

Abb. 1 – Nanofiltrationsanlage zur Spurenstoffentfernung in einem Wasserwerk



Alternative Lösungsansätze für die vierte Reinigungsstufe

Für die flächendeckende Einführung der vierten Reinigungsstufe auf Kläranlagen in Deutschland wird mit Kosten in der Größenordnung von 36 bis 40 Mrd. Euro in den nächsten 30 Jahren gerechnet. Diese Kosten werden weitgehend einseitig die Verbraucherinnen und Verbraucher belasten. EU, Bund und Länder beteiligen sich derzeit an den Investitionskosten, aber die Betriebskosten werden nach jetzigem Stand am Verbraucher als Zahler der Abwassergebühr hängen bleiben. Diese hohen Kosten stellen einen wesentlichen Grund dar, sich mit den derzeit angewandten Lösungen und Techniken intensiv auseinander zu setzen und alternative Lösungsansätze aufzuzeigen.



Abb.: Hydrogroup/Hydro-Elektrotechnik GmbH

Jährlich fließen rund 5 Mrd. m³ Schmutzwasser und rund 4 bis 5 Mrd. m³ Fremd- und Niederschlagswasser den rund 9.100 Kläranlagen in Deutschland zu [1]. In den Kläranlagen wird das Abwasser mechanisch von Feststoffen befreit und zu fast 100 % biologisch aufbereitet, bevor es als weitgehend geklärtes Wasser in Fließgewässer eingeleitet wird. Stickstoff wird im Rahmen der biologischen Aufbereitung reduziert, während Phosphor meist durch Fällung entfernt wird. Trotz aufwendigster Klärtechniken gelingt es hierbei

aber nicht, mit den üblichen drei Reinigungsstufen auch gelöste Stoffe, Spurenstoffe sowie Mikroschadstoffe und Kunststoffpartikel gezielt und vollständig aus dem Abwasser zu entfernen. Dabei könnte das Wasser aus Kläranlagen die Flüsse und Seen sauberer machen, denn geklärtes Abwasser kann qualitativ deutlich besser sein als die vielen diffusen, unkontrollierten Einträge wie z. B. Oberflächenwasser aus Verkehrswegen und aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, Schmutzwasser aus Regenwasserentlastungen bei Mischkanalisation oder Regenwassereinträge aus der Atmosphäre – wenn es denn die Belastung mit Mikroschadstoffen nicht gäbe.

So paradox es klingt: Das Problem resultiert aus dem Medium Wasser selbst. Genauer gesagt ist es die Eigenschaft des Wassers, eine Vielzahl an Stoffen hervorragend zu lösen bzw. in gelöster Form aufzunehmen. Wasser ist das beste Lösungs-

kerungswachstums und der Zunahme der älteren Generation mit einem stark zunehmenden Medikamentenkonsum gerechnet wird und damit auch die Abwasserbelastung mit Mikroschadstoffen zukünftig deutlich zunehmen wird.

An der Abwasserreinigungsanlage läuft letztendlich ein Großteil der Stoffströme zusammen. Aus diesem Grund wird wohl kein Weg daran vorbeiführen, die Reinigungsleistungen der Kläranlagen zu verbessern, um Mikroschadstoffe in Form einer End-of-Pipe-Lösung effektiv aus dem Abwasserstrom zu eliminieren.

Für die flächendeckende Umsetzung dieser Maßnahmen wird mit Kosten in der Größenordnung von 36 bis 40 Mrd. Euro (je nach Quelle) in den nächsten 30 Jahren gerechnet. Weitgehend werden diese Kosten einseitig die Verbraucherinnen und Verbraucher belasten, wenngleich viele der derzeitigen Maßnahmen mit Investitionskostenzuschüssen realisiert

» **Es führt kein Weg daran vorbei, die Reinigungsleistungen von Kläranlagen zu verbessern, um Mikroschadstoffe in Form einer End-of-Pipe-Lösung effektiv aus dem Abwasserstrom zu eliminieren.** «

mittel überhaupt. Zucker oder Salz beispielsweise lösen sich in Wasser sehr schnell auf, ebenso jedoch auch eine große Zahl anderer Stoffe, wie z. B. Medikamente. Diese gelösten Stoffe anschließend wieder aus dem Wasser abzutrennen, ist dagegen schwierig und eine sehr energieintensive Angelegenheit.

