

MIKRO-VERUNREINIGUNGEN

INFOBROSCHÜRE

NEUE HERAUSFORDERUNG: MIKROVERUNREINIGUNGEN

Mit dem Inkrafttreten der revidierten Gewässerschutzverordnung (GSchV) zum 1. Januar 2016 ist die Schweiz das erste Land weltweit, das die Entfernung von Mikroverunreinigungen (MV) aus kommunalem Abwasser gesetzlich regelt. Bis 2040 wird dadurch der Eintrag von MV in die Umwelt durch den gezielten Ausbau kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (ARA) stark verringert werden.

Rund 100 der bestehenden Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sollen hierzu um eine Stufe zur Entfernung organischer Mikroverunreinigungen erweitert werden.

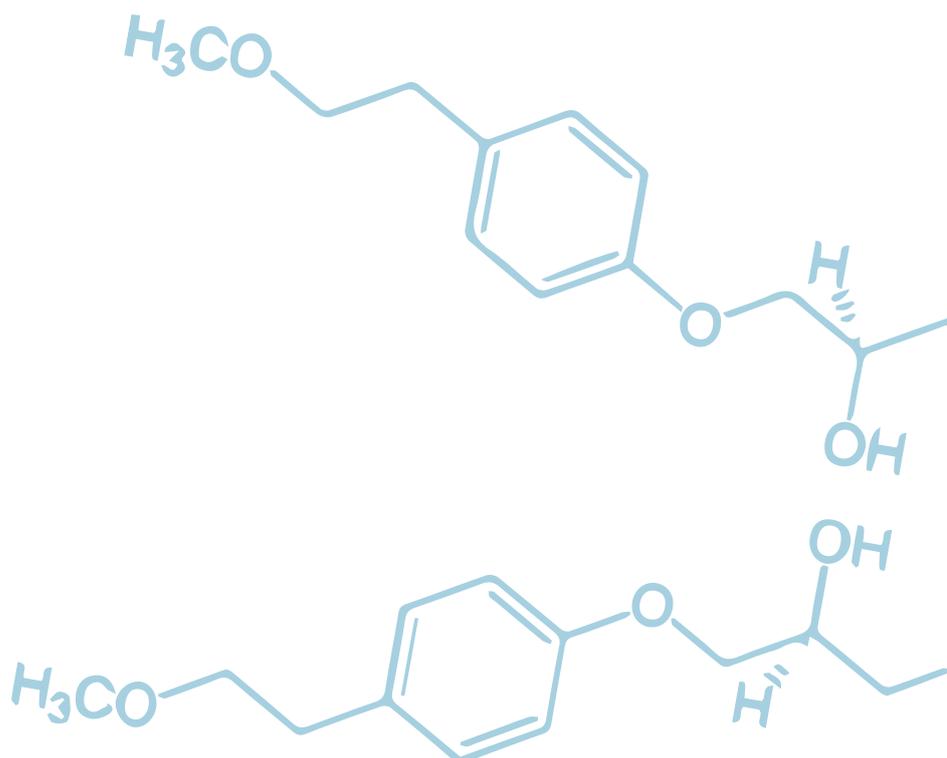
Eine Herausforderung für die betroffenen ARAs und deren Betreiber.

Doch was genau sind Mikroverunreinigungen und warum kommt der Schritt gerade jetzt?

In der vorliegenden Broschüre wollen wir Ihnen einen ersten Einstieg in das Thema „Mikroverunreinigungen“ geben. Wir erklären den Begriff „Mikroverunreinigungen“ und zeigen die derzeit geltenden gesetzlichen Anforderungen für die Betreiber von ARAs auf. Nationale Forschungsprojekte haben über die letzten Jahre eruiert, welche verfahrenstechnischen Möglichkeiten den Betreibern zu Verfügung stehen und wo deren Vor- und Nachteile liegen. Wir geben im Rahmen dieser Broschüre einen kurzen Überblick und zeigen auf, wo sich der interessierte Leser über die neusten Entwicklungen auf dem Gebiet informieren kann.



