



# Ozon Abwasserbehandlung

MIKROVERUNREINIGUNGEN IM WASSERKREISLAUF OXIDIEREN

**WEDECO**  
a xylem brand

# Arzneistoffe im Wasserkreislauf

**Die Beseitigung von Mikroverunreinigungen aus unserem Wasser ist eine Herausforderung, der sich immer mehr verantwortungsbewusste Ver- und Entsorger stellen müssen. Während biologische Aufbereitungsverfahren keine vollständige Entfernung erreichen, stellt sich die Oxidation mit Ozon als eine der effizientesten Methoden heraus.**

Pharmazeutika helfen vielen Menschen und Tieren bei der Bekämpfung von Krankheiten, der Erhaltung der Gesundheit oder der Verbesserung der Lebensqualität. Jedoch gelangt ein hoher Anteil der pharmazeutischen Wirkstoffe durch Ausscheidungen des Körpers über das Abwasser in die Umwelt.

Obwohl sie dort kein unmittelbares Risiko darstellen, werden gerade Langzeitgefahren immer deutlicher. Die Effekte von Mikroverunreinigungen bzw. von Arzneistoffen in Oberflächengewässern wurden bereits mehrfach in groß angelegten Studien nachgewiesen und führen im Ökosystem zu negativen Veränderungen und damit zu Problemen.



## Problem I: Persistenz

Nicht alle zugelassenen Substanzen im Bereich der Pharmazie, Landwirtschaft und Industrie wie im Bereich des täglichen Bedarfs sind biologisch vollständig abbaubar. So können sie mit konventioneller Kläranlagentechnik nicht gänzlich entfernt werden. Folglich findet eine schleichende Anreicherung von Kontaminanten in unserem Wasserkreislauf und seinen Nutzern statt (Bioakkumulation).

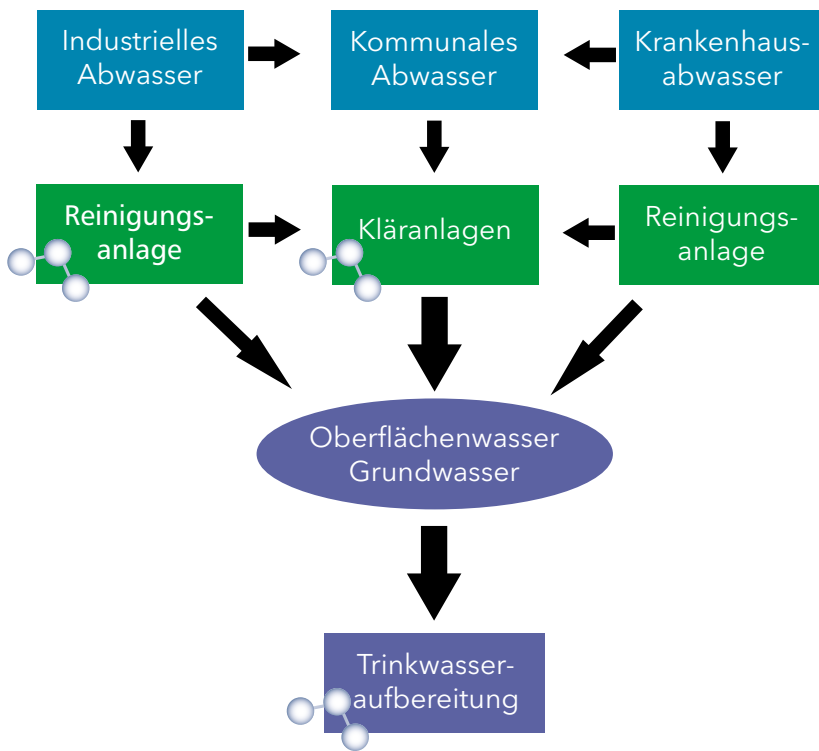
Ohne entsprechende Gegenmaßnahmen bedeutet das für die Zukunft eine stetige Zunahme der Verunreinigung im Wasser und weitere negative Auswirkungen für die aquatische Umwelt.

