

Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen



SPURENSTOFFE IM ABWASSER

INFORMATIONEN FÜR KOMMUNEN



Die vorliegende aktualisierte Broschüre soll Ihnen als informierte Bürgerinnen und Bürger oder als Entscheidungsträger einen schnellen, kompakten und fachlich fundierten Überblick über die technischen Möglichkeiten für die Spurenstoffelimination und deren Randbedingungen geben.«



THEKLA WALKER MDL | MINISTERIN FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG

LIEBE LESERINNEN UND LESER,

Baden-Württemberg nimmt in der Abwasserreinigung eine Spitzenposition ein: Das gilt für den Anschlussgrad von über 99 Prozent an kommunale Kläranlagen ebenso wie für den technischen Standard der Anlagen. Gleichwohl gibt es neue Herausforderungen. Wir wissen, dass täglich viele Chemikalien und Arzneimittel mit dem häuslichen Abwasser in die Kläranlagen gelangen. Trotz des hohen Ausbaustandards können dort mit den herkömmlichen Verfahren nicht alle Stoffe ausreichend aus dem Abwasser entfernt werden. Die Folge: Spurenstoffe gelangen in unsere Gewässer. In nahezu allen Oberflächengewässern finden wir inzwischen Arzneimittelwirkstoffe, Röntgen-contrastmittel, Duftstoffe aus Körperpflege- und Reinigungsmitteln, Biozide, Flammschutzmittel, perfluorierte Chemikalien (PFAS) sowie Stoffe mit hormonähnlichen Wirkungen. Manche dieser Stoffe können sich schon in sehr geringen Konzentrationen nachteilig für empfindliche Gewässerorganismen wie Fische, Muscheln oder Schnecken auswirken. Diese Stoffe sollen weder in Fließgewässer und Seen noch ins Grundwasser gelangen, denn gerade in Baden-Württemberg wird unser Trinkwasser überwiegend aus Grundwasser gewonnen.

In Baden-Württemberg haben wir deshalb bereits vor vielen Jahren damit begonnen, Kläranlagen an besonders empfindlichen Gewässern oder an Belastungsschwerpunkten mit einer weitergehenden Reinigungsstufe zur Elimination von Spurenstoffen auszurüsten. Dieses zukunftsweisende Vorgehen findet sich jetzt auch in der neuen EU-Kommunalabwasserrichtlinie (KARL), die am 1. Januar 2025 in Kraft getreten ist. Sie sieht unter anderem die Entfernung von Spurenstoffen bei größeren Kläranlagen und in sensiblen Gebieten vor.

Die vorliegende aktualisierte Broschüre soll Ihnen als informierte Bürgerinnen und Bürger oder als Entscheidungsträger einen schnellen, kompakten und fachlich fundierten Überblick über die technischen Möglichkeiten für die Spurenstoffelimination und deren Randbedingungen geben.

Die Informationen hat das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS BW) zusammengestellt, das mit seinem Wissen und seinen Leistungen den Betreibern bei der Aufrüstung ihrer Kläranlagen seit 2012 als verlässlicher Ansprechpartner zur Seite steht.

Thekla Walker MDL

Ministerin für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg

Impressum

HERAUSGEBER

Kompetenzzentrum Spurenstoffe
(KomS) Baden-Württemberg
c/o Universität Stuttgart
Bandtäle 2 · 70569 Stuttgart
Tel.: +49 711 685-63721
Mail: info@koms-bw.de
www.koms-bw.de

REDAKTION

Text: Dr. Klaus Zintz
Verantwortlich im Sinne des Presserechts:
Vera Kohlgrüber, KomS

Alle genannten Web-Adressen in dieser Broschüre waren zur Zeit der Publikation aktiv. Die angegebenen Links können sich mit der Zeit jedoch ändern oder deaktiviert werden.

GESTALTUNG UND REALISATION

Schröter Werbeagentur GmbH
Mülheim an der Ruhr

FOTOGRAFIE

Titel: lotus_studio/Adobe Stock, Only background/shutterstock.com, Dmitri Ma/shutterstock.com, joekingstock/Adobe Stock, ESB Professional/shutterstock.com, DWA BW, Impressum/Roman Babakin/shutterstock.com, KomS, S. 01: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM) BW (Regenscheit); S. 02/03: KomS (3x), Juergen Wackenhut/shutterstock.com; Africa Studio/shutterstock.com; Bepaliy/shutterstock.com, Rostislav Stefanek/shutterstock.com, Pressmaster/shutterstock.com; S. 04/05: Archiv Seespiegel, Ilona Scheffbuch, UM BW, New Africa/shutterstock.com; S. 06/07: EBS Pforzheim/Weber-Ingenieure GmbH, Zweckverband Abwasserreinigung Gäu – Ammer (2x), KomS (3x), esfera/shutterstock.com; S. 08/09: David Gutjahr, LUCID MEDIA, DWA BW (Cornelia Baur), KomS (2x); S. 10/11: KomS (4x), LRA Bodenseekreis, KomS (2x); S. 12/13: ZV Gruppenklärwerk Wendlingen a. N., David Gutjahr LUCID MEDIA, KomS (2x), Weber-Ingenieure GmbH (2x), 1989studio/shutterstock.com; S. 14/15: KomS (5x), Kläranlage Stockacher Aach, EBS Mannheim?, Kläranlage Stockacher Aach; S. 16/17: Klaus Zintz, KomS (2x), KomS/Marie Launay, LRA Bodenseekreis, KomS, Weber-Ingenieure GmbH, Azat Valeev/AdobeStock; S. 18/19: KomS, lightpoet/shutterstock.com, Alex_Traksel/shutterstock.com, Mr_Mrs_Marcha/shutterstock.com, aleks333/shutterstock.com, imagehub/shutterstock.com; S. 20/21: KomS (3x), lovelyday12/shutterstock.com, Rückseite: Roman Babakin/shutterstock.com, Viktoriya/shutterstock.com



Kläranlage Böblingen-Sindelfingen, Adsorptionsstufe mit Pulveraktivkohle



Fluss Murg in Gernsbach, Baden-Württemberg



Fluss Neckar bei Tübingen



Einige [dieser] Spurenstoffe (Mikroschadstoffe) stellen selbst in geringen Konzentrationen, die im Mikrogrammbereich pro Liter oder darunter liegen, eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit und die Umwelt dar.«

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJL_202403019



SPURENSTOFFE SIND ALLGEGENWÄRTIG

Wirkstoffe in Medikamenten, Pflanzenschutzmitteln, Kosmetika, Reinigungsmitteln, Industriechemikalien und anderen Produkten: eine Vielzahl von Substanzen im Abwasser gelangt trotz flächendeckend gut ausgebauter Kläranlagen in die Gewässer, wo sie schädliche Wirkungen auf das Ökosystem entfalten können. Mit einer sogenannten 4. Reinigungsstufe können diese Spurenstoffe in der Kläranlage jedoch weitgehend beseitigt werden. Diese Technik wird in Zukunft auch von der europaweit gültigen EU-Kommunalabwasserrichtlinie (KARL) gefordert. Durch die 4. Reinigungsstufe lassen sich zu einem überschaubaren Preis die Gewässer erheblich besser schützen als mit der bisherigen Technik, die bei den Spurenstoffen an ihre Grenzen kommt.

Was sind Spurenstoffe in der Umwelt?

Wem der Kopf dröhnt, freut sich, dass die Schmerztablette rasche Linderung bringt. Wer von Mücken geplagt wird, greift gerne zum Insektenschutzmittel. Doch deren Inhaltsstoffe entfalten nicht nur im und am Körper ihre Wirkung, sondern sie haben einen weitaus größeren Einflussbereich: Wirkstoffe und ihre Abbauprodukte gelangen über die häusliche und industrielle Wasserentsorgung ins Abwasser. Und weil sie sich nur unzureichend in der Kläranlage entfernen lassen, gelangen sie auch in Bäche, Flüsse, Seen und sogar ins Grundwasser. Dort können solche chemischen Verbindungen, die in den Produkten des täglichen Lebens enthalten sind, unter Umständen Wirkungen entfalten, die für Kleinlebewesen und Tiere unnatürliche und unerwünschte Folgen haben. Das gilt nicht nur für pharmazeutische Wirkstoffe, sondern auch für zahlreiche weitere Spurenstoffe, etwa Röntgenkontrastmittel, synthetische Süßstoffe, Duftstoffe, Pflanzenschutzmittel, Industriechemikalien und Flammschutzmittel.

Die Situation in Baden-Württemberg wurde von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) im »Spurenstoffinventar der Fließgewässer in Baden-Württemberg« (2014 und 2023) dargestellt. In der Neufassung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie werden Spurenstoffe (auch Mikroschadstoffe) als Stoffe definiert, »die selbst in geringen Konzentrationen, die im Mikrogrammbereich pro Liter oder darunter liegen, eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit und die Umwelt darstellen.« In den vergangenen Jahrzehnten sind solche Stoffe zunehmend zu einem Problem geworden. Nicht zuletzt aus Vorsorgegründen ist es deshalb geboten, dort, wo es besonders sinnvoll und lohnend ist, aktiv gegen die Verunreinigung der Gewässer mit diesen Spurenstoffen vorzugehen.