Mikroschadstoffe

Mikroschadstoffe steht als Sammelbegriff für eine gesamte Stoffgruppe, umfassend z. B. Arzneimittel, Röntgenkontrastmittel, Hormone, Kosmetika, Haushalts- und Industriechemikalien sowie Biozide und Pestizide. Die in der Regel in sehr geringen Konzentrationen im Bereich von Mikrogramm [µg/l] bzw. Nanogramm [ng/l] vorliegenden Stoffe können durch eine verbesserte Analytik mittlerweile zunehmend in sehr vielen Gewässern nachgewiesen werden. Zu beachten ist ferner, dass aufgrund der großen Abwasserfrachten die gesamte Schadstoffmenge beachtlich sein kann, auch wenn ein Stoff nur im Nanogrammbereich vorliegt. Verschärfend kommt hinzu, dass aufgrund des Bevöl-

werden. Die Betriebskosten werden in jedem Fall am Verbraucher als Zahler der Abwassergebühr – und in vielen Fällen auch als Verursacher der Belastungen – hängen bleiben. Schon heute ist es oft so, dass die Kosten für die Abwasserentsorgung deutlich höher sind als die Kosten für die Trinkwasserversorgung. Bei diesem Vergleich ist aber auch zu beachten, dass bei der Abwasserentsorgung, insbesondere beim Mischwassersystem, die Kosten für den Oberflächenwasserabfluss in der Regel enthalten sind.

Spurenstoffentfernung im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung

Zur Spurenstoffentfernung im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung werden neben der Aktivkohlefiltration und der Ozonung auch Membrantechniken wie Umkehrosmose und Nanofiltration eingesetzt.

Die Umkehrosmose (RO = Reverse-Osmosis) ist ein druckgetriebenes, physikalisches Membran-Verfahren zur Trennung von Flüssigkeiten und darin gelösten Stoffen. Sie kommt insbesondere bei der Meerwasserentsalzung, der Enthär-