Die Entfernung von **Mikroverunreinigungen** und die zukünftige Phosphorrückgewinnungspflicht sind die neuen Herausforderungen für die kommunale Abwasserreinigung in der Schweiz. Mit der Errichtung der neuen Geschäftseinheit **CSD Umwelttechnik** bündeln wir unsere Kompetenzen, um Sie bei der Umsetzung der **neuen gesetzlichen Anforderungen** optimal zu unterstützen und zu beraten.



WAS SIND MIKROVERUNREINIGUNGEN?

Unter dem Begriff Mikroverunreinigungen versteht man im Zusammenhang mit der revidierten GSchV gelöste, organische Verbindungen, die in Konzentrationen von einigen ng/L - µg/L in unseren natürlichen Gewässern nachgewiesen werden. Zu den Mikroverunreinigungen zählen unter anderem die Wirkstoffe aus Arzneimitteln, Haushaltschemikalien, Pestiziden und Industriechemikalien.

In den vergangenen Jahren wurden in unseren Oberflächen- und Grundwässern verschiedenste Mikroverunreinigungen in steigenden Konzentrationen nachgewiesen und der negative Einfluss einiger dieser Substanzen auf unsere aquatische Umwelt festgestellt. Ein bekanntes Beispiel ist die Verweiblichung einiger Fischarten in Flussläufen unterhalb von ARAs, die auf die Wirkung von Ethinylestradiol zurückgeführt wird, einem synthetischen Stoff, der zur Nachahmung der Wirkung des weiblichen Geschlechtshormons Östradiol eingesetzt wird.

In Industrieländern werden heute täglich mehr als 30'000 Einzelstoffe verwendet.

Aber auch andere weniger medienwirksame Veränderungen der Tier- und Pflanzenwelt durch organische Mikroverunreinigungen konnten über die letzten Jahre belegt werden und sind in den entsprechenden wissenschaftlichen Arbeiten gut dokumentiert.

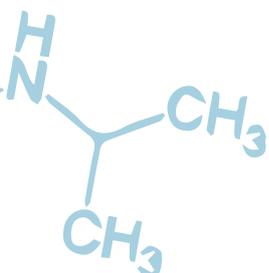
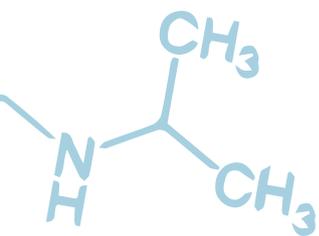
Mikroverunreinigungen gelangen auf diversen Wegen in unsere Oberflächengewässer. Man spricht in diesem Zusammenhang von

unterschiedlichen Eintragspfaden. Haushaltschemikalien und Rückstände von Arzneimitteln gelangen ausschliesslich über das kommunale Abwasser in unsere Gewässer, während in der Landwirtschaft eingesetzte Pflanzenschutzmittel bei Regen in die Umwelt ausgewaschen werden.

Ein Schweizer Forschungsprojekt unter Leitung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und unter wissenschaftlicher Beteiligung der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) hat zeigen können, dass die Abläufe der ARAs den Haupteintragspfad der Mikroverunreinigungen darstellen. Besonders in dicht besiedelten Gebieten, in denen ein hoher Abwasseranteil der Fliessgewässer vorliegt, ist dies problematisch.

Mikroverunreinigungen zeigen sich somit als eine der neuen Herausforderungen, mit denen sich unsere moderne Gesellschaft konfrontiert sieht. Obwohl negative Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt bereits nachgewiesen werden konnten, wird derzeit davon ausgegangen, dass bei Vorkommen von MV in geringen Konzentrationen keine negativen Auswirkungen auf den Menschen zu befürchten sind.

Die Vermeidung des Eintrages von Mikroverunreinigungen kann somit als direkter Schutz der aquatischen Umwelt und als präventive Massnahme zum Schutz der Trinkwasserressourcen gesehen werden.



Mikroverunreinigungen sind gelöste, organische Verbindungen, die in Konzentrationen von wenigen ng/L bis µg/L im Abwasser nachgewiesen werden und in die Gewässer gelangen.

