

Ozon in der Trinkwasserpraxis

Dipl. Ing Florian Axt
 Dipl. Ing Harald Stapel
 Dr. Jörg Mielcke
 WEDECO AG - ITT Corporation



Die Trinkwasserressourcen werden immer knapper. Auch führt die Entwicklung genauerer Mess- und Analysemethoden dazu, dass immer mehr Belastungen des Wassers entdeckt werden, die in der Vergangenheit verborgen blieben. Folglich werden die Anforderungen an die moderne Trinkwasserbehandlung immer höher und die traditionellen Wasserbehandlungsmethoden wie die Flockung, die Filtration und die Chlorung sind für die Trinkwasserbehandlung von heute oft nicht mehr ausreichend.

Ozon ist das stärkste in der Trinkwasserpraxis eingesetzte Oxidationsmittel und bewährt sich in der Aufbereitung von Trinkwasser seit über 100 Jahren. Schad- und Farbstoffe, geschmacks- und geruchsbeeinträchtigende Substanzen sowie Mikroorganismen werden von Ozon angegriffen und zerstört - und das ohne eine Beeinträchtigung des Wassers durch Nebenprodukte und Rückstände.



Wartungsfreie Ozonelektroden Typ Effizon HP

Ozonanwendungen in der Trinkwasserbehandlung

Moderne Trinkwasserwerke nutzen die Vorteile der Ozonbehandlung für zahlreiche Anwendungen. Je nach Ort des Eintrags sind Vor- und Hauptozonung bekannt. Die Vorozonung wird eingesetzt zur:

- ◆ Geruchs- und Geschmackskontrolle
- ◆ Entfärbung

- ◆ Oxidation von Trihalomethanvorstufen
- ◆ Verbesserung von Flockung und Fällung
- ◆ Enteisenung und -manganung
- ◆ Oxidation von Pestiziden, Cyaniden und Phenolen
- ◆ Elimination von Algen

Die Hauptozonung dient vor allem der:

- ◆ Desinfektion und Zerstörung von Viren
- ◆ Oxidation von organischen Stoffen vor einer Aktivkohle-Stufe

Aufgrund der vielfältigen Einsatzbereiche des Ozons setzt die Mehrzahl der Wasserwerke Europas, die Oberflächenwasser behandeln, Ozon erfolgreich ein.

Bei der Desinfektion durch Ozon wird die Zellwand der Bakterien aufgelöst (Bakteriolyse).

Dieser Mechanismus unterscheidet sich von der desinfizierenden Wirkung des Chlors. Chlor diffundiert durch die Zellwand in das Innere der Bakterien und attackiert Enzyme im Zellinneren. Dies erklärt auch die höhere Geschwindigkeit der Desinfektionswirkung von Ozon.

Zum Vergleich der Desinfektionswirkung unterschiedlicher Substanzen dient der Faktor aus der eingesetzten Konzentration c [mg/l] und der betrachteten Reaktionszeit t [min], der sog. $c \cdot t$ Wert.

| Ziel | Eingesetztes Desinfektionsmittel | | |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| | Chlor Ct [mg/l*min] | Chlordioxid Ct [mg/l*min] | Ozon Ct [mg/l*min] |
| Reduktion der Keimzahl um 99,99% | | | |
| E. Coli | 3-4 | 1,2 | 0,012 - 0,04 |
| Gardialantibia | 104-122 | 23 | 1,4 |
| Cytopsporidium parvum | 1440 | > 120 | > 5 |

pH = 7, T = 10°C

Beispiele für ct -Werte, Quelle: gws Wasser-Abwasser 137 (1996) No.2, Seiten 83-93

Dieser Auszug gibt exemplarische Werte. Während eine zu niedrige Chlordosis das Risiko der Ausbildung von Resistenzen mit sich bringt, würde eine zu hohe Chlordosis die Bildung von chlorierten

Desinfektionsnebenprodukten in hohem Maße mit sich bringen. Dies ist einer der Gründe, warum in der Trinkwasserbehandlung weltweit eine Bewegung weg von der Desinfektion mit Chlor hin zur Ozontechnologie zu beobachten ist.

Geruchs- und Geschmacksbehandlung

Trinkwasservorkommen sind häufig mit geruchs- oder geschmacksbildenden organischen Substanzen belastet. Beim bakteriellen Abbau von organischem Material im Wasser entstehen organische Substanzen mit niedrigem Molekulargewicht, die eine geruchliche oder geschmackliche Beeinträchtigung verursachen können.