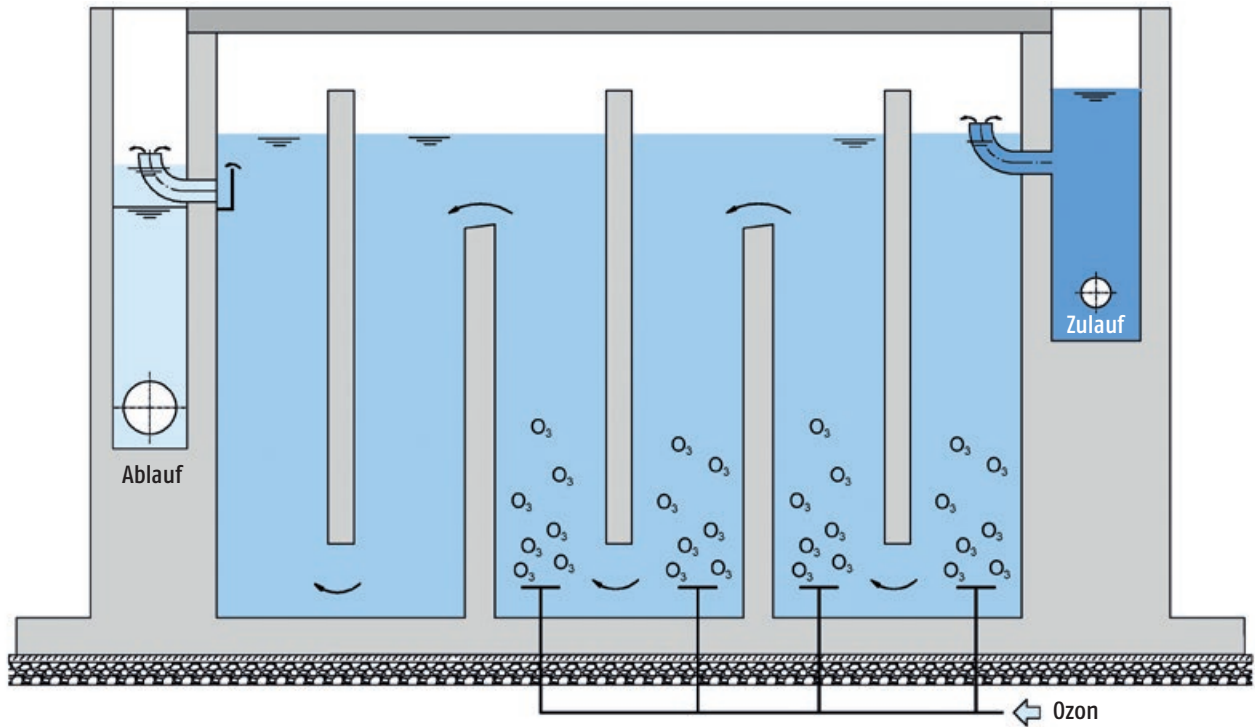


Abb. 2 – Kontakt- und Reaktionsbecken aus Beton

tung oder bei der Prozesswasser- und Reinstwasseraufbereitung zum Einsatz. Das zu entsalzende Wasser wird dabei unter zum Teil sehr hohem Druck (bis zu 60 bar) durch eine sogenannte semipermeable (halbdurchlässige) Membrane gedrückt. Vor der Membrane konzentrieren sich die Salze auf (Retentat), während nach der Membrane ein nahezu komplett entmineralisiertes Wasser (Permeat) gewonnen wird. Umkehrosmose-Membranen müssen hohen Drücken standhalten. Um ein Auskristallisieren in den Membranen zu vermeiden, werden sogenannte Antiscalings (Antibelagmittel) dosiert.

Umkehrosmose- und Nanofiltrations-Module erfordern eine gute Rohwasserqualität. Zum Schutz und zur Entlastung der Module wird meist ein Schutzfilter oder eine Ultrafiltrationsstufe vorgeschaltet. RO-Anlagen werden teilweise auch zweistufig aufgebaut. Im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung ist das unselektive Verhalten nachteilig, denn es werden bei der Nanofiltration bzw. Umkehrosmose nicht nur die unerwünschten, sondern auch die gewünschten Mineralien teilweise oder ganz mit entfernt. Das im Gleichgewicht stehende Kohlenstoffdioxid verbleibt im Wasser und muss durch einen Entgaser zur Neutralisation ausgetrieben werden.

Die Umkehrosmose ist im Bereich der Meerwasserentsalzung ein oft eingesetztes Verfahren. Durch Umkehrosmose können einwertige Ionen aus dem Wasser ent-

fernt werden. Dies erfordert entsprechende Membranen und hohe Betriebsdrücke bis zu 60 bar.

Die Nanofiltration ist ein identisch arbeitendes Verfahren. Allerdings sind die Rückhaltraten kleiner als bei der Umkehrosmose. Die Nanofiltration arbeitet dafür mit einem niedrigeren Betriebsdruck von unter 8 bar. Die Nanofiltration wird deshalb auch oft als Niederdruck-Umkehrosmose oder als LPRO (Low Pressure Reverse Osmosis) bezeichnet. Haupteinsatzbereich der Nanofiltration ist die Enthärtung von Trinkwasser, die Entfernung von DOC (Entfärbung) oder auch die Rückhaltung von anthropogenen Spurenstoffen (Abb. 1). Ein großer Nachteil der Membranverfahren ist, dass die aufkonzentrierten Stoffe wieder als belastetes Abwasser vorliegen. Zum Teil muss der Retentatstrom wiederum mittels Aktivkohlefiltration aufbereitet werden[2].