Typische Vertreter dieser Stoffgruppe sind die Wirkstoffe aus **Arzneimitteln**, **Pestiziden** sowie **Haushalts- und Industriechemikalien**.

FORSCHUNG UND ZUSAMMENARBEIT

Seit 2006 beschäftigt sich das Bundesamt für Umwelt (BAFU) unter dem Projektnamen „Strategie Micropoll“ mit dem Thema Mikroverunreinigungen in der Schweiz. Seither ist viel passiert.

Im Projekt „Strategie Micropoll“ wurden wissenschaftliche Untersuchungen zum Vorkommen von Mikroverunreinigungen in den Schweizer Gewässern, zu deren Eintragspfaden sowie zu verfahrenstechnischen Lösungen zu deren Entfernung durchgeführt.

In der Folge haben sich weitere Forschungsinstitutionen (Eawag, FHNW, EPFL Lausanne, HSR (Umtec)) dem Thema gewidmet und in zumeist vom BAFU finanzierten Forschungsprojekten wichtige Fragestellungen im Zusammenhang mit der Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser beantworten können.

In der Schweiz bündelt die VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ das über die Jahre gewonnene Wissen aus Forschungsprojekten sowie die Erkenntnisse und Erfahrungen der Erstbetreiber. Durch regelmässige Treffen der Mitglieder, Tagungen, Kurse sowie den intensiven Austausch mit internationalen Partnern trägt die Plattform wesentlich dazu bei, die Schweiz als Kompetenzträger in diesem für die Zukunft wichtigen Bereich zu etablieren.



Forschungsprojekte	Legislativ
	2006
	2007
Strategie Micropoll: Situationsanalyse; Pilotversuche (Eawag)	2008
	2009
Birsfelden (ARA Birs) Verfahrensuntersuchung: Pulveraktivkohle und Membranen (FHNW)	2010
Kloten/Opfikon Verfahrensuntersuchung Pulveraktivkohle und Sandfiltration (Eawag)	2011
Lausanne Verfahrensuntersuchung Ozon vs. PAK und Membranen (EPFL Lausanne)	2012
Sissach (ARA Ergolz I) Verfahrensuntersuchung Pulveraktivkohle und Sandfiltration (FHNW)	2013
	2014
	2015
	2016
	2040

Ausarbeitung des
Umsetzungskonzeptes
am BAFU

Vorschlag GSchV

Parlamentarische
Vorstösse -
Motion

Motion
angenommen

Vorschlag GSchG
Vernehmlassung
GSchG

Bundesrat: GSchG

Parlament: GSchG

Anhörung
Vorschlag GSchV

GSchG und GSchV
in Kraft ab
1.1.2016

Langjährige Forschungsarbeit an verschiedenen nationalen Forschungsinstitutionen, intensiver Erfahrungs- und Informationsaustausch mit internationalen Partnern sowie die Arbeit der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ haben dazu beigetragen, dass die Schweiz sehr gut für den Ausbau ihrer ARAs aufgestellt ist und **international als Kompetenzträger** wahrgenommen wird.

AKTUELLE GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Mit der neuen Gesetzgebung wird darauf abgezielt, den Eintrag von Mikroverunreinigungen über die kommunalen ARAs zu reduzieren.

Die Ziele der neuen Gesetzgebung sind:

- **Schutz der aquatischen Umwelt**
- **Vorsorgeprinzip: Trinkwasserschutz**
- **Oberliegerverantwortung der Schweiz**

Da die spezifischen Kosten für die Entfernung von Mikroverunreinigungen mit abnehmender Grösse der ARAs steigen, werden die ARAs gezielt und nach bestimmten Kriterien ausgebaut. Mit diesem gezielten Ausbau soll eine grösstmögliche Entfernung von MV bei ökonomisch sinnvollem Aufwand erreicht werden.

Die Kriterien, nach denen die ARAs ausgebaut werden müssen, sind in der revidierten GSchV festgelegt.