Diese Stoffe werden von Ozon in der Wasserphase oxidiert.

Phenole sind weit verbreitete Schadstoffe in unserem Wasser. Ihr Eintrag erfolgt nicht nur über industrielle Quellen, sondern auch über den natürlichen Abbau von Huminstoffen. Phenol reagiert sehr leicht mit Chlor, bevorzugt zu ortho-Chlorphenol, dessen Geschmacks- und Geruchsschwelle mehr als hundertfach niedriger liegt als die von Phenol. In chloriertem Oberflächenwasser ist dieser Stoff meist im unteren ppb-Bereich vorhanden - diese niedrige Konzentration genügt jedoch bereits um das Wasser geruchlich und geschmacklich zu beeinträchtigen. Hierbei gilt es jedoch außerdem zu beachten, dass dieser Stoff giftiger als Phenol selbst ist. Auch Ozon reagiert sehr schnell mit Phenol, jedoch zu einem ungiftigen, geruchs- und geschmackslosen Endprodukt.

Ein weiterer Stoff, der in Hinsicht auf Geruchs- und Geschmacksbelästigung eine bedeutende Rolle spielt, ist Schwefelwasserstoff (H₂S). Diese anorganische Substanz wird in Oberflächenwasser mit hoher organischer Last und / oder geringem Sauerstoffgehalt gebildet. Häufig sind Grundwasserquellen involviert, die in Kontakt mit schwefelhaltigen Mineralien getreten sind.

Schwefelwasserstoff reagiert mit Ozon rasch und quantitativ zu Sulfat.

Die Reinigung des Wassers von Algen und ihren Stoffwechselnebenprodukten ist ebenfalls eine Aufgabe der Trinkwasseraufbereitung. Die Stoffwechselprodukte von Algen sind zumeist unangenehm in Geruch und Geschmack. Zu hohe Algenzahlen können zudem zu kurzen Filterstandzeiten führen. Filtration allein wird jedoch der Algenproblematik nur teilweise gerecht. Die störenden Nebenprodukte der Algen sind wasserlöslich und passieren die Filter. Durch die Verwendung von Ozon werden nicht nur die Algen, sondern auch ihre Stoffwechselprodukte oxidiert. Da die Algenblüte ein saisonabhängiges Problem ist, kann der Ozoneinsatz saisonal angepasst werden, um auf diese Weise die Betriebskosten zu senken.

Entfärbung mit Ozon

Huminstoffe, Fulvin- und Tanninsäuren sind verbreitete, in der Natur auftretende organische Stoffe, die ei-

ne Verfärbung des Wassers bewirken. Diese für die Gelbfärbung des Wassers verantwortlichen hochmolekularen organischen Stoffe besitzen konjugierte Doppelbindungen. Ozon reagiert bevorzugt mit derartigen Doppelbindungen und ist sehr effektiv in der Oxidation dieser Stoffe. Die starke Entfärbungswirkung von Ozon wird daher nicht nur in der Trinkwasser-, sondern auch in der Abwasserbehandlung genutzt.

Oxidation von anorganischen Stoffen

Ozon wird auch zur Oxidierung von Metallionen eingesetzt. Dies ist eine Voraussetzung für eine erfolgreiche, nachfolgende Fällung bzw. Abtrennung dieser Ionen.

Bei der Auslegung einer Wasserbehandlung zur Elimination von Metallionen sollte die Ozonung als einer der ersten Behandlungsschritte vorgesehen werden. Nach der Ozonoxidation sind die Metall-oxidhydroxide der Entfernung in einem Sand- oder Multimediafilter zugänglich. Solange diese Ionen (z.B. Fe, Mn) frei im Wasser vorliegen, können sie durch eine einfache Belüftung auf Konzentrationen unter 1 mg/l reduziert werden. Sind jedoch niedrigere Konzentrationen gewünscht oder liegen sie als komplexierte Ionen vor - in Oberflächenwasser durchaus typisch - genügt Luft als Oxidationsmittel zum Aufbrechen der Komplexe nicht aus.

Verbesserung der Koagulation durch Ozonoxidation

Einige der Koagulationseigenschaften des Aluminiumsulfats beruhen auf Wechselwirkungen mit polaren und / oder geladenen Molekülen. Die Oxidation von gelöstem organischem Material erzeugt Moleküle mit eben diesen Eigenschaften.