Mittels Ozonung können Mikroschadstoffe im Trinkwasser wirkungsvoll oxidativ abgebaut und deren Abbauprodukte meist in nachgeschalteten Filtern biologisch abgebaut bzw. durch Adsorption an Aktivkohle entfernt werden.

Umkehrosmose bei der industriellen Abwasseraufbereitung

Bei industriellen Anwendungen kommen vermehrt aufwendige Reinigungstechniken zum Einsatz, um die entstehenden Produktionsabwässer wieder dem Prozess zuführen und um die unvermeidba-

ren Abwasserströme minimieren zu können. Mittels Mikro- und Ultrafiltration als Feinfiltration werden partikuläre Stoffe abgetrennt, während mittels Umkehrosmose gelöste Stoffe entfernt werden können. Insbesondere die Umkehrosmose ist hierbei eine sehr energiezehrende Verfahrensstufe. Der aufzubereitende Stoffstrom wird bei diesem Verfahren mit hohem Druck über wasserdurchlässige Membranen geführt. Die kleineren Wassermoleküle diffundieren durch die Membranen, während die größeren Moleküle auf der Membranoberfläche zurückgehalten bzw. aufkonzentriert werden. Hierbei wird ein weiterer Nachteil der Umkehrosmose sichtbar: Die Stoffabtrennung erfolgt nicht selektiv. Wenn dagegen nur eine Substanz im Wasser vorhanden ist, kann diese in hoher Konzentration durch Umkehrosmose wieder zurückgewonnen werden.

Trinkwasser und Abwasser enthalten eine Vielzahl an natürlich vorkommenden gelösten Stoffen und Salzen, welche unschädlich und zum Teil sogar erwünscht sind. Im Rahmen der Enthärtung von Trinkwasser wird deshalb oft nur ein Teilstrom mittels Nanofiltration oder Umkehrosmose vollentsalzt, um eine gewünschte Zielhärte im Trinkwasser (Mischwasser) zu erreichen. Im Bereich der Spurenstoffentfernung müsste aber der komplette Vollstrom mittels Umkehrosmose behandelt werden. Das dadurch gewonnene Konzentrat müsste dann wieder mittels

spezieller Techniken (z. B. Ionenaustausch etc.) nachbehandelt werden. Die großen Abwassermengen, die erforderliche Nachbehandlung sowie der erforderliche Energieeinsatz sind der Grund, weshalb die Technik der Umkehrosmose im Bereich der Abwasserbehandlung auf Spezialfälle wie z. B. auf die Kondensat-Behandlung bei der Klärschlammverbrennung beschränkt bleibt [3].

Techniken zur weitergehenden Abwasserreinigung

In den letzten Jahren wurden verschiedene Verfahren, die eine über den derzeitigen Stand der Technik hinausgehende Abwasserreinigung ermöglichen, bereits großtechnisch implementiert, so z. B. die Ozonung sowie die Aktivkohleadsorption. Allgemein anerkannte Regeln der Technik für Planung, Errichtung und Betrieb solcher Anlagen bestehen noch nicht. Beide Verfahren orientieren sich deshalb an den Erfahrungswerten aus der Trinkwasser-

Neben der Spurenstoffentfernung werden der DOC sowie die Farbe reduziert und das Abwasser desinfiziert. Um diese Prozesse technisch richtig umzusetzen, müssen die Ozondosen richtig gewählt und bestimmte Reaktionszeiten eingehalten werden.