- **ARA mit mehr als 80'000 angeschlossenen Einwohner/innen**
- **ARA mit mehr als 24'000 Einwohner/innen im Einzugsgebiet von Seen**
- **ARA mit mehr als 8'000 angeschlossenen Einwohnern und hohem Abwasseranteil im Vorfluter**

Von den ARAs, die diese Kriterien erfüllen, wird eine Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen von 80% über den gesamten Aufbereitungsprozess von Rohwasserzulauf bis Ablauf gefordert.

Zur Ermittlung und Überprüfung des erzielten Reinigungseffektes werden regelmässige Messungen einiger Leitsubstanzen gefordert. Die Substanzen und die Anzahl der zu messenden Substanzen werden nicht in der GSchV, sondern in einer separaten Verordnung (*Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffektes von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen*) definiert. Auf diese Weise kann auch in der Zukunft auf eine sich ständig erweiternde Anzahl von Mikroverunreinigungen reagiert werden.

Mit dem gezielten ARA-Ausbau in der Schweiz wird rund 50% des kommunalen Abwassers weitestgehend von Mikroverunreinigungen befreit. Die Entfernung der Mikroverunreinigungen dient:

- dem Schutz der aquatischen Umwelt
- dem Vorsorgeprinzip: Trinkwasserschutz
- der Oberliegerverantwortung der Schweiz

WO SIND DIE KOMPETENZEN & WIE KANN ICH MICH INFORMIEREN?

Wenn Sie etwas Zeit mitbringen und sich gerne selber über die Thematik informieren wollen, dann bietet die Internetseite der VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“: www.micropoll.ch einen sehr guten Anlaufpunkt.

Hier können Sie sich detaillierter über die verschiedenen zur Verfügung stehenden Verfahrenslösungen, über die bisher unternommenen Schweizer Forschungsaktivitäten und den aktuellen Stand der Gesetzgebung informieren. Ebenfalls können Sie sich hier für den regelmässig erscheinenden Newsletter anmelden, der stets über die aktuellen Ereignisse und Aktivitäten auch aus dem europäischen Ausland berichtet.

In gutem Kontakt und stetem Austausch stehen die Schweizer Experten der Plattform mit den deutschen Kollegen und im Speziellen dem Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KOMS) und dem Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW.



Über deren Webseiten können Sie ebenfalls weitere Informationen über laufende Aktivitäten im Deutschland erhalten:



www.koms-bw.de



www.masterplan-wasser.nrw.de/das-kompetenzzentrum

Sollten Sie spezielle Fragen zur aktuellen Gesetzgebung, den möglichen Verfahrenskombinationen und deren Leistungsfähigkeit oder Interesse an spezifischer Unterstützung bei einer konkreten Herausforderung haben, können Sie sich ebenfalls vertrauensvoll an uns (j.loewenberg@csd.ch) wenden. Wir unterstützen Sie gerne oder stellen Kontakte für Sie her. Unsere Experten bringen jahrelange Erfahrung aus den in der Schweiz durchgeführten Forschungsprojekten sowie in der Umsetzung grosser Ausbauprojekte mit sich. Wir stehen weiterhin im stetigen Kontakt mit Hochschulen und Forschungsinstituten, welche bei spezifischen Fragestellungen Unterstützung bieten können.

VERFAHRENSTECHNISCHE MÖGLICHKEITEN

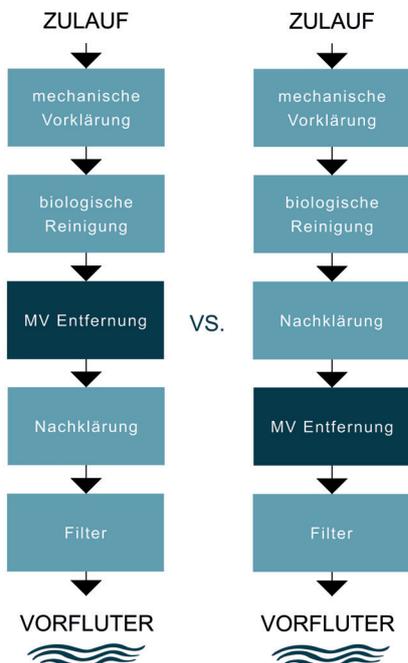
INTEGRATION IN DEN BESTEHENDEN REINIGUNGSPROZESS

Die heute auf den ARAs verwendete Aufbereitungstechnologie ist dazu ausgelegt, biologisch abbaubare, organische Substanzen und Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff zu entfernen. Die Entfernung der ungelösten Stoffe findet in der Vor- und Nachklärung statt. Ein grosser Teil der organischen Mikroverunreinigungen sind schlecht biologisch abbaubar und passieren somit die derzeit verwendete Aufbereitungstechnik.