Die Praxiserfahrung zeigt, dass der Einsatz der Ozonoxidation vor der Flockung mit Aluminiumsulfat in der Regel zu größeren und gleichzeitig weniger Flocken sowie einer besseren Absetzbarkeit führt. Als Folge daraus kann weniger Aluminiumsulfat eingesetzt und die Größe der Absetzbecken reduziert werden. Auf diese Art und Weise können Investitions- und Betriebskosten reduziert werden.

Oxidation von organischen Substanzen durch Ozon

Die Vielfalt an organischen Stoffen im Wasser ist nahezu unbegrenzt. 1978 hatte die amerikanische Environmental Protection Agency bereits über 700 unterschiedliche organische Komponenten identifiziert. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung in der Wasseranalytik verlängert sich diese Liste stetig um weitere Komponenten.

Beim Eintrag von Oxidationsmitteln ins Wasser gilt es, sowohl die Entfernbarkeit der zu eliminierenden Substanzen in den folgenden Reinigungsstufen als auch die Endprodukte der Oxidationsreaktion zu betrachten.

Bei der Reaktion von Spuren von organischen Stoffen mit Chlor werden u.a. Trihalomethane (THM)

gebildet. Trihalomethane sind dreifach halogenierte Kohlenstoffe. Einer der bekanntesten Vertreter dieser Substanzgruppe ist das Chloroform (CHCl₃). Untersuchungsergebnisse dokumentieren die cancerogene Wirkung der THM. Besonders bedeutende Vorstufen für die Bildung der THM sind Humin- und Fulvinsäuren.

Mit Ausnahme einiger gesättigter halogenerter Kohlenwasserstoffe sind die meisten das Trinkwasser belastenden Organika der Reaktion mit Ozon sehr gut zugänglich. Beispiele hierfür sind u.a. Phenole, Tenside, Pestizide und PAK (polyaromatische Kohlenwasserstoffe).

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass die Reaktionsprodukte der Ozonoxidation im Trinkwasser keine toxische Wirkung haben.

Ozoneinsatz kombiniert mit GAC / BAC

Die Anwendung von Ozon mit einem biologisch aktivierten Aktivkohlefilter ist eine Behandlungsstufe, die die Vorzüge aus chemischer, physikalischer, und biologischer Behandlung kombiniert. Die chemische Reaktion von Ozon mit großen Molekülen wie Huminsäuren erzeugt kleinere Reaktionsprodukte, die leichter an der Aktivkohle adsorbieren. Auch werden durch die Oxidation sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen in die Substanzen eingeführt, was eine bessere Bioverfügbarkeit zur Folge hat. Die physikalische Lösung des Gases in der Flüssigkeit und die Adsorption der organischen Stoffe an der Oberfläche der Aktivkohle führen zu besseren Lebensbedingungen für die Mikroorganismen, die die Oberfläche der Aktivkohle besiedeln.

In der Konsequenz lassen sich mit diesen Systemen selbst schwierig zu entfernende, organische Restkontaminationen effektiv vermindern.

Der bakterielle Stoffwechsel führt zu einer ständigen Regeneration der Oberfläche der Aktivkohle, so dass die Aktivkohle seltener ersetzt oder thermisch regeneriert werden muss. Ozondosen für biologisch aktivierte Aktivkohlesysteme liegen im Bereich von 1,5 bis 4 mg/l.

Beim kombinierten Einsatz von Ozonung und GAC ist eine höhere Standzeit der Aktivkohle und somit eine erhöhte Betriebseffizienz im Vergleich zum separaten Betrieb beobachtet worden.

Behandlung von endokrinen Substanzen

Ein aktuelles Problem stellen die in der aquatischen Umwelt vermehrt nachgewiesenen persistenten und endokrinen Substanzen dar. In diese Stoffgruppe fallen insbesondere industriell hergestellte Chemikalien, wie z.B. zinn-organische Stoffe, PCB, Nonylphenole, Pestizide, Medikamente und Kosmetika. Sie sind nicht oder kaum biologisch abbaubar (=persistent) und sie besitzen teilweise auch endocrine Wirkung. Als endokrine Substanz wird ein Stoff bezeichnet, der eine Wirkung auf das Hormonsystem von Organismen hat. Es wurden negative Auswirkungen auf das Hormonsystem von Fischen nachgewiesen. Die möglichen Auswirkungen auf den Menschen werden gegenwärtig untersucht, vorstellbar sind die Verringerung der Fruchtbarkeit, die Behinderung der Entwicklung von männlichen Geschlechtsorganen und eine Häufung von Tumorerkrankungen.