>>> Spurenstoffinventar_01



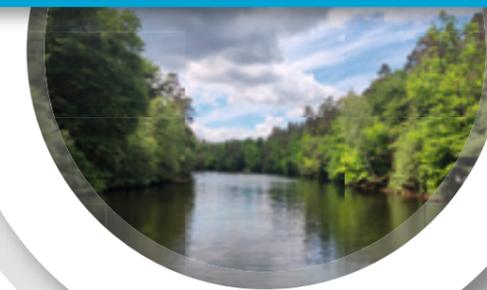
>>> Spurenstoffinventar_02



Wie Spurenstoffe wirken

Spurenstoffe sind, wie der Name besagt, nur in äußerst geringen Konzentrationen in der Umwelt vorhanden: im Mikrogramm-Bereich, also Millionstel Gramm pro Liter ($\mu\text{g/L}$), nicht selten sogar im Bereich von Milliardstel Gramm, also Nanogramm (ng) pro Liter. Doch auf Gewässerlebewesen wirken manche Substanzen selbst in diesen geringen Konzentrationen. Eine ähnliche Wirkung wie Hormone haben zum Beispiel nicht nur die Wirkstoffe der Antibabypille, sondern auch Bisphenol A, das unter anderem in der Kunststoffindustrie eingesetzt wird. Oder Flammschutzmittel, die Brom enthalten. Diese und noch eine ganze Reihe weiterer Spurenstoffe werden daher im Fachjargon als endokrine Disruptoren bezeichnet. Als Umwelthormone können sie den Hormonhaushalt der im Gewässer lebenden Organismen stören und damit langfristige Schäden hervorrufen. Ein Beispiel sind männliche Fische, die unter dem Einfluss solcher Verbindungen verweiblichen.

Der schmerzstillende und entzündungshemmende Wirkstoff Diclofenac wiederum kann bei Fischen zu Schäden an den Kiemen, aber auch an Leber und Nieren führen. Ein hoher Verbrauch und eine relativ hohe Stabilität in der Umwelt führen dazu, dass dieser Wirkstoff auch in den Gewässern weit verbreitet ist. Persistente, also in der Umwelt besonders stabile Spurenstoffe können sich zudem in der Nahrungskette anreichern, so etwa die langlebigen per- und polyfluorierten Chemikalien (PFAS), die wegen ihrer wasser- und schmutzabweisenden Eigenschaften zum Beispiel in Outdoor-Kleidung enthalten sind.



Durch die mögliche Anreicherung in Tieren werden die Spurenstoffe auch für den Menschen von Bedeutung, weil er sie mit der Nahrung aufnehmen kann.

Gewässer schützen

Oberstes Prinzip muss es daher sein, solche Verbindungen erst gar nicht in die Gewässer gelangen zu lassen. Bei alten Arzneimitteln, die noch in der Verpackung sind, ist dies recht einfach – man muss sie nur korrekt in der Abfalltonne und nicht unsachgemäß in der Toilette entsorgen. Doch medizinische Wirkstoffe und ihre Abbauprodukte gelangen eben auch mit den menschlichen Ausscheidungen in das Abwasser. Biozide aus Hausfassaden oder Pflanzenschutzmittel werden bei Regenwetter diffus in den Abwasserpfad eingetragen. Und dann müssen die Spurenstoffe in der Kläranlage wieder herausgeholt werden, um ihre Auswirkungen auf die Umwelt so gering wie möglich zu halten. Das aber geht mit den bisherigen Kläranlagen-Techniken – also der mechanischen und biologischen Reinigung – in der Regel nur begrenzt. Mit einer weitergehenden Reinigungsstufe (auch: 4. Reinigungsstufe) jedoch lässt sich ein breites Spektrum an Spurenstoffen gezielt aus dem Abwasser entfernen. Daher sind in Baden-Württemberg in den letzten Jahren immer mehr Anlagen mit der 4. Reinigungsstufe zur weitergehenden Elimination von Spurenstoffen versehen worden – und es kommen immer mehr neue Aufrüstungen dazu.



https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJL_202403019



Kläranlage Kressbronn am Bodensee mit einer Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination

4. Kongress »Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt« in Stuttgart

Aufklärung über die richtige Entsorgung von alten Arzneimitteln



WAS IST ZU TUN?

Das eine tun und das andere nicht lassen: Das ist in Baden-Württemberg schon seit Jahren die Strategie, den negativen Einfluss von Spurenstoffen auf die Umwelt zu verringern. Dies bedeutet zum einen, Einträge ins Abwasser so weit wie möglich zu reduzieren. Und zum anderen, die dennoch ins Abwasser gelangten Stoffe bestmöglich zu beseitigen und Kläranlagen in relevanten Fällen mit einer weitergehenden Reinigungsstufe auszurüsten. Damit hat das Land bundesweit eine Vorreiterrolle eingenommen.

Strategien gegen Spurenstoffe

Baden-Württemberg verfolgt bei den Spurenstoffen eine Zwei-Säulen-Strategie: Quellen- und anwenderbezogene Maßnahmen sowie die Förderung des Ausbaus von Kläranlagen zur Spurenstoffelimination in begründeten Fällen. Nun wird diese – bisher freiwillige – Strategie durch die neue, europaweit gültige EU-Kommunalabwasserrichtlinie KARL für viele Kläranlagen zur Pflicht. Dies ist unter anderem auch deshalb so wichtig, weil in den vergangenen Jahren der Arzneimittelverbrauch drastisch gestiegen ist. Und er wird wohl weiter steigen, weil die Bevölkerung immer älter wird. Dies bedeutet, dass auch steigende Mengen medizinischer Wirkstoffe in den Wasserkreislauf eingetragen werden, wie das Beispiel Metformin zeigt. Dieser Wirkstoff wird bei Diabetes Typ 2 eingesetzt und gehört zu den meistverbrauchten Arzneimitteln. Auch wenn Metformin in Kläranlagen gut abgebaut wird, so ist dieser Spurenstoff in den Gewässern aufgrund der hohen Eintragsmengen doch weit verbreitet vorhanden – und zwar nicht nur als Metformin selbst, sondern auch in Form seines Abbauprodukts Guanyl-harnstoff.

1. Säule: Vermeidung steht an oberster Stelle

Nicht die größte, aber eine leicht vermeidbare Quelle für Spurenstoffe in Gewässern sind nicht mehr benötigte Arzneimittel, die einfach die Toilette hinuntergespült werden. Diese betragen nach Schätzungen etwa 10 bis 20 Prozent der Arzneimittelrückstände im Gewässer. Um die Menschen für die Folgen einer falschen Entsorgung zu sensibilisieren, hat das baden-württembergische Umweltministerium die Broschüre »Alles klar? Gewässer schützen, alte Arzneimittel richtig entsorgen« veröffentlicht. Darüber hinaus ist es schon seit Jahren das erklärte Ziel der Landesregierung, quellenbezogene und dezentrale Maßnahmen voran zu bringen, durch die weniger Spurenstoffe in die Umwelt gelangen. So können etwa in Kliniken und ambulanten Praxen, in denen verstärkt Röntgenkontrastmittel anfallen, die Abwässer separat gesammelt und behandelt beziehungsweise entsorgt werden.

2. Säule: Der Ausbau von Kläranlagen zur Spurenstoffelimination

Doch selbst die beste Vorsorge und Aufklärung über die Wirkung von Spurenstoffen reicht nicht, um die Gewässer so gut wie möglich vor Spurenstoffen zu schützen.

Ein Beispiel ist der Arzneimittelwirkstoff Diclofenac. In einer konventionellen Kläranlage wird er nur zu etwa 25 Prozent abgebaut. Für zahlreiche andere chemische Verbindungen, die in Gewässern gefunden werden, und deren Abbauprodukte sowie für das Zusammenwirken verschiedener Substanzen liegen keine ausreichenden Erkenntnisse über die Umweltauswirkungen vor. Deshalb hat Baden-Württemberg bereits vor einigen Jahren damit begonnen, aus Vorsorgegründen Kläranlagen im Land dort mit einer Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auszurüsten, wo empfindliche gewässerökologische Bedingungen herrschen, die Abwasserbelastung des Gewässers besonders hoch ist oder Trinkwasser gewonnen wird.

Baden-Württemberg als bundesweiter Vorreiter

Die wissenschaftlichen Grundlagen für die gezielte Eliminierung von Spurenstoffen wurden in der für Ulm zuständigen Kläranlage geschaffen. Mit Unterstützung des Umweltministeriums wurde dort bereits 2003 von der Hochschule Biberach in Zusammenarbeit mit dem Kläranlagenbetreiber auf der Kläranlage Steinhäule (Ulm/Neu-Ulm) im Rahmen eines Pilotprojekts eine halbertechnische Anlage entwickelt und getestet. Die Wirkung beruht auf der Adsorption von Spurenstoffen an Pulveraktivkohle. 2010 wurde dann in Mannheim die erste Anlage in großtechnischem Maßstab zur gezielten Spurenstoffelimination in Betrieb genommen. Mittlerweile werden auch andere Verfahren großtechnisch eingesetzt: granuliert Aktivkohle und Pulveraktivkohle, um

Spurenstoffe zu adsorbieren, oder die Behandlung von Abwasser mit Ozon sowie die Kombination aus beiden Verfahren.

»Baden-Württemberg hat bei der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen bundesweit eine führende Rolle«, konstatiert denn auch Tobias Reinhardt, der Geschäftsführer des baden-württembergischen DWA-Landesverbands. Der Verband betreibt zusammen mit der Universität Stuttgart und der Hochschule Biberach das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS), das als Plattform für den Wissenstransfer die neue Technik der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen wissenschaftlich begleitet und die Betreiber bei der Erweiterung ihrer Anlagen unterstützt.

Anfang 2025 waren im Land 33 kommunale Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination in Betrieb, 28 weitere sind in Planung oder bereits im Bau. Somit lässt sich eine Abwassermenge von bis zu 4,5 Millionen Einwohnerwerten deutlich besser reinigen als bisher. Auch wenn die Technik zur weitergehenden Entfernung von Spurenstoffen bei manchen Substanzen wie etwa bei Röntgenkontrastmitteln an ihre Grenzen stößt, so lässt sich doch an trockenen Tagen eine Eliminationsrate von mindestens 80 Prozent erreichen – und diese Rate müssen die solchermaßen aufgerüsteten baden-württembergischen Kläranlagen im Alltagsbetrieb auch nachweisen.