Als geeignetste Verfahren zur Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen werden derzeit die Adsorption an granulierten Aktivkohle (GAK), Pulveraktivkohle (PAK) und die Ozonung betrachtet. Die Verfahren wurden über Jahre erfolgreich pilotiert und finden derzeit grosstechnische Anwendung auf der ARA Bachwis (PAK-Adsorption), ARA Neugut (Ozon), Kläranlage Sindelfingen (PAK-Adsorption), Kläranlage Gütersloh (GAK-Adsorption) sowie einigen mehr.

Sowohl die Ozonung als auch die Aktivkohleadsorption profitieren von einem weitestgehend vorbehandelten Wasser, sodass die Prozessstufe zur Entfernung von Mikroverunreinigungen meist gegen Ende des Aufbereitungsprozesses zu finden sein wird.

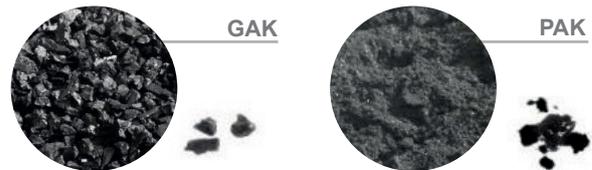
Welche verfahrenstechnische Variante für ein spezielles Abwasser und ARA die sinnvollste ist, hängt von vielen Faktoren ab und muss individuell geprüft werden. Das Vorkommen von Bromid im Abwasser kann beispielsweise ein Ausschlusskriterium für die Anwendung der Ozonung sein, und dessen Einsatz erfordert generell vorgängige Abklärungen. Für jedes der verfügbaren Verfahren bestehen mehrere Umsetzungsmöglichkeiten mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen.



Für die optimale Wahl des geeignetsten Verfahrens sollten stets die neuesten Ergebnisse aus Forschung- und Entwicklung sowie Praxiserfahrungen berücksichtigt werden. So wird derzeit die Kombination aus Ozonung und nachgeschalteter GAK-Filtration untersucht, um die Vorteile beider Verfahren zu nutzen. Sollten Sie sich für die Ergebnisse der Untersuchungen interessieren, können Sie sich vertrauensvoll an die CSD Ingenieure AG (j.loewenberg@csd.ch) wenden, die als Projektpartner eines von der Eawag geleiteten Forschungsprojektes zur Kombination der beiden Verfahren beteiligt ist.

ADSORPTION AN AKTIVKOHLE

Aktivkohle ist ein höchst poröses Material mit einer sehr grossen inneren Oberfläche. Zur Entfernung von Geruchs- und Geschmacksstoffen wird Aktivkohle als granuliert Aktivkohle (GAK) und Pulveraktivkohle (PAK) bereits seit mehreren Jahrzehnten in der Lebensmittel- und Chemieindustrie eingesetzt.



Beide Arten der Aktivkohle bieten Vor- und Nachteile im Betrieb des jeweiligen Adsorptionsprozesses. So ist die PAK-Adsorption generell flexibler als die GAK-Adsorption, da mit der Dosiermenge direkt Einfluss auf die Adsorptionsleistung genommen werden kann. Auf der anderen Seite macht die Dosierung von PAK, deren Abtrennung in einer folgenden Prozessstufe (bspw. Raumfiltration) nötig, was verfahrenstechnisch einen höheren Aufwand bedeutet. Sollte jedoch eine solche Abtrennstufe bereits vorhanden sein, könnte dies ein Argument für den Einsatz von PAK sein.