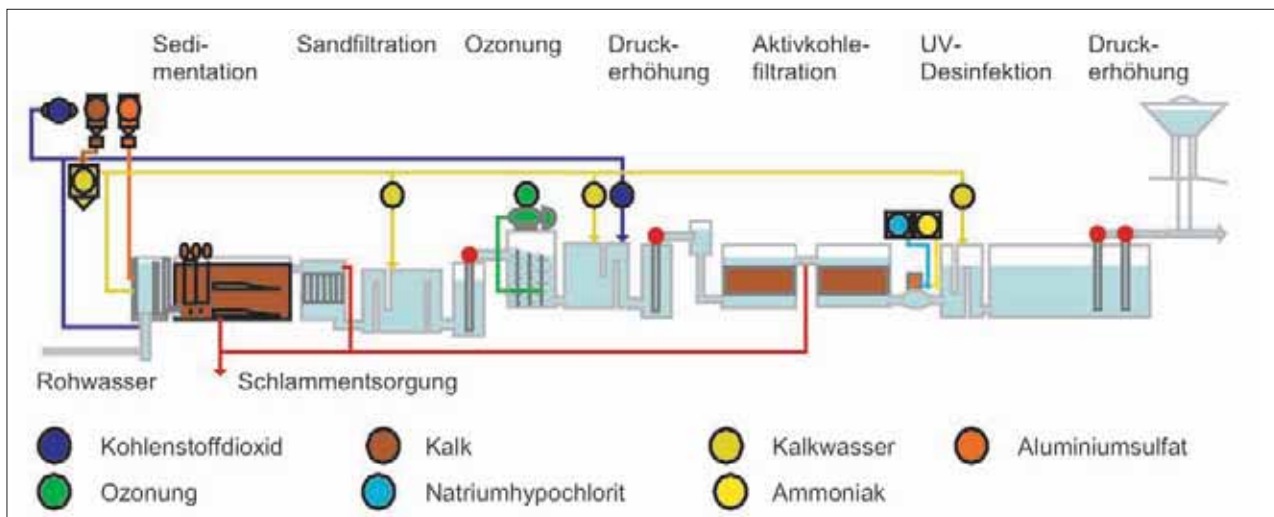
In diesem Zusammenhang ist die Tatsache von besonderer Bedeutung, dass sich persistente Substanzen den herkömmlichen Wasseraufbereitungsmethoden entziehen und somit auch in das Trinkwasser gelangen können.

Es konnte über mehrjährige Versuche nachgewiesen werden, dass diese Substanzen durch den Einsatz von Ozon effizient (Reduktion > 90%) und wirtschaftlich abgebaut werden können.

Die Ozonbehandlung kann damit als eine besonders vielversprechende Methode zur Herstellung von sicherem Trinkwasser und umweltfreundlichem Abwasser gelten !

Mehrbarrierensysteme

Das Mehrbarrierenkonzept wird gegenwärtig weltweit diskutiert. Es handelt sich dabei um die Kombi-



Füllstand Pegel Druck Temperatur Durchfluss Registrierung Visualisierung Messumformer Zähler USV

Anzeigen

digitales Prozessanzeige- und Auswertgerät 2-Kanal Fronttafeleinbau

Visualisierung

Füllstand

Hydrocont
Hydrostatisch kapazitiv
4-20 mA

Füllstandmesstechnik

Pegelmessstechnik

Pegel

Hydrolog 1000

Datenlogger mit Batteriebetrieb, GSM-Modul, GPRS-Datenmanagement direkt ins Internet

Durchflussmesstechnik

Durchfluss

Flowcont

Magnetisch - Induktiv, auch mit Datenlogger, GSM-Modul, Batteriebetrieb

Lauterbachstr. 57 - 84307 Eggenfelden - Germany
 Tel: +49 8721/9668-0 - Fax: +49 8721/9668-30
info@acs-controlsystem.de - www.acs-controlsystem.de

ACS-CONTROL-SYSTEM know how mit system **ACS contsys**

www.wedeco.de

Ozon- und UV-Anlagen zur sicheren Trinkwasseraufbereitung

Wedeco ist seit mehr als 30 Jahren führend in der Herstellung von UV-Desinfektions- und Ozon-Oxidationssystemen für die umweltfreundliche Aufbereitung von Trinkwasser, Abwasser und Prozesswasser:

Vorteile:

- Sichere Inaktivierung von Mikroorganismen innerhalb von Sekunden
- Vermeidung von schädlichen Nebenprodukten (z.B. THM) und Reststoffen
- Vielfältige Anwendungsbereiche
- Keine Chemikalienlagerung notwendig

Unsere Leistungen:

- Kompetente Beratung vor Ort
- Sicherer und wirtschaftlicher Betrieb durch modernste Anlagen
- Weltweit flächendeckendes Service-Netz
- Labor- und Pilotversuche, Mietanlagen

WEDECO AG, Boschstr. 4, 32051 Herford,
 Tel.: +49 5221 930-0, Fax: +49 5221 930-222, wedeco.de@itt.com

ITT
Engineered for life

nation von mindestens zwei oder weiteren unterschiedlichen Behandlungsschritten, die unabhängig voneinander in der Lage sind, insbesondere bei der Elimination von pathogenen Keimen und / oder bei der Entfernung von endokrinen / persistenten Substanzen eine erstklassige Trinkwasserqualität verfügbar zu machen.

Ein exemplarisches Behandlungskonzept beinhaltet eine Kombination von Ozon- und UV-Behandlung für ein Oberflächenwasser.

Die Anwendbarkeit und Machbarkeit ist abhängig von der lokalen bzw. nationalen Gesetzgebung. Erste Mehrbarrierensysteme sind in Deutschland und in Amerika im Einsatz.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ozonbehandlung bewährt sich im Trink- und Abwasserbereich seit mehr als 100 Jahren. Waren früher Ozongeneratoren groß und wartungsintensiv, so sind die Ozongeneratoren der Gegenwart kleiner, zuverlässig, effizient und betriebsicher. Gerade die vielseitige Anwendbarkeit des Ozons und seine überlegene Oxidationsleistung machen es zum Mittel der Wahl in der Trinkwasserbehandlung. Die Zukunft wird strengere Anforderungen an die Trinkwasserbehandlung bringen - Anforderungen, auf die es bereits heute mit der Ozontechnologie eine klare Antwort gibt.

Ozontechnologie in der Trinkwasserpraxis

Die WEDECO Ozongeneratoren der Gegenwart zeichnen sich durch eine hohe Ozonausbeute aus kompakten Anlagengrößen aus. Mit der heute verfügbaren Technologie lassen sich großtechnisch und aus Standardanlagen hohe Ozonkonzentrationen erzielen - von 40 bis 60 g/m³ aus Luft bzw. 150 bis 200 g/m³ aus Sauerstoff.

So lässt sich der Betriebsgaseinsatz gering halten. Der Einsatz der aktuell verfügbaren Ozongeneratoren ermöglicht die Produktion von einem Kilogramm Ozon aus Luft mit einem Energieeinsatz von 13,0 bis 24,5 kWh je kg Ozon sowie aus Sauerstoff bei einem Energieeinsatz von 6,8 bis 18,5 kWh je kg.



Die abgebildete Ozonanlage verbraucht zur Produktion von knapp 12 kg Ozon aus Sauerstoff bei einer Konzentration von 150 g/m³ und einer Kühlwassertemperatur von 15°C ca. 112 kW - diese Ozonmenge reicht für die Vor- und Hauptozonung von 4000 m³ eines typischen Oberflächenwassers je Stunde. Es ergibt sich ein Energieeinsatz für die Ozonung von 0,028 kW je m³ behandeltem Wassers und somit durchschnittlichen Stromkosten von 0,15 – 0,2 Cent pro m³.

Der Einsatz moderner Ozonanla-

gen ist durch den hohen Sicherheitsstandard und die effizienten Restozonvernichter nicht nur praktisch emissionsfrei - die Ozonerzeugung ist auch nahezu wartungsfrei und mit überaus geringem Personalaufwand verbunden. Moderne Ozonerzeuger sind standardmäßig mit einer zentralen Steuerung ausgestattet, die die Einbindung in ein ferngesteuertes Anlagenkonzept erlaubt. Neben einer hohen Verfügbarkeit ergeben sich hieraus geringe Wartungs- und Betriebskosten sowie ein sicherer und flexibler Betrieb.



WEDECO Ozonanlage 2x SMO 600 (2 x 8kg/h aus Sauerstoff), installiert im Wasserversorgungsbereich der chinesischen Stadt Pinghu