Derzeitiger technischer Stand

Kläranlagenstandorte liegen in der Regel in der Nähe von Vorflutern. Die Höhenlagen wurden oft so gewählt, dass der volle Stoffstrom von der mechanischen ersten Stufe bis zur dritten Stufe im geodätischen Gefälle durch die Kläranlage geführt werden kann. Dies ergibt auch insoweit Sinn, dass Netzersatzanlagen auf Kläranlagen ohne Berücksichtigung eines Energiebedarfs für die Wasserförderung dimensioniert werden können. Um das geodätische Gefälle auch für die vierte Stufe nutzen zu können, werden die erforderlichen Ozon-Kontakt- und Reaktionsbecken zur Zeit oft als enorm aufwendige Konstruk-

» Es stellt sich die Frage, ob die vierte Reinigungsstufe einer Kläranlage bei Netzausfall auch zwingend mit bedient werden muss. «

aufbereitung. Durch die Ozonung des vorgereinigten Abwassers werden Spurenstoffe oxidiert und abgebaut. Parallel wird das Wasser desinfiziert. Bei der Aktivkohleadsorption werden Spurenstoffe an Aktivkohle gebunden. Eingesetzt werden sowohl hochaktive Pulverkohle, welche kontinuierlich zudosiert wird und mit dem Überschussschlamm durch Sedimentation oder durch Filtration wieder entfernt werden muss, als auch granuliert Aktivkohle in Festbettfilteranlagen. Welches Adsorptionsverfahren im jeweiligen Einsatzfall vorteilhaft ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab, welche hier jedoch nicht diskutiert werden.

Bei der Ozonung werden organische Spurenstoffe ebenso wie der DOC vorrangig nicht adsorptiv gebunden, sondern durch Oxidationsreaktionen aufgespalten. Ein Teil der so erzeugten Stoffe ist biologisch abbaubar. Aus diesem Grund muss der Ozonung eine biologisch arbeitende Filterstufe nachgeschaltet werden. Im Zustrom zur Filterstufe erfolgt auch der Abbau des möglichen gelösten Restozons im Wasser. Im Bereich der Trinkwasseraufbereitung wird dieser Prozess als Ozon-Biofiltration bezeichnet [4].

tionen aus Ortbeton mit integrierten Überlauf- und Tauchwänden in die Erde abgesenkt realisiert (Abb. 2). Die Ozonung erfolgt in der Regel durch Blasenbegasung mittels Diffusoren, welche in die bis zu 6 m oder mehr tiefen Reaktions- und Kontaktbecken eingebaut werden. Im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung trifft man solche Konstruktionen meist nur noch bei in die Jahre gekommenen Anlagen an. Diese Systeme sind nämlich äußerst schwierig zu warten und auch die Ozoneinmischung sowie die Durchströmung ist längst nicht so gleichmäßig wie theoretisch angenommen. Es stellt sich ferner die Frage, ob die vierte Reinigungsstufe einer Kläranlage bei Netzausfall auch zwingend mit bedient werden muss. Falls nicht, was in den meisten Fällen der Fall sein dürfte, kann die Beschickung der vierten Stufe auch mittels Pumpen erfolgen und die ganze hierfür erforderliche Technik kostengünstig ebenerdig angeordnet werden.

Ozonerzeugung und -einmischung

Zunächst ist festzustellen, dass Ozon ein Gas und Wasser eine Flüssigkeit ist. Die zwei unterschiedlichen Aggregat-



Funke Kunststoffe GmbH

Immer eine Idee mehr!

praxisorientiert – flexibel – innovativ

- Kanalrohrsysteme
- Formteile
- Sonderprodukte
- Regenwasserbewirtschaftung

☎ 02388 3071-0

www.funkegruppe.de

Gasblasen

- Kugelvolumen: $V = 1/6 \cdot \pi \cdot d^3$
- Oberfläche: $A = \pi \cdot d^2$

Stoffaustauschfläche von Gasblasen bei $V_{\text{gesamt}} = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l}$




-  1 Blase mit $d = 12,4 \text{ cm}$ und $A = 484 \text{ cm}^2$
-  1.000 Blasen mit $d = 1,24 \text{ cm}$ und $A = 4,84 \text{ cm}^2$ bzw. **4.840 cm^2 total**
-  1.000.000 Blasen mit $d = 0,124 \text{ cm}$ und $A = 0,0484 \text{ cm}^2$ bzw. **48.400 cm^2 total**

