfahrungsaustausch zwischen den Akteuren zu fördern, Wissen aufzubauen und zu kommunizieren. Auch die Bearbeitung von offenen Fragestellungen ist ein wichtiger Aspekt, was insbesondere im Rahmen von laufenden Projekten umgesetzt wird.

DANKSAGUNG

Ein grosser Dank geht an R. Siber (Eawag) und M. Böhler (Eawag).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Abegglen, C. et al. (2012): Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen – Wissensplattform des VSA, Aqua & Gas Nr. 11, S. 88–91
- [2] Abegglen, C., Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S.
- [3] Eawag (2011): Kläranlagen der Schweiz. Überarbeitet auf der Basis des Projektes: Maurer, M.; Herlyn, A. (2007): Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der schweizerischen Abwasserentsorgung. Eawag/Bafu-Bericht
- [4] Zwicklenpflug, B. et al. (2010): Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Schlussbericht. Eawag
- [5] Böhler, M. et al. (2012): Removal of micropollutants in municipal wastewater treatment plants by powder-activated carbon. *Water Science & Technology*, 66(10), 2115–2121
- [6] Margot, J. et al. (2013): Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? *Science of the Total Environment*, 461–462, 480–498
- [7] Böhler, M. et al. (2012): Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser mittels PAK in einem Actiflo® Carb und durch Ozon auf der ARA Schönau, Cham (GVRZ), Technologieförderungsprojekt des Bundesamtes für Umwelt (Bafu), Bern, Hrg.: Alpha Umwelttechnik AG, Nidau
- [8] Böhler, M. et al. (2011): Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon. Abschlussbericht. Eawag, Dübendorf
- [9] Löwenberg, J. et al. (2014): Comparison of two PAC/UF processes for the removal of micropollutants from wastewater treatment plant effluent: Process performance and removal efficiency. *Water Research*, 56, 26–36
- [10] Löwenberg, J. et al. (2014): PAK/UF-Verfahrenskombinationen im Vergleich – Membranbetrieb und Entfernungseistung. *Aqua & Gas Nr. 1*, S. 30–34
- [11] Löwenberg, J., Zenker, A., Wintgens, T. (2013): Aquapure – Optimierte Verfahrenskombination von Pulverkohle und Membranfiltration zur Entfernung von Mikroverunreinigungen. Abschlussbericht
- [12] Böhler, M. et al. (2013): Berichterstattung – Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut, Bafu, Bern
- [13] Benstöm, F. et al. (2014): Untersuchung einer bestehenden Filterstufe mit dem Einsatz von Aktivkohle zur Entfernung organischer Restverschmutzung auf der Kläranlage Düren-Merken, Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)
- [14] Abegglen, C. et al. (2009): Ozonung von gereinigtem Abwasser – Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf. Eawag, AWEL, BAFU, BMG, Hunziker Betatech
- [15] Hollender, J. et al. (2009): Elimination of organic micropollutants in a municipal wastewater treatment plant upgraded with a full-scale post-ozonation followed by sand filtration. *Environmental Science & Technology*, 43(20), 7862–7869
- [16] Margot, J. et al. (2011): Traitement des micropolluants dans les eaux usées – Rapport final sur les essais pilotes à la STEP de Vidy. Ed. Ville de Lausanne
- [17] Zimmermann-Steffens, S.; von Gunten, U.; Thonney, D., (2013): Einsatz von Ferrat und Ozon zur Behandlung kommunalen Abwassers im Pilotmassstab. Schlussbericht zu den Pilotversuchen an der ARA Aviron in Vevey. Lausanne

KONTAKT

Haben Sie Fragen oder konkrete Ideen, können Sie uns gerne kontaktieren. Die aktuellsten Neuigkeiten, Informationen zu anstehenden Veranstaltungen, Grundlagen zu den technischen Verfahren und vieles mehr finden Sie unter www.micropoll.ch. Wir freuen uns auf eine weitere gute Zusammenarbeit mit Ihnen.