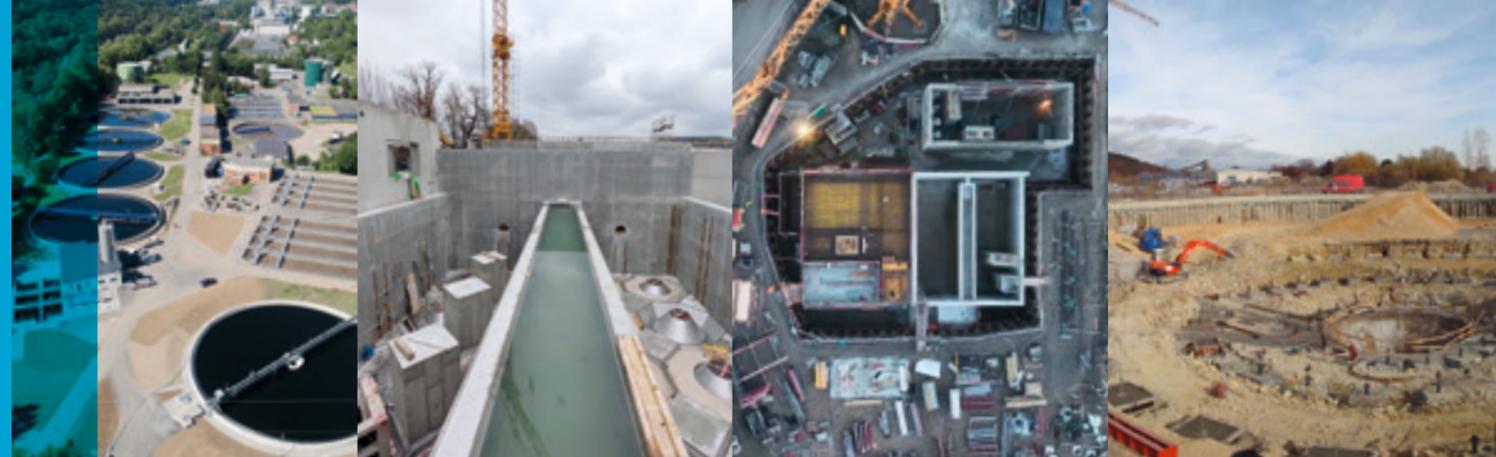


www.schussenaktivplus.de



» Alle Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 150.000 Einwohnerwerten müssen nach dem Vorsorgeprinzip mit einer Stufe zur Eliminierung von Spurenstoffen ausgestattet werden. Für Einleitungen aus Siedlungsgebieten mit mehr als 10.000 Einwohnerwerten gilt der sogenannte risikobasierte Ansatz.«

https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/PDF/?uri=OJL_202403019



Kläranlage Pforzheim, 4. Reinigungsstufe

Kläranlage Herrenberg, Sandfilter im Bau

Kläranlage Herrenberg, 4. Reinigungsstufe (Ozonung + Sandfilter) im Bau

Klärwerk Steinhäule (Ulm/ Neu-Ulm), neues Sedimentationsbecken der 4. Reinigungsstufe im Bau

KARL – DIE NEUE RICHTLINIE DER EU

Seit dem 1. Januar 2025 gilt die neue EU-Kommunalabwasserrichtlinie KARL. Sie bringt auch für Deutschland erhebliche Veränderungen mit sich. Vor allem wird künftig nun für viele Kläranlagen die 4. Reinigungsstufe zur Eliminierung von Spurenstoffen zur Pflicht – wenn auch mit einer mehrjährigen Übergangsfrist. Baden-Württemberg steht als Land hierbei bundesweit an der Spitze der technologischen Entwicklung und ist beim Ausbau kommunaler Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe bundesweit Vorreiter. Dies wird als wichtige Investition in die Zukunft gesehen, weil sich so die Gewässer noch wirkungsvoller schützen lassen.

Was will KARL?

Die EU-Kommission hat im März 2019 ihre Strategie veröffentlicht, wie künftig europaweit mit »Arzneimitteln in der Umwelt« umgegangen werden soll. Insgesamt war es das Ziel, die seit 1991 gültige EU-Kommunalabwasserrichtlinie im Rahmen des Null-Schadstoff-Aktionsplans grundlegend zu überarbeiten. Am 1. Januar 2025 ist diese neue Richtlinie nun in Kraft getreten. Sie will sowohl die Bevölkerung als auch die Gewässer-Ökosysteme noch besser vor unzureichend behandeltem Abwasser schützen. Dies bedeutet nicht nur verschärfte Anforderungen an die Entfernung von Nährstoffen, sondern auch an die Eliminierung von Spurenstoffen (Artikel 8). Dies lässt sich am besten durch eine 4. Reinigungsstufe in den Kläranlagen erreichen, was hiermit durch die EU auch festgeschrieben wird. Weiterhin ist auch der Abwassersektor auf die Ziele des »Green Deal« auszurichten, was unter anderem Energieneutralität, Kreislaufwirtschaft und Schutz der Biodiversität bedeutet.

Bemerkenswert ist, dass die Kosten für die 4. Reinigungsstufe, sowohl für die notwendigen Investitionen als auch für den Betrieb, teilweise über eine erweiterte Verantwortung der Hersteller getragen werden sollen (Artikel 9).

Was schreibt KARL bei den Spurenstoffen vor?

Die neue Richtlinie bedeutet für alle Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 150.000 Einwohnerwerten, dass sie nach dem Vorsorgeprinzip mit einer Stufe zur Eliminierung von Spurenstoffen ausgestattet werden müssen. Dies hat bis zum Jahr 2045 zeitlich gestaffelt zu erfolgen: 20 Prozent bis 2033 und 60 Prozent bis 2039. Für Einleitungen aus Siedlungsgebieten mit mehr als 10.000 Einwohnerwerten gilt der sogenannte risikobasierte Ansatz. Hier ist die gezielte Entfernung von Spurenstoffen dann erforderlich, wenn sie in Gebieten liegen, in denen Spurenstoffe aus kommunalen Kläranlagen ein Risiko für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt darstellen. Bis Ende 2030 sind diese Gebiete

in einer Liste zu benennen. Dann muss auch für diese Gebiete der Ausbau der zuständigen Kläranlagen schrittweise bis 2045 erfolgen.

Was KARL für Baden-Württemberg bedeutet

Baden-Württemberg hat bei der Aufrüstung der Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe schon beachtliche Vorarbeiten geleistet: Von den insgesamt 19 großen Kläranlagen mit mehr als 150.000 Einwohnerwerten sind bereits sieben mit einer Spurenstoffeliminierung ausgerüstet, bei vier weiteren ist sie in Planung oder bereits im Bau. Hier stehen also nur noch acht Kläranlagen aus. Weiterhin gibt es 335 mittlere Kläranlagen, die das Abwasser von 10.000 bis 150.000 Einwohnerwerten aufbereiten. Hiervon haben bereits 20 Anlagen eine Spurenstoffeliminierung, bei 24 weiteren ist diese in Planung oder im Bau. Die restlichen Anlagen werden nun in den risikobasierten Ansatz der EU mit einbezogen. Mit den bisherigen Vorgaben in Baden-Württemberg zur Priorisierung von Kläranlagen für einen Ausbau mit einer 4. Reinigungsstufe nach dem Prinzip von »no-regret« Maßnahmen sieht sich das Land gut aufgestellt. Insgesamt kommen die Fachleute des baden-württembergischen Kompetenzzentrums Spurenstoffe (KomS BW) zu dem Schluss, dass die zukünftigen Vorgaben der EU im Land eingehalten werden können.

Ein Blick auf den Nachbarn Schweiz

Die Schweiz hat die Eliminierung von Spurenstoffen aus dem Abwasser zu einer vorrangigen Aufgabe erklärt. Laut Gewässerschutzgesetz sollen bis zum Jahr 2040 rund 120 von über 700 Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe ausgerüstet werden. Im März 2014 ging die erste derartige großtechnische Anlage mit einer Stufe zur Ozonung des Abwassers in Dübendorf in Betrieb. Ende 2024 waren dann insgesamt 33 Anlagen mit einer Stufe zur Spurenstoffeliminierung ausgerüstet. Für den weiteren Ausbau der Kläranlagen wird eine Abgabe von neun Schweizer Franken erhoben – und zwar von allen Einwohnern, deren Abwasser in der Schweiz behandelt wird.



>>> EU-KARL



https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJL_202403019

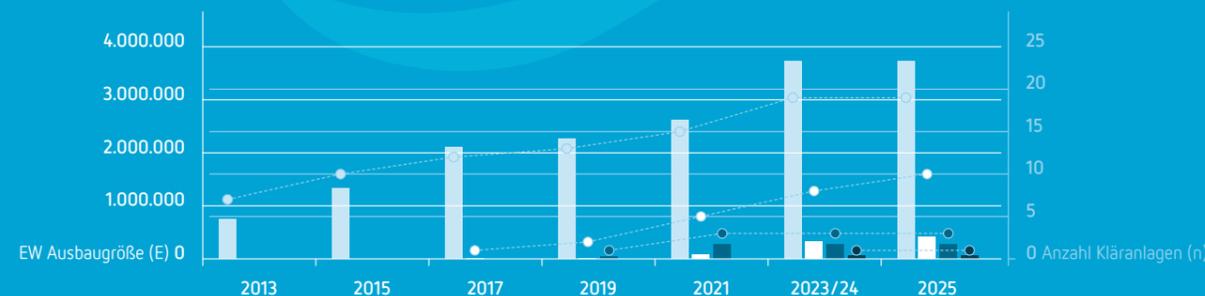


13. KomS-Technologieforum in Uhldingen-Müllhofen

Besichtigung des Verbandsklärwerks Überlingen See

13. KomS-Technologieforum in Uhldingen-Müllhofen

ENTWICKLUNG DES AUSBAUSTANDS KOMMUNALER KLÄRANLAGEN ZUR GEZIELTEN SPURENSTOFFELIMINATION IN BADEN-WÜRTTEMBERG



PAK EW, GAK EW, Ozonung EW, Ozon + GAK EW, PAK, GAK, Ozonung, Ozon + GAK

Stand: 01/2025



KOMPETENZ BÜNDELN – DIE BETREIBENDEN UNTERSTÜTZEN

Die gezielte Elimination von Spurenstoffen erfordert Techniken, die über die Leistungen eines traditionellen Klärwerks hinausgehen. Hierzu müssen technische Innovationen etabliert werden. Seit 2012 unterstützt das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS) Planer, Betreiber und Behörden bei der Einführung der neuen Technik und ist zudem an der weiteren Entwicklung der Spurenstoffeliminierung beteiligt.