## Problem II: Endokrine Wirkung

Einige Mikroverunreinigungen (z.B. der Wirkstoff der Pille (Ethinylestradiol)) wirken auf das Hormonsystem von Mensch und Tier. Diese sogenannten endokrinen Substanzen (EDCs) sind schon in kleinsten Konzentrationen wirksam und werden von der Wissenschaft als besonders kritisch eingestuft. In Zusammenhang mit negativen Umwelteinflüssen auf Lebewesen werden mittlerweile auch EDCs als Auslöser in Betracht gezogen:

- Es werden negative Wirkungen auf die Fortpflanzung von bestimmten Fischarten beobachtet (u.a. „Verweiblichung“ von männlichen Fischen).
- Die Verringerung der Zeugungsfähigkeit bei Mensch und Tier durch verminderte Spermienqualität nimmt zu.
- Bestimmter Krebsarten, die mit einer Störung des Hormonsystems zusammen hängen könnten, treten häufiger auf.

# Eintragungspfade



**Trinkwasserquellen wie Grund- oder Oberflächenwasser weisen unterschiedliche Konzentrationen an Mikroverunreinigungen auf, abhängig von dem Vermischungsgrad mit den Eintragungspfaden, über die die Substanzen in das Wasser gelangen.**

Die Haupteintragspfade oder „Hot Spots“ von persistenten Spurenstoffen in Oberflächengewässern sind kommunale Kläranlagen, Abläufe aus der pharmazeutischen Industrie, Tierzuchtanlagen oder medizinische Zentren.

Weitere indirekte Eintragungspfade ergeben sich durch die unsachgemäße Entsorgung von ungenutzten Arzneimitteln und der landwirtschaftlichen Aufbringung von tierischen Exkrementen bzw. von Klärschlämmen.

Die Haupteintragspfade endokrin wirksamer Substanzen in Oberflächengewässern

☉☉ = Möglichkeit der Aufbereitung mit Ozon



Über den Kläranlagenablauf gelangen hohe Konzentrationen endokrin wirksamer Substanzen in unser Grund- und Oberflächenwasser.

# Der Spezialagent: Ozon

**Die Auswirkungen von endokrinen Substanzen und persistenten Spurenstoffen auf unser Ökosystem machen eine weitergehende Reinigung notwendig. Mit bestehender Reinigungstechnik stoßen viele Klärwerke an ihre Grenzen, um die Stoffe in ausreichenden Umfang zu beseitigen.**

Zahlreiche Pilottests mit Ozon als weiterer Reinigungsstufe haben gezeigt, dass Ozon ein geeignetes Mittel für die Beseitigung persistenter Stoffe ist. So können mit ökologisch und ökonomisch sinnvollen Ozondosen die im Wasser vorhandenen Spurenstoffe effektiv entfernt werden.

## Wie wirkt OZON?

Ozon reagiert schnell mit Spurenstoffen, die zugängliche Aminogruppen, Doppelbindungen oder aromatische Systeme enthalten. Neben diesen stoffspezifischen Attributen ist die Effizienz der Reaktionen auch abhängig vom pH-Wert und von dem gelösten organischen Kohlenstoff (DOC). Die Eliminierbarkeit eines Stoffes kann über seine Reaktions-Geschwindigkeitskonstante mit Ozon abgeschätzt werden.

Bei den Stoffen mit Reaktionskonstanten von  $> 10^5 \text{ M}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  kann von einer sehr schnellen Reaktion mit Ozon ausgegangen werden. Zum Vergleich: Der Farbstoff Indigo (der u.a. zum quantitativen Nachweis von Ozon verwendet wird) zeigt für die Reaktion mit Ozon eine Konstante von  $\sim 10^7 \text{ M}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  und Schwefelwasserstoff von  $\sim 3 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Die unterschiedlichen Reaktionskonstanten resultieren hauptsächlich aus den verschiedenen Angriffspunkten des Ozons, die es an den Molekülen hat.

- $17\alpha$ -Ethinylestradiol wird beispielsweise an der Phenolgruppe angegriffen.
- Bei Carbamazepin reagiert Ozon mit einer Doppelbindung.
- Diclofenac und Sulfamethoxazol besitzen funktionale Aminogruppen, die durch Ozon oxidiert werden können. Bezafibrat und Ibuprofen besitzen keine derartigen funktionellen Gruppen und reagieren deshalb auch nur deutlich langsamer mit Ozon. [Schuhmacher]

Die Tabelle unten zeigt die Reaktionskonstanten der Reaktionen verschiedener Arzneimittel mit Ozon



## Ozoneintrag:

Sobald Ozon in Wasser eingetragen wird, werden vorhandene Schadstoffe durch Oxidation effektiv abgebaut.