Bei der Adsorption von Mikroverunreinigungen lagern sich diese an der Oberfläche der Aktivkohle an und werden auf diese Weise aus dem Wasser entfernt. Welche Stoffe sich in welcher Menge an der Oberfläche der Aktivkohle anlagern, ist von mehreren Faktoren abhängig. So kann ein hydrophobes Korrosionsschutzmittel (bspw. Benzotriazol) durch die Adsorption wesentlich besser aus dem Wasser entfernt werden als ein hydrophiles Breitbandantibiotikum (bspw. Sulfamethoxazol). Durch einen längeren Kontakt zwischen Wasser und Aktivkohle und durch die Menge der eingesetzten Aktivkohle kann die Adsorptionsleistung in gewissen Grenzen beeinflusst werden.

Dies führt dazu, dass viele Stoffe an der Aktivkohle adsorbieren, die harmlos für die Umwelt sind, jedoch Adsorptionsplatz auf der PAK beanspruchen und somit die Leistung zur Adsorption von Mikroverunreinigungen reduzieren.

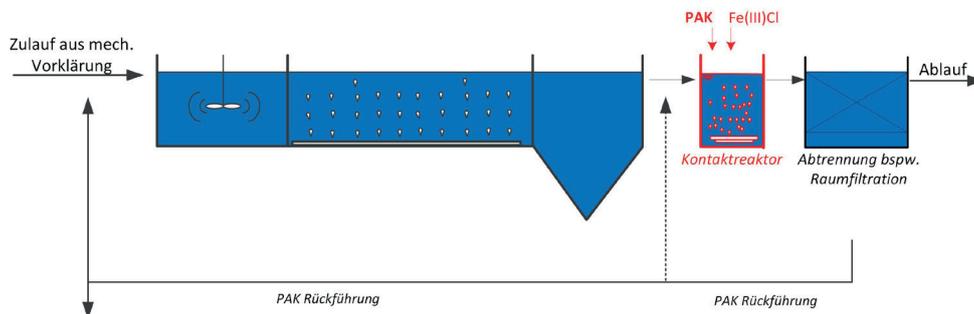
Um diese Konkurrenzadsorption möglichst gering zu halten, empfiehlt es sich generell, die Adsorptionsstufe gegen Ende des Reinigungsprozesses, idealerweise nach der biologischen Reinigung zu realisieren. Beispielhaft ist die Implementation der PAK-Adsorption in einem Kontaktreaktor unter Zugabe von Eisen(III)-Chlorid zur Flockung der PAK dargestellt (*andere Implementationen wie bspw. die Direktdosierung in die Biologie oder Abtrennung über alternative Verfahren sind möglich*).

OXIDATION DURCH OZON

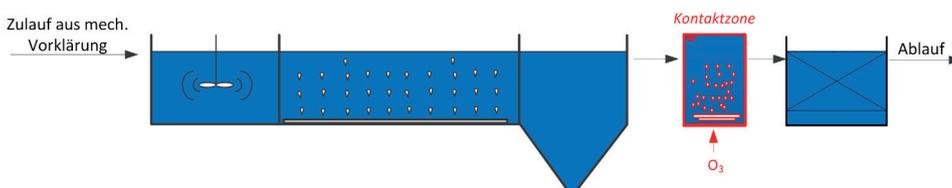
Bei der Ozonung handelt es sich um einen Oxidationsprozess. Das eingesetzte Ozon kann aus Luft oder angeliefertem Sauerstoff vor Ort hergestellt werden. Die Ozonmoleküle und die durch das Ozon gebildeten OH-Radikale können organische und anorganische Moleküle oxidieren. In der Regel kommt es zu einer teilweisen Mineralisierung (CO_2 -Bildung) sowie Umwandlung der organischen Moleküle (Transformationsprodukte). Im Vergleich zur Adsorption an der Oberfläche der Aktivkohle werden die Substanzen nicht aus dem Was-

ser entfernt, sondern umgewandelt. Eine Einsatzbeschränkung der Ozonung stellt das Vorhandensein von Bromid im Abwasser dar, das durch die Ozonung zum kanzerogenen Bromat umgewandelt wird. Es stehen jedoch Analysen zur Verfügung, welche die Auswirkungen der Ozonung auf die Toxizität des Abwassers untersuchen. Eine Ozonung sollte nicht nur die gesetzlichen Anforderungen erfüllen, sondern auch im Sinne des Umweltschutzes für eine Verbesserung der Abwasserqualität sorgen.