KomS Baden-Württemberg: Das Kompetenzzentrum des Landes

Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS) wurde im April 2012 als gemeinsam getragene Einrichtung von der Universität Stuttgart, der Hochschule Biberach sowie dem Landesverband Baden-Württemberg der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) gegründet. Das Umweltministerium Baden-Württemberg fördert die Einrichtung, deren Aufgabe vor allem darin besteht, Planer und Betreiber bei der Erweiterung der Kläranlage um eine Spurenstoffeliminationsstufe und beim Einfahren bis zum zuverlässigen Betrieb zu unterstützen. Ein wichtiges Aufgabenfeld ist es, die Erkenntnisse und Erfahrungen mit der neuen Technologie zu bündeln, auszuwerten und für andere Nutzer bereit zu stellen. Somit dient das Kompetenzzentrum auch als Plattform für den Wissenstransfer, um die neue Technik wissenschaftlich zu begleiten und weiter zu entwickeln.

Studien und Fachveranstaltungen

Das KomS hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Möglichkeiten der Spurenstoffeliminierung weiter zu erforschen und sie damit zu verbessern, also verfahrenstechnische Schritte zu optimieren. Auch andere Aspekte wie etwa Kostenfragen und Betriebserfahrungen werden im Rahmen von Studien bearbeitet, an denen das Kompetenzzentrum beteiligt ist. Außerdem soll neuen Entwicklungen eine Chance gegeben werden – hier wird die Erforschung neuer Verfahren und gegebenenfalls ihre technologische Umsetzung gefördert. Um die Ergebnisse solcher Studien der Fachwelt zu präsentieren, ist ein funktionierender Wissens- und Technologietransfer unerlässlich, verbunden mit einem Erfahrungsaustausch und der Diskussion neuer technischer Ansätze. Hierzu werden regelmäßig KomS-Technologieforen durchgeführt, die sich an alle Beteiligten im Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung richten: Kläranlagenbetreiber, Behörden, Ingenieurbüros, wissenschaftliche Einrichtungen, Industrie und Fachverbände.



Handlungsempfehlungen und Unterstützung vor Ort

Eine gute Planung und ein optimaler Betrieb der Reinigungsstufe zur Spurenstoffeliminierung sind für einen effizienten Umweltschutz essenziell. Für die richtige Auslegung der Anlage und Überprüfung der Reinigungsleistung hat das KomS einen Standard ausgearbeitet. Diese Grundsätze sind in den »Handlungsempfehlungen für den Betrieb und die Vergleichskontrolle von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffeliminierung« zusammengestellt. Auch während der Planungsphase liefert das KomS mit dem »Leitfaden Machbarkeitsstudien zur Spurenstoffeliminierung auf kommunalen Kläranlagen« wertvolle Hinweise. Weiterhin stehen zum Beispiel Formblätter zur Verfügung, etwa zur Protokollierung der erforderlichen Messkampagnen. Das KomS sieht sich als Ansprechpartner sowohl für die Betreibenden und das Fachpersonal auf den Kläranlagen als auch für Ingenieurbüros und Betriebe, die mit der technischen Erweiterung der Klärwerke beauftragt werden. Mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern steht das KomS für individuelle Beratungen vor Ort sowie die Schulung des Fach- und Betriebspersonals bereit.



Fortbildungstag der Sondernachbarschaft Spurenstoffe in Uhldingen

Betrieblicher Erfahrungsaustausch

In Baden-Württemberg wurde eine Sonder-Nachbarschaft Spurenstoffe ins Leben gerufen. Wie bei den traditionellen Kläranlagen-Nachbarschaften der DWA handelt es sich auch dabei um freiwillige Zusammenschlüsse von Kläranlagenbetreibern mit dem Ziel, den Gewässerschutz sowie die Sicherheit des Anlagenbetriebs zu fördern und zu optimieren. Im Vordergrund stehen in dieser Sonder-Nachbarschaft die Information über aktuelle Entwicklungen zur Spurenstoffeliminierung, die Vernetzung des Wissens und der Erfahrungsaustausch zu dieser neuen Verfahrenstechnik.



<https://koms-bw.de/publikation/koms-handlungsempfehlungen-vergleichskontrolle-und-den-betrieb-von-verfahrenstechniken-zur-gezielten-spurenstoffeliminierung/>



KomS Baden-Württemberg – dreifach gut



Gefördert durch Baden-Württemberg Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft





Kläranlage Eriskirch, Ablauf Ozonreaktor

Kläranlage Lahr, Einbau des neuen Tuchfilters

Kläranlage Wendlingen, PAK-Silo

Kläranlage Kressbronn, PAK-Dosiereinrichtung

Kläranlage Eriskirch, Sauerstofftank für die Ozonanlage

Kläranlage Fridingen an der Donau, GAK-Filter

WEGWEISENDE VERFAHREN

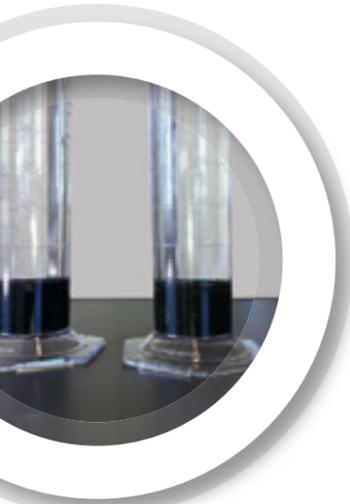
Bisher haben sich vor allem zwei Betriebsmittel bewährt, um Spurenstoffe erfolgreich aus dem Abwasser zu eliminieren: Aktivkohle und Ozon. In Baden-Württemberg ist das Verfahren, Spurenstoffe durch Adsorption an pulverisierte Aktivkohle zu entfernen, derzeit am weitesten verbreitet. Aber auch mit der hoch reaktiven Sauerstoffverbindung Ozon lassen sich unerwünschte Stoffe beseitigen. Zudem werden derzeit verschiedene Kombinationsverfahren erforscht.

Ein Ziel, zwei Wege: Aktivkohle und Ozon

Entwickelt wurde das sogenannte Pulveraktivkohle-adsorptionsverfahren zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Steinhäule in Ulm/Neu-Ulm. Dort wird mit Aktivkohle gearbeitet, was die ungewöhnliche Farbe des Wassers im Kontaktbecken erklärt, nämlich schwarz. An dieser Stelle wird nach der 3. Reinigungsstufe Pulveraktivkohle (PAK) zugegeben. Nach der Vermischung mit dem bereits weitgehend gereinigten Abwasser entwickelt die PAK ihre Wirkung: Da sie porös ist, kann sie an ihrer riesigen inneren Oberfläche viele Spurenstoffe binden. Anschließend wird sie mitsamt den adsorbierten Spurenstoffen im Sedimentationsbecken wieder vom Abwasser abgetrennt, wobei dieser Prozess mit Fällmitteln und Polymeren unterstützt wird. Im Zuge der Filtration verliert das Abwasser auch die schwarze Farbe wieder und kann in das Gewässer eingeleitet werden. Die Aktivkohle wird der biologischen Stufe zugeführt, um schlussendlich zusammen mit dem Klärschlamm getrocknet und – zusammen mit den Spurenstoffen – verbrannt zu werden. Die meisten Anlagen mit einer weitergehenden