Wirkstoff	$k = [\text{M}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}]$
Ethinylestradiol	$\sim 3.0 \times 10^6$
Bezafibrat	$\sim 0.6 \times 10^3$
Carbamazepin	$\sim 0.3 \times 10^6$
Diclofenac	$\sim 1.0 \times 10^6$
Ibuprofen	$\sim 9.6 \times 10^3$
Sulfamethoxazol	$\sim 2.5 \times 10^6$

Quelle: Project Poseidon, EAWAG, Huber et al.

# Arzneimittel und deren Wirkung

Insgesamt werden in Deutschland über 2700 verschiedene Wirkstoffe in der Humanmedizin und über 600 Wirkstoffe in der Tiermedizin verwendet. Die Tabelle zeigt die Stoffe mit den höchsten Konzentrationen im Oberflächenwasser und deren Wirkung.

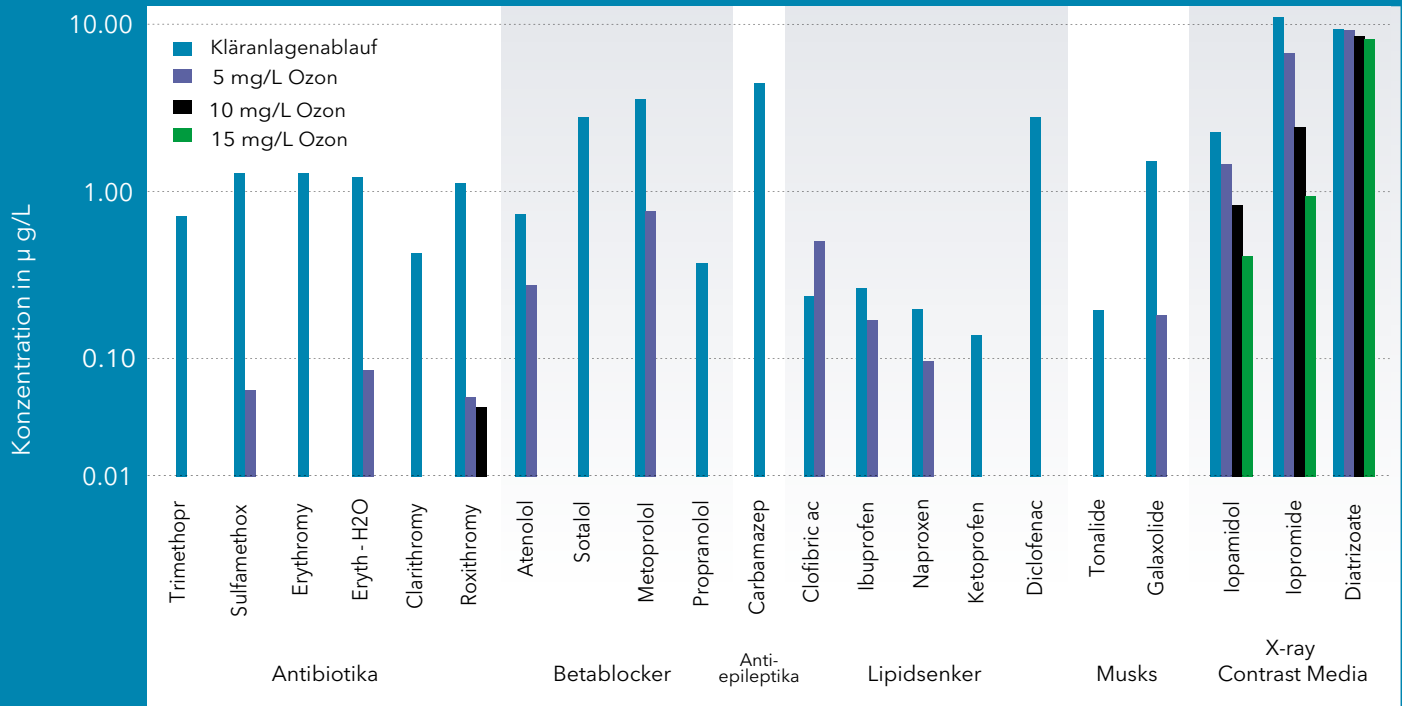
Wirkstoffgruppen	Wirkstoff	Verkauf [kg/a]	Konzentration [ $\mu\text{g/L}$ ]	Wirkung	Verhalten
		Verkaufsmenge in Deutschland im Jahre 2001	Höchste gemessene Konzentration in Oberflächengewässern	Auswirkungen auf verschiedene Wasserorganismen	Verhalten in der Umwelt (schlecht abbaubar)
Antibiotika	Sulfamethoxazole	53,600	1	X	X
	Erythromycin	19,199	1.7		X
	Trimethoprim	11,427	0.2		X
	Clarithromycin	7,159	0.003	X	
Schmerzmittel	Diclofenac	85,801	2	X	X
	Ibuprofen	344,885	1.5	X	
	Phenazon	24,843	0.95	X	X
	Propyphenazon	28,140	0.31		X
Antiepileptikum	Carbamazepin	87,605	6.1	X	X
Lipidsenker	Bezafibrat	33,476	3.1	X	
	Clofibrinsäure	2	1.1		X
Betablocker	Atenolol	13,594	0.22		X
Antirheumatikum	Indometacin	3,721	0.7		X
Hormone	Estradiol	1,098	0.0006	X	
	Ethinylestradiol	48	0.002	X	
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	83,377	0.89		
	Iopamidol	42,994	2.8		
	Iopromie	64,056	8.5		
	Diatrizoat	60,687	15.8		
Zytostatika	Cyclophosphamid	385	0.1		X
	Ifosfamid	170	0.18		X