Abb. 3 – Problematik der Gaseinmischung hinsichtlich Gasblasen



Abb. 4 – Ozonmischsystem mit Venturi-Injektor für 3 x 1 kg/h



Abb. 5 – Kontakt- und Reaktionsbehälter aus Edelstahl

zustände gilt es also zu vereinen. Ozon – oder besser das Ozon-Sauerstoffgemisch, denn nur ein Teil des Sauerstoffes wird zu Ozon umgewandelt – muss erst motiviert werden, sich im Wasser zu lösen, um mit den Wasserinhaltsstoffen reagieren zu können. Technisch erfolgt die Ozonerzeugung bei größeren Anlagen grundsätzlich nach dem Prinzip der stillen elektrischen Entladung – auch als Korona-Entladung bekannt. Großozonerzeuger nutzen heute ausschließlich technischen Sauerstoff als Feedgas zur Ozonerzeugung. Der Sauerstoff wird in der Regel in flüssiger Form als LOX in Tanks zur Verfügung gestellt. Je höher die Konzentration des erzeugten Ozons ist, desto geringer ist der Sauerstoffbedarf. Eine Ozonkonzentration von 10 % (wt) (wt = Gewichtsprozent) entspricht ca. 150 g Ozon pro Nm^3 Sauerstoff, eine Konzentration von 20 % entspricht 300 g Ozon pro Nm^3 Sauerstoff. Je höher also die Ozonkonzentration nach dem Ozonerzeuger ist, desto geringer wird auch der Sauerstoffbedarf bei gleichbleibender Ozonproduktion. Aufgrund der Tatsache, dass die Sauerstoffkosten rund 50 % der Betriebskosten einer vierten Reinigungsstufe ausmachen, ist der Sauerstoffverbrauch ein durchaus schlagendes Argument beim Systemvergleich.

Hohe Ozonkonzentrationen im Gas haben aber auch einen Nachteil. Denn das erzeugte Ozon muss mit dem zu behandelnden Wasser so vermischt werden, dass möglichst alles Ozon im Wasser gelöst wird und reagieren kann. Hier stoßen Diffusoren allerdings ebenso wie die in Abbildung 2 beschriebenen Becken an ihre Grenzen.

Nachfolgendes Beispiel veranschaulicht die Problematik der Gaseinmischung: 1 l Gas in 1 m^3 Wasser einzumischen würde bedeuten, eine Gasblase mit 12,4 cm Durchmesser und 484 cm^2 innerer Oberfläche mit dem Wasser zu vermischen. Dass diese Gasblase mit einem Plop sofort aus dem Wasser entweichen würde, ist offensichtlich. Wenn allerdings die gleiche Gasmenge von 1 l in 1 Mio. Bläschen aufgeteilt wird, ist der Blasendurchmesser noch 1/100 und die innere Oberfläche um diesen Faktor größer (Abb. 3). Dies schaffen fast nur hocheffiziente Venturi- und Venturi-Injektorsysteme. Bei diesen Systemen wird ein Wasserstrom über einen Venturi so beschleunigt, dass der entstehende Unterdruck den Gasstrom unter Bildung von kleinsten Bläschen direkt ansaugt und intensiv mit dem Wasser vermischt. Ein weiterer Vorteil dieser Systeme ist, dass diese Ozonmisch-

systeme trocken aufgestellt werden können und damit für Kontrolle und Wartung und andere Zwecke jederzeit gut zugänglich sind (Abb. 4). Je nach Wassermenge werden auch Bypasslösungen eingesetzt, das heißt, der Hauptwasserstrom wird mit ozoniertem Wasser in hoher Konzentration intensiv vermischt.