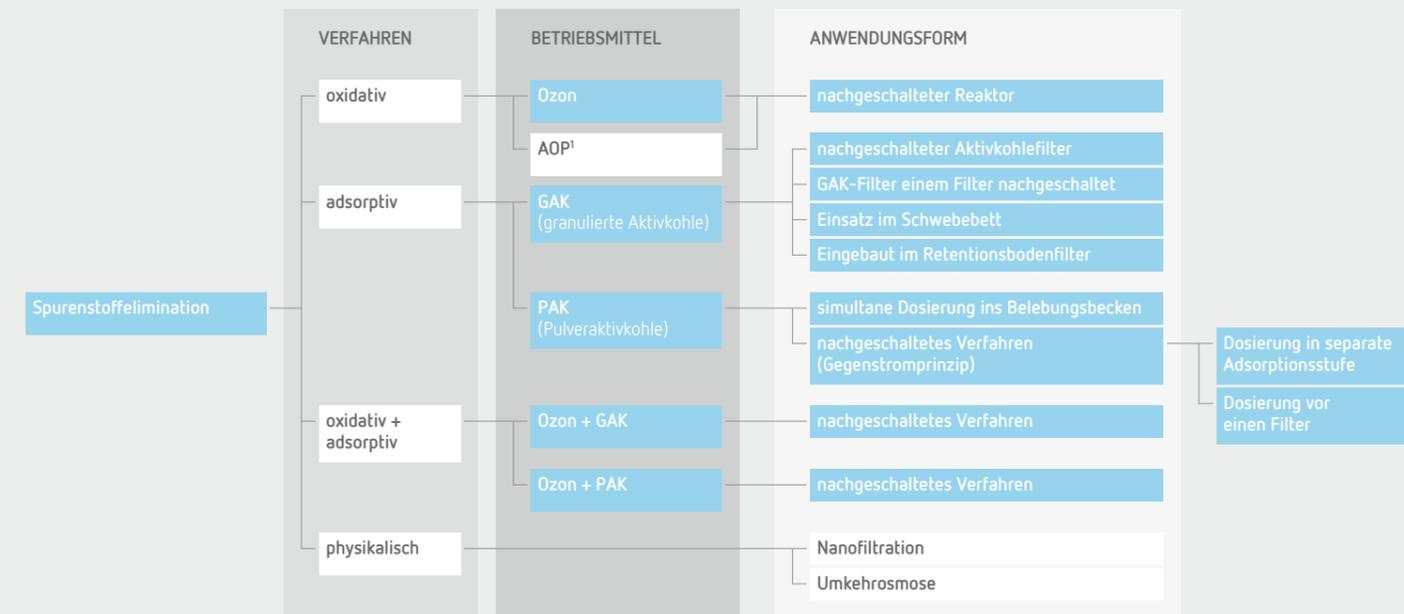
Reinigungsstufe in Baden-Württemberg arbeiten derzeit mit diesem PAK-Verfahren. Es gibt aber auch noch weitere Technologien, etwa die Eliminierung von Spurenstoffen mit granulierter Aktivkohle (GAK), wobei diese als Festbettfilter eingesetzt wird.

Bei der anderen, bereits etablierten Technik zur Spurenstoffelimination, der Ozonung, wird die große Reaktionsbereitschaft der hochaktiven Sauerstoffverbindung Ozon (O₃) ausgenutzt, um Verbindungen aller Art zu zerstören. Das hat sich bei der Aufbereitung von Trinkwasser genauso bewährt wie bei der Reinigung von Badewasser in Schwimmbädern und nun in der Abwasserbehandlung. Wird diese Technik als weitergehende Stufe in der Kläranlage eingesetzt, lassen sich auf diese Weise auch Spurenstoffe zerstören. Dabei entstehen teilweise unbekannte Transformationsprodukte. Deshalb muss das ozonierte Abwasser anschließend einem weiteren biologisch wirksamen Reinigungsschritt unterzogen werden, etwa einer Sandfiltration.



Pulveraktivkohleschlamm im Standzylinder

ÜBERSICHT DER VERFAHREN, DIE BEI DER GEZIELTEN SPURENSTOFFELEMINATION ZUM EINSATZ KOMMEN



Nach heutigem Kenntnisstand für den Einsatz zur Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen geeignet

¹Varianten: Ozon + UV-Bestrahlung | Ozon + Wasserstoffperoxid | Wasserstoffperoxid + UV-Bestrahlung | Titandioxid + UV-Bestrahlung | Eisen-II + Wasserstoffperoxid | Ozon + Ultraschall

Was für Möglichkeiten gibt es noch?

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass es wichtig ist, die weitergehende Reinigung des Abwassers an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen. Fachleute arbeiten daher noch an weiteren Ansätzen, um mögliche Verbesserungspotenziale zu realisieren. Eine bereits auf einer Kläranlage in Baden-Württemberg eingesetzte Möglichkeit ist, das Abwasser sowohl mit Ozon als auch mit Aktivkohle zu behandeln. Ein solches Kombinationsverfahren kann die Gesamtreinigungsleistung verbessern, die Standzeiten von GAK-Filtern erhöhen und die Präsenz unerwünschter Transformationsprodukte im Kläranlagenablauf reduzieren. Geforscht wird zudem auch an einer möglichen Kombination von Aktivkohle-Adsorption und Membranfiltration, womit sich mögliche Synergieeffekte erreichen lassen.

Willkommene Synergieeffekte

Mit der vierten Reinigungsstufe lassen sich nicht nur Spurenstoffe eliminieren. Durch den nachgeschalteten Filter kann auch Phosphor reduziert werden. Synergieeffekte ergeben sich daher für Kläranlagen, die auch eine weitergehende Elimination von Phosphor anstreben. Ein aus betrieblicher Sicht positiver Nebeneffekt ist außerdem, dass sich mit Hilfe der Aktivkohle gleichzeitig auch die organische Belastung im Abwasser weiter reduzieren lässt, gemessen als Chemischer Sauerstoffbedarf CSB. Im Durchschnitt kann auf denjenigen Kläranlagen, die mit Pulveraktivkohle arbeiten, eine Verringerung des CSB-Wertes um 30 Prozent festgestellt werden. Die Reduzierung der Keimbelastung ist ein zusätzlicher positiver Synergieeffekt der Ozonung – dies könnte auch ein gutes Argument für eine Verbindung von Spurenstoffelimination und Membranfiltration sein. Auf diese Weise ließe sich sogar EU-Badewasserqualität erreichen.



www.koms-bw.de/technologien/



Kläranlage Wendlingen am Neckar nach Fertigstellung der Reinigungsstufe mit Pulveraktivkohle

Kläranlage Mannheim, Filter mit granulierter Aktivkohle

Kläranlage Laichingen mit Aktivkohle- und nachgeschaltetem Tuchfilter

» Die Adsorption an Aktivkohle ist als Verfahren mit Breitbandwirkung zu verstehen, welches in der Lage ist, ein weites Spektrum von organischen Spurenstoffen effektiv aus dem Abwasser zu entfernen.«

Merkblatt DWA-M 285-2, Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2: Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung, September 2021



WIRKUNGSVOLLE AKTIVKOHLE

Mit Aktivkohle lassen sich Spurenstoffe wirkungsvoll aus dem Abwasser herausholen. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, Aktivkohleverfahren in die Abwasserbehandlung zu integrieren und die spezifische Oberfläche der Kohle möglichst optimal zu nutzen. Außerdem lässt sich die Aktivkohle in unterschiedlichen Formen einsetzen: als Pulver in verschiedenen Verfahrensvarianten und als Granulat zumeist in einem Festbettfilter.

Verfahren mit Pulveraktivkohle

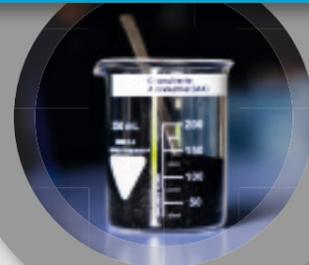
Pulveraktivkohle (PAK) ist gemahlene Aktivkohle mit einer Korngröße, die normalerweise zwischen 10 und 50 Mikrometer (μm) liegt. Sie wird direkt in das Abwasser gegeben, um dort ihre adsorptive Wirkung zu entfalten. Dabei gilt: Je länger sie mit dem zu reinigenden Wasser in Kontakt ist, desto mehr Spurenstoffe kann sie aufnehmen – wobei meist nie lange genug Zeit ist, um sie vollständig zu »beladen«, also ein Adsorptionsgleichgewicht herzustellen.

Je nach Abwasser und technischen Gegebenheiten gibt es mehrere Möglichkeiten, die Prozesse zu optimieren. Variabel ist dabei vor allem der Ort, an dem die PAK zudosiert wird. Eine Möglichkeit besteht darin, eine separate Adsorptionsstufe einzurichten. Diese umfasst einen Kontaktreaktor – hier wird PAK zugegeben – und ein Sedimentationsbecken, wo sie mit Hilfe von Fällungsmitteln wieder vom Abwasser getrennt wird. Alternativ kann PAK vor dem Filter zugegeben werden. Hierbei wird der Überstauraum des Sandfilters gleichzeitig als Kontaktreaktor für die Aktivkohle genutzt. Getrennt wird die PAK im nachfolgenden Filterbett. Als dritte Möglichkeit kann man die Aktivkohle direkt in das Belebungsbecken zudosieren, das dann auch als Kontaktreaktor dient. Die PAK wird in den Belebtschlamm eingebaut und zusammen mit dem Überschussschlamm aus der Reinigungsstufe entfernt.



www.koms-bw.de/anlagen/

Aktivkohle



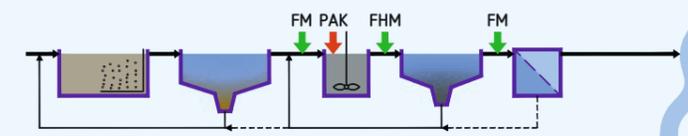
Granulierte Aktivkohle im Festbett

Mit einer Korngröße zwischen 0,5 und 4 Millimeter ist granulierte Aktivkohle (GAK) wesentlich größer als PAK, weshalb sie in sogenannten Festbettadsorbern eingesetzt wird. Das Abwasser strömt dann durch die aufgeschüttete GAK, wobei die Spurenstoffe angelagert werden. Zudem findet in diesen Filtern auch ein biologischer Abbau statt. Da die GAK im Festbett verbleibt, ist danach keine zusätzliche Abtrennstufe wie beim PAK-Verfahren erforderlich. Die GAK hat nur eine begrenzte Adsorptionskapazität: Ist diese erschöpft, muss die Kornkohle entnommen, reaktiviert und anschließend wieder in das Festbett eingesetzt werden.

Der GAK-Filter, der immer der biologischen Reinigung nachgeschaltet wird, kann auf zwei unterschiedliche Arten realisiert werden. Zum einen kann der GAK-Filter direkt nach der Nachklärung eingerichtet werden. Hier ist auch die Umrüstung eines bereits existierenden Sandfilters zu einem GAK-Festbettfilter möglich, also der Austausch des Filtermaterials. Zum anderen kann man das GAK-Festbett hinter einen Filter für die abfiltrierbaren Stoffe bauen, wodurch der Kornkohlefilter geschont wird. Der Filter selbst lässt sich unterschiedlich gestalten: als offener Filter, der von oben nach unten oder umgekehrt durchströmt wird, als Druckfilter oder als Filter, bei dem die Rückspülung parallel zum Filtrationsprozess abläuft.