Bei der Ozonung sind im Vergleich zur Adsorption an Aktivkohle deutlich grössere Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Die Ozonung stellt allerdings auch eine relativ kostensichere Alternative dar. Die Kosten für die Herstellung von Ozon aus Umgebungsluft sind generell nur von den Energiepreisen abhängig, und die Qualität des erzeugten Ozons ist immer gleich. Bei der Adsorption an PAK oder GAK sind Qualitätsunterschiede nicht auszuschliessen und der Aktivkohlepreis unterliegt den Schwankungen auf dem Markt und ist mit grösseren Unsicherheiten behaftet.



Beispielhafte Einbindung der PAK Adsorption in die Abwasserreinigung



Beispielhafte Einbindung der Ozonung in die Abwasserreinigung

NUTZEN SIE UNSERE KOMPETENZ UND PROFITIEREN SIE

In den Bereichen der Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung bietet die CSD INGENIEURE AG heute Dienstleistungen zu allen Aspekten von Neubau über Betriebsoptimierung, Ausbau und Zusammenschluss bis hin zur Sanierung. In einer Vielzahl erfolgreich abgeschlossener und laufender nationaler sowie internationaler Projekte konnte die CSD INGENIEURE AG nachhaltig zum Umweltschutz sowie zu einem einfachen, sicheren und kostengünstigen Anlagenbetrieb beitragen.

Durch gezielte Verstärkung ist die Geschäftseinheit **CSD Umwelttechnik** geschaffen worden, in der wir unsere Kompetenzen im Abwasserbereich bündeln, um Sie bei den neuen Herausforderungen im Zusammenhang mit den Änderungen des Schweizer Gewässerschutzverordnung (GSchV) auf höchstem Niveau unterstützen zu können.

Unsere Experten haben über Jahre in der Forschung zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser leitend mitgewirkt und unterhalten beste Beziehungen zu den nationalen wie internationalen Stellen. Nutzen Sie unsere Kompetenz, unser Engagement und unser Netzwerk, um auf die gesetzlichen Änderungen nicht nur reagieren zu müssen. Nutzen Sie die Situation und agieren Sie, um eine optimale Verfahrensauslegung bei maximalen wirtschaftlichen Nutzen und bestmöglichem Umweltschutz zu erzielen.

Haben Sie weitere Fragen oder wünschen Sie eine spezifische Beratung?

Melden Sie sich bei uns und profitieren Sie von unseren Kompetenzen und Erfahrungen im Bereich Mikroverunreinigungen.



Jonas Löwenberg

*Dipl. Wirtschaftsingenieur Maschinenbau
Projektleiter & Experte für Mikroverunreinigungen*

CSD INGENIEURE AG

Hohenrainstrasse 12c

CH-4133 Pratteln

t +41 565 44 64 33

m +41 793 22 66 39

e j.loewenberg@csd.ch

www.csd.ch

CSD INGENIEURE 
VON GRUND AUF DURCHDACHT



J. Löwenberg et al., PAK/UF Prozesse gegen Mikroverunreinigungen – PAK/UF Verfahrenskombinationen im Vergleich – Membranbetrieb und Entfernungsleistung, *Aqua & Gas* N°1, 2014

J. Löwenberg et al., Forschungsprojekt „Aktifilt“ – Elimination von Mikroverunreinigungen mittels PAK-Dosierung im Zulauf der Raumfiltration, *Aqua & Gas* N°1, 2016.

J. Löwenberg et al., Comparison of two PAC/UF processes for the removal of micropollutants from wastewater treatment plant effluent: process performance and removal efficiency, *Water Research* 56 (2014) 26 – 36, 2014.

J. Löwenberg et al., Upgrade of deep bed filtration with activated carbon dosage for compact micropollutant removal from wastewater in technical scale, *Water Research* 94 (2016) 246-256.)