Quelle: MUNLV 2008

## Begriffe und ihre Bedeutungen

**Mikroverunreinigungen:** Verunreinigungen durch Substanzen in relativ niedrigen Konzentrationen, die persistent gegenüber konventioneller Behandlung sind.

**EDC:** Endocrine Disrupting Compounds, Stoffe mit unerwünschten Wirkungen auf das Hormonsystem bei Mensch und Tier. Diese Effekte können von Pharmazeutika oder auch anderen Substanzen hervorgerufen werden.



Die Grafik zeigt die Ergebnisse, die auf der Kläranlage in Braunschweig mit einer Ozondosierung von 5 bis 15 g Ozon pro m<sup>3</sup> Abwasser erzielt wurden. Sie verdeutlichen die hohen Abbaugrade (nicht dargestellt = unter der Nachweisgrenze), die auf diesem Wege zu erreichen sind.

## Erfolgreiche Pilotversuche mit Ozon

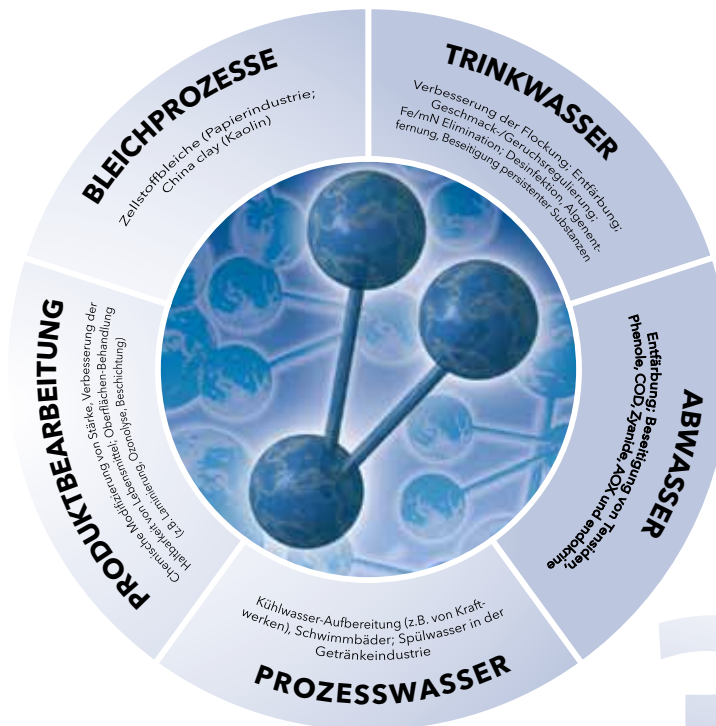
WEDECO Ozonsysteme wurden bereits für mehrere nationale wie internationale Projekte zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen eingesetzt und erprobt:

- EU-Projekt POSEIDON, Kläranlage Braunschweig Januar 2001 - Juni 2004 (Projekt-Nr. EVK1-CT-2000-00047)
- Nationales Projekt der Schweiz „Strategie MicroPoll“, Kläranlage Wüeri in Regensdorf, Juli 2007 -Oktober 2008
- Projekt „PILOTOX“, TU Berlin, Kläranlage Berlin Ruhleben, Dezember 2004 - Juli 2005
- EU-Projekt POSEIDON, EAWAG, Kläranlage Zürich/ Opfikon, November 2003
- Forschungsprojekt an der Universität Stuttgart, Kläranlage Büsnau, Dezember 2003 - Mai 2005
- Projekt „KomOzon“, TU Wien, Kläranlage Wien, 2007 - 2009