Verfahrensvarianten mit Aktivkohle

PAK-Dosierung in separate Stufe



PAK-Dosierung vor Filter



PAK-Dosierung in die biologische Stufe



GAK-Filter (mit Vorfilter)



Worauf ist zu achten?

Das Verfahren erfordert Sorgfalt beim Betrieb, etwa bei der Auswahl, Qualitätssicherung und Dosierung der eingesetzten Aktivkohle. Da in Baden-Württemberg mehrere Aktivkohleadsorptionsanlagen bereits langjährig in Betrieb sind, liegt ein reichhaltiger Erfahrungsschatz vor. Insgesamt, so ergab eine Umfrage der Arbeitsgruppe beim Betriebspersonal von Kläranlagen mit Aktivkohleverfahren, stellen diese Verfahren »sehr gut beherrschbare Technologien dar, die sich gut in den Betriebsalltag integrieren lassen.«



DWA-Themen T1/2019 - Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen



Kläranlage Westerheim

Kläranlage Stockacher Aach am Bodensee

Zweckverband Klärwerk
Steinhäule (Ulm/Neu-Ulm)

Kläranlage Westerheim,
GAK-Filter

Kläranlage Immenstaad,
GAK-Filter

Kläranlage Deißlingen,
GAK-Filter



PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN

Mit der Anwendung von PAK in einer separaten Adsorptionsstufe wurde in Baden-Württemberg eine Technik zur gezielten Elimination von Spurenstoffen entwickelt. In Mannheim wurden die Erkenntnisse aus dem Ulmer Pilotprojekt erstmals in einer großtechnischen Anlage erprobt und zur Serienreife gebracht. Aber auch in anderen Kläranlagen im Land wurde mit der Aktivkohle-Technik Pionierarbeit geleistet. So liegen auch umfangreiche Betriebserfahrungen mit der Adsorption an GAK vor.

Kläranlage Mannheim

In Baden-Württemberg gibt es seit langem Erfahrungen mit Pulveraktivkohle (PAK). Bereits in den 1990er Jahren wurde PAK auf kommunalen Kläranlagen eingesetzt, um beispielsweise Textilabwässer zu entfärben. Ein Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen mit Hilfe von PAK wurde dann in den Jahren 2003 bis 2009 auf der Kläranlage Steinhäule (Ulm/Neu-Ulm) entwickelt, wobei die Erfahrungen mit den Textilabwässern die Grundlage bildeten. Anschließend wurde diese Technik dann auch in der Kläranlage in Mannheim eingebaut – europaweit erstmalig im großtechnischen Maßstab. Sie ging 2010 zunächst als Teilstromanlage in Betrieb. Eine Sandfilteranlage war bereits vorhanden, um die mit Spurenstoffen »beladene« Aktivkohle abzutrennen. Einer der Vorteile der Mannheimer Kläranlage war, dass dort vier Reinigungsstraßen parallel betrieben werden und somit die Einführung dieser neuen Technik und deren Auswirkungen mit umfangreichen Begleit- und Vergleichsuntersuchungen verfolgt werden konnte. Mittlerweile wurden



Kläranlage Mannheim am Rhein

auch die anderen Reinigungsstraßen aufgerüstet, so dass etwa 90 Prozent der Jahresabwassermenge gezielt mit PAK gereinigt werden.

Doch nun leistet man in der auf 725.000 Einwohnerwerte ausgelegten Kläranlage Mannheim erneut Pionierarbeit: Künftig soll das biologisch gereinigte Abwasser, das bei Regenereignissen zu einem Teil in einem Bypass an der PAK-Anlage vorbeigeführt wird, über granuliert Aktivkohle (GAK) gereinigt werden, um auch in diesem Abwasserteilstrom die Spurenstoffe zu eliminieren. Im Rahmen eines Großversuchs wurden deshalb drei Filterzellen mit GAK ausgerüstet. Der Erfolg ist vielversprechend, auch hier liegen die Eliminierungsraten bei mehr als 80 Prozent.



Kläranlage Stockacher Aach

Stockach liegt am westlichen Ende des Bodensees – und die Kläranlage reinigt das Abwasser von 69.000 Einwohnerwerten aus verschiedenen Gemeinden. Weil diese Kläranlage in den Bodensee entwässert und dieser als Trinkwasserreservoir besonders schützenswert ist, wurde sie bereits im Jahr 2011 mit einer PAK-Anlage zur Spurenstoffelimination ausgerüstet. Sie liegt zwischen der biologischen Behandlung und vor der Filtration – wobei auch hier der bereits existierende Sandfilter ein großer Vorteil war. Bedeutsam ist, dass der im Sedimentationsbecken abgesetzte »Kohleschlamm« wieder als »Rücklaufkohle« in den Kontaktreaktor zurückgeführt wird, wo auch neue PAK zudosiert wird. Insgesamt bleibt die Aktivkohle so mehrere Tage in der Adsorptionsstufe – was die Wirkung erhöht. Wie gut die Technik funktioniert, hat das Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) unter anderem hier intensiv untersucht. Maximal können mit der PAK-Stufe 21.600 Kubikmeter täglich behandelt werden, wobei im Schnitt knapp zehn Milligramm PAK pro Liter Abwasser zudosiert werden. Im Zuge einer einjährigen gezielten Messkampagne wurde festgestellt, dass bei Trockenwetter Spurenstoffe zu etwas mehr als 90 Prozent eliminiert wurden. Dies liegt deutlich über der in Baden-Württemberg geforderten Mindestleistung von 80 Prozent. Weiterführende Untersuchungen zeigen, dass die geforderten 80 Prozent häufig auch schon mit Dosiermengen von fünf bis sieben Milligramm PAK je Liter Abwasser eingehalten werden können, was eine deutliche Einsparung von Betriebsmitteln bedeutet.

Sedimentation auf der
Kläranlage Stockacher Aach

Kläranlage Westerheim

Westerheim liegt auf der Schwäbischen Alb – und die dortige, auf 5.500 Einwohnerwerte ausgerichtete Kläranlage kann ihr gereinigtes Abwasser nicht in ein Fließgewässer einleiten. Vielmehr versickert es im Karst und gelangt somit recht schnell in das Grundwasser. Daher hat man sich in Westerheim entschlossen, die dortige kleine Kläranlage mit einer Anlage zur Spurenstoffelimination auszurüsten. Dabei fiel die Wahl auf granuliert Aktivkohle – womit Westerheim die erste Kläranlage in Baden-Württemberg ist, die dauerhaft mit dieser Technik arbeitet. Im Zuge der zusätzlichen Ausrüstung mit einer weitergehenden Reinigungsstufe wurde auch ein der GAK-Anlage vorgeschalteter Sandfilter gebaut – wobei beide Anlagenteile in einem eigenen Filtergebäude untergebracht sind. Maximal können in der Anlage 22 Liter Abwasser pro Sekunde gereinigt werden – womit etwa 90 Prozent der jährlich anfallenden Abwassermenge adsorptiv gereinigt und damit die Spurenstoffe weitestgehend entnommen werden können.



www.koms-bw.de/publikationen/

Baggerbiss für das neue Filtergebäude auf der Kläranlage Westerheim





Bodensee-Strand bei Langenargen

Klärwerk Überlinger See, Blick in den Ozonreaktor

Klärwerk Überlinger See, mit Ozonung

Kläranlage Eriskirch mit Ozonung

» Bei den in der Praxis üblicherweise verwendeten Ozondosen werden die Spurenstoffe meist nicht vollständig mineralisiert, sondern ihre chemische Molekülstruktur verändert. Die insgesamt positive Wirkung der Ozonung wurde in einer Vielzahl von Studien bestätigt.«

DWA-AG 8.5 »Ozonung auf kommunalen Kläranlagen«, Themenband, Einsatz der Ozonung zur Spurenstoffentfernung auf kommunalen KläranlagenErfahrungen, verfahrenstechnische Aspekte und offene Fragen



HOCHAKTIVES OZON

Das aus drei Sauerstoffatomen bestehende Gas Ozon ist sehr reaktionsfreudig. So greift es auch Spurenstoffe an und verändert sie chemisch. Dadurch verlieren sie ihre ursprünglichen Eigenschaften. Wichtig ist eine Nachbehandlung des ozonierten Abwassers, um unerwünschte Oxidationsprodukte zu entfernen – genauso wie das noch vorhandene restliche Ozon. Als weiterer Effekt werden Keime im Abwasser reduziert.

Was spricht für eine Ozonung?

Am Beispiel der Kläranlage von Eriskirch lässt sich gut aufzeigen, warum es sich lohnt, bei der Planung einer weitergehenden Reinigungsstufe intensiv die Vor- und Nachteile der einzelnen Techniken abzuwägen. Dazu werden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie verschiedene Varianten untersucht und eine Vorzugslösung herausgearbeitet. In diesem Fall spielte die Lage der Kläranlage am Bodensee, die das Wasser von 50.000 Einwohnerwerten reinigt, eine wichtige Rolle. Mit der Ozonung sollte die Keimbelastung der Strandbäder in Eriskirch und Langenargen so gering wie möglich gehalten werden – einer der Gründe, die Ozontechnik als weitere Reinigungsstufe einzusetzen. Denn die sehr aggressive Sauerstoffverbindung Ozon knackt nicht nur Spurenstoffe, sondern kann auch Keime wie Bakterien und Viren unschädlich machen. Daneben ist die Eliminierung von Spurenstoffen insbesondere im Hinblick auf den Trinkwasserspeicher Bodensee von großer Bedeutung, in den die Kläranlage Eriskirch ihre gereinigten Abwässer einleitet.