Ozonreaktionsbehälter

Neben den Ozonmischsystemen können damit auch die Ozonreaktionsbehälter oberirdisch angeordnet werden. Mit liegenden Röhrenbehältern aus Edelstahl mit Spezialböden zur Wasserverteilung kann eine gleichmäßige Stempelströmung ohne Totzonen erreicht werden. Die entsprechend erforderlichen Volumina können einfach durch Parallelschaltung mehrerer Reaktionsbehälter realisiert werden. Bei einem Durchmesser von z. B. 3,2 m ergeben sich 8 m³ Reaktionsvolumen pro Meter Länge. Die Behälter können sehr einfach betrieben, überwacht und auch gewartet werden. Im Bereich der Trinkwasseraufbereitung hat sich diese Lösung bereits sehr erfolgreich bewährt (Abb. 5). Vorteilhaft ist ferner, dass die liegenden Röhrenbehälter auch mit geringem Überdruck betrieben werden können. Damit ist eine direkte Beaufschlagung von nachgeschalteten Filteranlagen möglich. Der etwas höhere Druck kommt auch der Ozonreaktion zugute. Die zusätzlichen Kosten für die erforderliche Wasserförderung werden durch Einsparungen an anderer Stelle mehr als kompensiert.

Filterbehälter

Die im Bereich der Festbettfiltration eingesetzten Aktivkohlefilter werden aufgrund der erforderlichen Größen meist ebenfalls als in das Erdreich abgesenkte Betonkonstruktionen realisiert. Dabei gibt es auch hier bereits interessante Alternativen in Form von Dynasand-Filtern oder als vor Ort gefertigte Flachbodenfilter aus Edelstahl mit Durchmessern von 5 bis 8 m. Reinigungsstufen zur Mikroschadstoffentfernung könnten mit diesen Techniken erheblich kostengünstiger in Industriehallenbauweise in bzw. auf Kläranlagenstandorten installiert und betrieben werden. Allerdings bedeutet dies den Mut zu Neuem und zur Abkehr vom allseits Bekannten.

Fazit

Wenngleich die flächendeckende Einführung der vierten Reinigungsstufe als „End-of-Pipe-Lösung“ aufgrund des Verhältnisses der Kosten zur Wirkung umstritten ist [5], gibt es derzeit keine technisch realisierbare Alternative zu den im Wesentlichen eingesetzten Verfahren Ozonung und Adsorption an Pulveraktivkohle oder granulierter Aktivkohle. Beide Verfahren gelten nach Einschätzung des UBA als wirkungsvolle Verfahren zur weitergehenden Abwasserbehandlung. Insbesondere in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und in der Schweiz werden Projekte auf freiwilliger Basis und gestützt durch Fördermaßnahmen durchgeführt. Bei Fördermaßnahmen spielen die tatsächlichen

Kosten leider oft nur eine untergeordnete Rolle. Neue Denkansätze könnten zu Kosteneinsparungen bzw. zu weiteren realisierbaren Maßnahmen bei gleichen Kosten führen.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt
- [2] Riedinger, Brugger: Moderne Umkehrosmoseanlage mit Retentataufbereitung, in: bbr Leitungsbau | Brunnenbau | Geothermie 12/2018.
- [3] Baumann, Brüb: Recycling of exhaust vapor condensate from sewage sludge incineration, in: watersolutions 3/2019.
- [4] Brugger: Ozone Biofiltration – a powerful process for treatment water containing humates, in: bluefacts 2012.
- [5] civitiy Management Consultants (Hrsg): Kosten und verursachungsgerechte Finanzierung einer vierten Reinigungsstufe in Kläranlagen, Berlin 2018.

Autor

Manfred Brugger
Hydrogroup/Hydro-Elektrik GmbH
Angelestr. 48/50
88214 Ravensburg
mb@hydrogroup.de
www.hydrogroup.de



Mit Edelstahl perfekt ausgerüstet zum hygienischen Speichern von Trinkwasser.

Die hygienische Qualität von Trinkwasser kann beim Speichern beeinträchtigt werden.

Wir haben effektive und wirtschaftliche Lösungen und liefern standardisierte Bauteile, die das verhindern.