WEDECO Ozonanlage auf der Kläranlage Wüeri in Regensdorf, Schweiz

# Ozon im Einsatz



# 3

**Ozon ist eines der stärksten, technisch herstellbaren, gasförmigen Oxidationsmittel. Es eignet sich hervorragend für die Behandlung von Wasser und industriellen Produkten. Der besondere Vorteil liegt in der umweltfreundlichen Wirkungsweise von Ozon. Schadstoffe, Farben, Gerüche und Mikroorganismen werden direkt durch Oxidation zerstört, ohne dass schädliche Nebenprodukte oder nennenswerte Rückstände entstehen.**

Da Ozon bei der Reaktion zu Sauerstoff zerfällt, ist es als effektive und umweltfreundliche Alternative zur Oxidation mit Chlor, Adsorption (z.B. Aktivkohle) oder Separation (z.B. Umkehrosmose) ideal geeignet.

## Vorteile von Ozon:

- Ozon beseitigt Bakterien, Viren sowie viele andere organische und nichtorganische Verunreinigungen
- Ozon kann den Gebrauch von bedenklichen Chemikalien, wie z.B. Chlor, signifikant reduzieren oder ersetzen
- Ozon dient vorbereitend bei der Beseitigung von Mineralien wie Eisen und Mangan

- Ozon hinterlässt weder chlortypische Nebenprodukte, noch verändert es den Geschmack oder Geruch von Trinkwasser
- Ozon wird bedarfsgerecht direkt vor Ort aus Luft/Sauerstoff und elektrischer Energie produziert
- Keine Lagerung und kein Handling von Chemikalien

## Die oxidative Wirkung von Ozon

Das Ozonmolekül reagiert schnell mit einer Vielzahl von Verbindungen, entweder durch direkten Angriff des Ozonmoleküls oder indirekt durch entstehende Hydroxyl Radikale. Das Ozon wird durch den Reaktionsprozess in der Regel vollständig verbraucht. Es zerfällt oder wird mittels Restozonvernichter am Ende des Prozesses wieder zu Sauerstoff zerlegt.

Zusammen mit UV-Licht oder Peroxid lassen sich Kombinationsprozesse gestalten, die als Advanced Oxidation Process (AOP) helfen, weitere bislang nicht abbaubare Schadstoffe im Wasser unschädlich zu machen.

## Xylem |'ziləm|

- 1) ist die Bezeichnung für das Gewebe, das in der Pflanze für den Wasserhaushalt verantwortlich ist, indem es das Wasser von der Wurzel nach oben steigen lässt;
- 2) ist ein weltweit führendes Unternehmen im Bereich industrieller und kommunaler Wassertechnologie.

Wir sind eine Gruppe von 12.000 Menschen, die sich einem gemeinsamen Ziel verschrieben haben: der Schaffung von innovativen Lösungen, um den weltweiten Wasserbedarf zu decken. Im Mittelpunkt unserer Arbeit steht die Entwicklung neuer Technologien, um auch in Zukunft die Nutzung, den sparsamen Umgang und die Wiederverwendung von Wasser zu optimieren. Wir behandeln Wasser und Abwasser, bereiten es auf, untersuchen und fördern es und führen es seiner ursprünglichen Umgebung zurück. So tragen wir zum effizienten Umgang mit Wasser und Abwasser bei - in privaten Haushalten, Kommunen, industriellen Anwendungen, im Bau und Bergbau sowie landwirtschaftlichen Betrieben. In mehr als 150 Ländern verfügen wir über langjährige Beziehungen zu unseren Kunden, die uns aufgrund der leistungsfähigen Kombination von führenden Produktmarken, unserer Erfahrung im Anwendungsbereich und unseres Innovationswillens schätzen.

Weitere Informationen darüber, wie Xylem Ihnen helfen kann, finden Sie auf [xylem.com](http://xylem.com).



WEDECO



godwin 

**xylem**  
Let's Solve Water

Xylem Water Solutions Herford GmbH  
Boschstr. 4 - 14  
32051 Herford, Germany  
Phone +49 5221 930 0  
Fax +49 5221 930 222  
[www.wedeco.com](http://www.wedeco.com)