Wichtig ist, dass vor einer Abwägung und Entscheidung alle notwendigen Fakten ermittelt werden. Dazu gehört auch die Untersuchung des Abwassers auf erhöhte Bromidgehalte, die durch Ozon zu schädlichen Verbindungen (Bromat) umgewandelt werden können. In diesen Fällen empfiehlt es sich, eine andere Technik für die Spurenstoffelimination zu wählen.

Die Situation vor Ort ist wichtig

Die Eriskircher Kläranlage war von 2012 bis 2015 bereits in das Forschungsprojekt Schussen AktivPlus eingebunden, das als Teil der BMBF-Fördermaßnahme »Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf« durchgeführt wurde. Im Rahmen dieses Projekts im Einzugsgebiet der Schussen, die zwischen Eriskirch und Langenargen in den Bodensee mündet, war in Eriskirch eine Versuchsanlage mit Ozonung eingerichtet worden. Dabei wurden verschiedene Kombinationen aus Ozonbegasung und Filtration getestet. Das Fazit: Mit der Ozonung erreichte das Abwasser sogar annähernd Badewasserqualität.



Ozonleitungen



Im Falle der Kläranlage Eriskirch kam als weiteres Argument für die Ozontechnik hinzu, dass bereits ein Sandfilter vorhanden war. Damit lassen sich die durch das Ozon veränderten Transformationsprodukte der Spurenstoffe herausfiltern, um das Risikopotenzial für die Umwelt weiter zu reduzieren. Die weitergehende Reinigungsstufe wurde in Eriskirch nach rund 15-monatiger Bauzeit als erste baden-württembergische Ozonanlage Anfang Januar 2020 in Betrieb genommen. Seither läuft die Technik stabil.

Ozon – Erfahrungen aus dem Land

Stand 2025 sind in Baden-Württemberg die drei kommunalen Kläranlagen in Eriskirch, Friedrichshafen und Tübingen mit einer Ozonanlage zur gezielten Spurenstoffelimination ausgestattet. Das Ozon (O_3) wird auf den Anlagen aus flüssigem Sauerstoff (O_2) in Ozongeneratoren erzeugt und über Diffusoren dem Abwasser in einem gasdicht abgeschlossenen Reaktor zugegeben. Das in feinen Blasen eingetragene Ozon löst sich im Abwasser und reagiert mit den Spurenstoffen. Damit kein Ozon in die Umwelt gelangen kann, wird die Abluft des Reaktors über einen Restozonvernichter geführt, so dass lediglich reiner Sauerstoff in die Umwelt entlassen wird. Alle drei Kläranlagen betreiben als Nachbehandlung zur Elimination von Oxidationsprodukten einen Sandfilter.

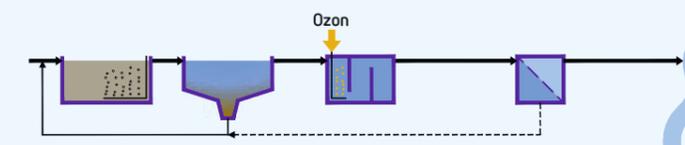
Als Betriebsmittel werden bei der Ozonung Sauerstoff und elektrische Energie benötigt. Der Sauerstoff wird in flüssiger Form angeliefert und vor Ort zu Ozon umgewandelt. Dieser Prozess ist sehr energieintensiv, kann aber durch Nutzung von erneuerbaren Energien wie etwa den Betrieb einer Photovoltaikanlage auf dem Gelände der Kläranlage sehr nachhaltig gestaltet werden.

Die inzwischen mehrjährigen Betriebserfahrungen zeigen, dass sich die geforderte Eliminationsleistung von 80 Prozent der Spurenstoffe mit dem Verfahren der Ozonung sicher einhalten lässt. Um dies zu erreichen, muss die Kläranlage Friedrichshafen beispielsweise etwa drei Milligramm Ozon je Liter Abwasser zugeben.



DWA-Themen T2/2022 – Einsatz der Ozonung zur Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen

Schema einer Kläranlage mit Ozonungsstufe





WAS GEHT – UND WO LIEGEN DIE GRENZEN?

Mit der weitergehenden Reinigungsstufe wird eine Vielzahl von Spurenstoffen aus dem Abwasser entnommen und so das Risikopotenzial für die aquatische Umwelt deutlich reduziert. Die Reinigungsleistung wird dabei anhand der Eliminationsrate bestimmter Indikatorstoffe gemessen. Aber auch die weitergehende Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination hat ihre Grenzen: Nicht alle Verbindungen lassen sich gleich gut eliminieren. Und der Aufwand hängt auch von der Beschaffenheit des zu behandelnden Abwassers ab.

Beeindruckende Leistungen

Die Gesamtleistung der Spurenstoffelimination einer Kläranlage mit einer weitergehenden Reinigungsstufe wird anhand der Eliminationsraten von sogenannten Indikatorsubstanzen gemessen. Diese Verbindungen sind in der Regel im Abwasser kommunaler Kläranlagen in solchen Mengen vorhanden, dass sich eine Eliminationsrate von 80 Prozent nachweisen lässt. Weitere Kriterien für die Auswahl von Indikatorsubstanzen waren, dass sie sich sowohl mit Aktivkohle als auch mit Ozon gut eliminieren und sich zudem verlässlich und möglichst kostengünstig analysieren lassen.

Die ausgewählten Indikatorstoffe sollten zu mindestens 80 Prozent eliminiert werden, bezogen auf die Fracht im Zulauf. In der neuen EU-Kommunalabwasserrichtlinie KARL werden diese Stoffe in Kategorien eingeteilt. Die Stoffe der Kategorie 1 sind »sehr leicht zu entfernen«, zum Beispiel das Medikament Diclofenac. Zur Kategorie 2, »leicht zu entfernen«, zählt beispielsweise das Arzneimittel Candesartan.

Das Vorgehen zum Nachweis der Eliminationsleistung ist in den »Handlungsempfehlungen« des Kompetenzzentrums Spurenstoffe (KomS) Baden-Württemberg ausführlich beschrieben.

Für einen Kläranlagenbetreiber ist es kaum möglich, die Spurenstoffe im eigenen Betriebslabor zu messen – dazu ist die Analytik zu aufwendig. Eine kontinuierliche Überwachung vor Ort kann allerdings mit optischen Messsonden, die heutzutage bereits zur CSB-Bestimmung im Ablauf von Kläranlagen zum Einsatz kommen, realisiert werden. Inzwischen hat sich auch der spektrale Absorptionskoeffizient bei einer Wellenlänge von 254 Nanometer (SAK₂₅₄) als geeigneter Parameter zur Beurteilung der Spurenstoffelimination bei Verfahren mit Aktivkohle und Ozon herausgestellt. Der prozentuale Rückgang des SAK₂₅₄ ist mit der prozentualen Verringerung der Spurenstoffe verknüpft. Dabei werden spezielle Geräte eingesetzt, die im UV-Bereich messen können. Somit können die Kläranlagenbetreiber den Reinigungsprozess selbst überwachen.



Diclofenac wird häufig als Schmerzmittel und Entzündungshemmer eingesetzt.



Der Mindestprozentsatz der Spurenstoffentfernung muss 80 % bei Trockenwetter betragen. Die Berechnung erfolgt anhand ausgewählter Indikatorparameter.«

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202403019

INDIKATORSTOFFE NACH EU-KOMMUNALABWASSERRICHTLINIE

KATEGORIE 1 Stoffe, die sehr leicht zu behandeln sind	Amisulprid	Arzneimittelwirkstoff zur Behandlung von Schizophrenie und schizoaffektiven Störungen
	Carbamazepin*	Arzneimittelwirkstoff, der unter anderem gegen Epilepsien eingesetzt wird
	Citalopram	Arzneimittelwirkstoff zur Anwendung bei psychischen Erkrankungen z.B. Depressionen
	Clarithromycin	Arzneistoff aus der Gruppe der Antibiotika zur Anwendung bei bakteriellen Infektionen
	Diclofenac*	Arzneimittelwirkstoff gegen Schmerzen und Entzündungen
	Hydrochlorothiazid*	Arzneiwirkstoff, u.a. gegen Bluthochdruck und Herzinsuffizienz
	Metoprolol*	Arzneiwirkstoff, wirkt als Betablocker, u.a. gegen Herzkrankheiten
	Venlafaxin	Arzneimittel, das zur Behandlung von Depressionen eingesetzt wird
KATEGORIE 2 Stoffe, die leicht zu entfernen sind	Benzotriazol*	Komplexbildner, der als Korrosionsschutzmittel und Silberschutzmittel wirkt
	Candesartan	Arzneistoff zur Behandlung von Bluthochdruck und Herzinsuffizienz
	Irbesartan*	Arzneiwirkstoff gegen Bluthochdruck
	Gemisch aus 4-Methylbenzotriazol und 5-Methylbenzotriazol*	Wie Benzotriazol, etwa als Frostschutzmittel

* Substanzen, die in Baden-Württemberg für den Nachweis der Einhaltung einer ausreichenden Spurenstoffelimination herangezogen werden (Stand 2025)

Mit der weitergehenden Reinigungsstufe werden aber nicht nur die Indikatorstoffe, sondern eine Vielzahl von Spurenstoffen aus dem Abwasser entnommen. So wird das Risikopotenzial für die aquatische Umwelt insgesamt deutlich reduziert. In der Gesamtschau der Kläranlagen, die in Baden-Württemberg bereits mit einer Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination ausgerüstet sind, zeigt sich, dass bei zahlreichen Spurenstoffen die Emissionsminderung bei rund 90 Prozent liegt.

Wo stößt die Technik an Grenzen?

Unter dem Begriff Spurenstoffe werden zahlreiche Substanzen mit unterschiedlichen chemischen Eigenschaften sowie aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen zusammengefasst. Untersuchungen haben gezeigt, dass zum Beispiel eine Vielzahl an Arzneimittelwirkstoffen oder Benzotriazolen in sehr konstanten Mengen im Abwasser enthalten sind und sehr gut mit der 4. Reinigungsstufe entfernt werden. Andere Spurenstoffe wie Biozide oder Röntgenkontrastmittel sind eher in schwankenden Mengen im kommunalen Abwasser enthalten. Da die genaue Zusammensetzung des Abwassers auch vom jeweiligen Einzugsgebiet abhängt, müssen die Dosieraten von Ozon beziehungsweise Aktivkohle für eine optimale Eliminationsleistung für jede Kläranlage individuell ermittelt werden.

Die Eliminationsrate einzelner Spurenstoffe hängt dabei womöglich nicht nur mit den Adsorptionsvorgängen an der Aktivkohle oder der Angreifbarkeit der Molekülstruktur des Stoffes durch Ozon zusammen, sondern auch mit der biologischen Entfernung der Spurenstoffe – schließlich können sich Mikroorganismen in der biologischen Reinigungsstufe ebenfalls wirkungsvoll am Abbau von Spurenstoffen beteiligen. Dabei spielen allerdings mehrere Faktoren eine Rolle, so die Art des biologischen Verfahrens, das Alter des Schlammes sowie die Temperatur.

Manche Stoffe können allerdings auch mit einer weitergehenden Reinigungsstufe zur gezielten Spurenstoffelimination nur schlecht oder gar nicht entfernt werden. Dazu gehört beispielsweise das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure sowie die Industriechemikalie Melamin, die vielfältig verarbeitet wird, etwa zu bruchsicherem Geschirr. Auch wenn eine Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination vorhanden ist, dürfen daher Anstrengungen, bereits den Eintrag von Spurenstoffen in das kommunale Abwassernetz zu reduzieren, nicht vernachlässigt werden. Dazu gehört beispielsweise auch die Aufklärung der Bevölkerung über die richtige Entsorgung abgelaufener Arzneimittel.



Auswirkung der Abwasserreinigung:

1. Zulauf Kläranlage



2. Ablauf konventionelle Kläranlage



3. Ablauf Kläranlage mit 4. Reinigungsstufe (Ozonung)



<https://koms-bw.de/publikation/durchfuehrung-von-vergleichsmessungen-zur-spurenstoffelimination-beim-ausbau-von-klaeranlagen-um-eine-4-reinigungsstufe/>



Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen, Aktivkohlesilo

Klärwerk Tübingen, Filtrationsanlage

Kläranlage Lahr, Aktivkohlesilo

WICHTIGE ADRESSEN UND ANSPRECHPERSONEN

Sollten Sie weitere Fragen zum Kläranlagenausbau oder dem Thema Spurenstoffe haben, können Sie sich gerne an die folgenden Stellen wenden:

- **Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg** – www.koms-bw.de: Allgemeine Auskünfte, Veranstaltungshinweise (KomS Technologieforum, Spurenstoffkongress, Sondernachbarschaft), weitergehende Informationen (Publikationen), generelle Unterstützung bei Fragen zum Ausbau kommunaler Kläranlagen zur gezielten Spurenstoffelimination.
- **Zuständige Wasserbehörde**: Abstimmung von Ausbaukonzepten, Fragen zu Förderung.
- **Ingenieurbüros**: Individuelle Beratung zum Kläranlagenausbau, Durchführung von Machbarkeitsstudien, Planung und Realisierung von Stufen zur gezielten Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen.

WAS KOSTET ES?

Mit der 4. Reinigungsstufe lassen sich Spurenstoffe wirkungsvoll aus dem Abwasser entfernen – für die Gewässer ein großer Gewinn. Das ist unbestritten. Aber zu welchem Preis? Um diese Frage zu beantworten werden die Kosten, die sich mit dem Ausbau kommunaler Kläranlagen ergeben, regelmäßig erhoben und analysiert.

Was beeinflusst die Kosten?

Mit einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination lassen sich eine Vielzahl an Spurenstoffen weitestgehend aus dem Abwasser entfernen. Was das kostet, wird vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS) in regelmäßigen Abständen mit Unterstützung durch externe Fachleute errechnet. An der neuesten Abfrage im Jahr 2024/25 haben insgesamt 18 Betreiber teilgenommen und ihre Betriebserfahrungen und Ausgaben dokumentiert. Bei der Analyse zeigte sich, dass die Kosten von mehreren Faktoren beeinflusst werden. So spielen Größenunterschiede im Hinblick auf die behandelte Abwassermenge, die ausgewählte Verfahrenstechnik und die Möglichkeit der Nutzung bereits bestehender Anlagenkomponenten eine entscheidende Rolle. In der Gesamtbetrachtung zeigt sich, dass sich die Jahreskosten im Durchschnitt aus 65 % kalkulatorischen Kapitalkosten und 35 % Betriebskosten zusammensetzen.

Starke Schwankungen bei den einzelnen Kostenposten

Für Betreiber, die eine Anlage zur Spurenstoffelimination bauen wollen, ist eine Detailanalyse der zu erwartenden Kosten interessant. Vor allem die Kapitalkosten

schwanken zwischen den Anlagen stark – was angesichts der verschiedenen Ausgangssituationen und Rahmenbedingungen verständlich ist. Für eine einheitliche Kostenbetrachtung konnten 17 Anlagen herangezogen werden. Die ermittelten Jahreskosten bezogen auf die in den Kläranlagen behandelte Jahresabwassermenge liegen zwischen 5 und 24 Cent je Kubikmeter Abwasser.

Dabei schwanken insbesondere die Kapitalkosten relativ stark, während die Betriebskosten ziemlich einheitlich zwischen 3,80 EUR und 4,50 EUR je Einwohnerwert und Jahr liegen. Darunter fallen sowohl Personalkosten als auch Betriebsmittel, etwa Aktivkohle und Ozon, ferner die Kosten für Strom, Entsorgung, Abwasseranalysen und Instandhaltung. Entscheidend ist allerdings das Fazit dieser Studie: Pro Einwohnerwert und Jahr sind dies zwischen 3,70 EUR und 19,50 EUR. Je nach Rahmenbedingungen können diese Beträge zukünftig höher sein. Mit diesen vergleichsweise geringen Kosten lässt sich ein großer Beitrag bei der Eliminierung von Spurenstoffen und damit ein Gewinn für die Umwelt erzielen: »Alle beteiligten Anlagen erreichen mit diesen Kosten eine durchschnittliche Eliminationsleistung der überwachten Substanzen von deutlich über den geforderten 80 Prozent«, lautet das Fazit der Studie.

WIE GEHT ES WEITER?

Baden-Württemberg hat es sich schon lange zum Ziel gesetzt, den Ausbau der Kläranlagen mit einer weitergehenden Reinigungsstufe zur Elimination von Spurenstoffen weiter voranzubringen. Im Vordergrund stand dabei der Konsens, dass dies aus Vorsorgegründen geschieht. Nun wird dies von der neuen EU-Kommunalabwasser-richtlinie KARL unter bestimmten Voraussetzungen zwingend gefordert. Das Land sieht sich dabei gut gerüstet.

Für welche Kläranlagen kommt ein Ausbau prioritär in Betracht?

Unabhängig von der Region und den Einleitungsverhältnissen müssen künftig gemäß den Vorgaben der neuen kommunalen EU-Kommunalabwasserrichtlinie KARL generell die großen und sehr großen Anlagen mit einer Reinigungsleistung von mehr als 150.000 Einwohnerwerten aufgerüstet werden. Baden-Württemberg verfügt insgesamt über 19 Kläranlagen, die in diese Kategorie fallen. Sieben davon sind bereits mit einer Stufe zur gezielten Spurenstoffelimination ausgestattet. Bei vier weiteren Kläranlagen befindet sich diese in Planung oder im Bau – so auch auf der Stuttgarter Großkläranlage, bei der aktuell der Ausbau läuft.

Bei den Anlagen zwischen 10.000 und 150.000 Einwohnerwerten muss eine Risikobewertung vorgenommen werden. Im Rahmen der Risikobewertung sollen beispielsweise die Trinkwassergewinnung, Badegewässer, Gewässer mit niedrigen Verdünnungsverhältnissen und andere Dinge berücksichtigt werden. Die Liste mit den Risikoge-

bieten ist durch die Mitgliedsstaaten bis zum 31.12.2030 zu erarbeiten – erst dann wird final feststehen, wie viele Anlagen in Baden-Württemberg zukünftig die 4. Reinigungsstufe erhalten.

Mit der Wasserbehörde sprechen

Auch wenn noch nicht abschließend bekannt ist, welche kommunalen Kläranlagen unter die Regelungen der EU-KARL fallen, können anstehende bauliche Änderungen an Kläranlagen Anlass sein, auch die Möglichkeit einer Anlage zur Spurenstoffelimination zu prüfen beziehungsweise zu berücksichtigen. Bei kleineren Kläranlagen sind vorrangig Strukturmaßnahmen zu prüfen. Synergieeffekte können im Zuge von gegebenenfalls erforderlichen Maßnahmen zur weitergehenden Phosphor-Elimination erzielt werden. Wenn eine Kläranlage voraussichtlich unter eines der Kriterien für den Ausbau zur Spurenstoffelimination fällt, ist es jedenfalls sinnvoll, das Gespräch mit den zuständigen Wasserbehörden zu suchen und die Zielvorstellungen gemeinsam zu klären.



<https://koms-bw.de/publikation/koms-langzeitbetrachtung-zu-kosten-der-gezielten-spurenstoffelimination-auf-kommunalen-klaeranlagen-2/>



