

# Trink- und Betriebswasserde auf Basis des ESAZON<sup>®</sup>-Sys

**WASSERAUFBEREITUNG OHNE CHEMIKALIENZUSATZ** | Zur Desinfizierung von Brunnen- und Trinkwasser für die anschließende Verwendung als Betriebswasser in Lebensmittelbetrieben stehen verschiedenste Methoden zur Verfügung. Mit der Ozonisierung durch ein ESAZON<sup>®</sup>-System ergeben sich vollkommen neue Möglichkeiten. Dieses System ist seit knapp zwei Jahren in mittelständischen Brauereien im praktischen Test. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Methode einen sicheren Schutz der betriebsinternen Verbraucher vor von außen eingetragenen Keimen bietet.

**DIE OZONISIERUNG IN DIESER FORM** basiert auf einer elektrolytischen Spaltung des Wassers unter Verwendung einer diamantbeschichteten Niobelektrode. Durch den Einsatz dieses Systems ist es erstmalig möglich, Ozon „in situ“, direkt aus dem Brunnen- und Trinkwasser herzustellen. Die Wirkungsweise und die daraus möglichen Anwendungen bieten für den Betreiber erhebliche Vorteile im Bereich des Handlings, der Qualitätssicherung und Kostenoptimierung. Da ESAZON<sup>®</sup>-Systeme, im Gegensatz zur Desinfektion unter Zuhil-

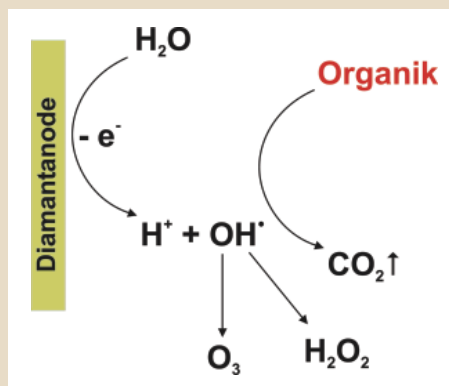


Abb. 1 Wirkungsweise der Diamantelektrode

**Autoren:** Georg Fottner, Leiter Abteilung Reinstmedientechnik, Produktmanager ESAZON<sup>®</sup>, Fa. Esau & Hueber, Dr.-Ing. Christoph Tenge, wissenschaftlicher Mitarbeiter TU München-Weihenstephan, Cand. Ing. Michael Becker, Student TU München-Weihenstephan

fenahme von Additiven, einen technologischen und ökologischen Vorteil bieten, stellt dieses Verfahren eine zukunftsweisende Alternative dar.

## ■ Ozonerzeugung durch Elektrolyse

Durch die Abspaltung eines Elektrons aus einem Wassermolekül an der Oberfläche der Diamantelektrode werden OH-Radikale im Bereich des Elektrodenstacks erzeugt. OH-Radikale stellen durch ihr Oxidationspotenzial von 2,8 V selbst ein sehr starkes Desinfektionsmittel dar. Die Lebenszeit von OH-Radikalen liegt jedoch nur im Zehntelsekundenbereich. Um die Desinfektionswirkung nicht nur im Bereich des Ozongenerators, sondern auch im nachfolgenden Lager- und Verteilsystem zu haben, wird durch die Steigerung der Stromdichte an der Elektrode ein Überschuss an OH-Radikalen erzeugt, woraus direkt das Ozon gebildet wird. Ozon selbst hat ein Oxidationspotenzial von 2,07 V.

Zur Erzeugung des Ozons ist ausschließlich Gleichstrom im Niedervoltbereich an der Diamantelektrode (Abb. 1) notwendig. Zusätzliche Gase oder Additive werden nicht benötigt.

## ■ Wirkungsweise des Ozons

Die oxidative Wirkung des Ozons beruht auf seiner hohen Reaktivität gegenüber Red-

oxpartnern, d. h. mit Ozon in Kontakt gekommene Substanzen werden oxidiert und verlieren dadurch zum Teil charakteristische biochemische Eigenschaften. Von Vorteil ist dies bei der Desinfizierung, da die Proteinmembranen von Mikroorganismen durch eben diese Reaktion an Stabilität verlieren und der Keim sozusagen aufplatzt (Abb. 2).

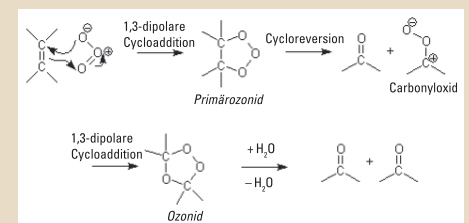


Abb. 2 Vereinfachte Darstellung der Ozonolyse nach Criegee (1975)

Grundsätzlich wirken Oxidationsmittel nicht selektiv. Es werden alle Stoffe oxidiert, deren chemische Konstitution dies zulässt. Das heißt wiederum, dass fast alle organischen Verbindungen von dieser Oxidation betroffen sind. Hierzu gehören Mikroorganismen und Biofilme, aber auch chemische Bestandteile des Wassers.

Sollten keine Redoxpartner im Wasser vorhanden sein, zerfällt das Ozon in Abhängigkeit von der Wassertemperatur nachweislich zu reinem Sauerstoff. Weitere Zerfallsprodukte werden nicht gebildet.

## ■ Labortechnische Erfahrungen

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der TUM, Zweigstelle Weihenstephan, wurden unter Leitung von Dr. Ch. Tenge Versuche mit Hilfe einer Testanlage durchgeführt. Zielsetzung war zu klären, welche Konzentrationen von Ozon notwendig sind, um definierte mikrobiologische Verkeimungen sicher abtöten zu können. Darüber hinaus wurden kritische Wasserinhaltsstoffe beobachtet. Insbesondere ist hier die Bildung von Chlorat aus Chlorid und die Bildung von Bromat aus Bromid zu nennen.

# Desinfizierung mittels Ozon

## Ergebnisse

### OZONMENGEN UND EINWIRKZEITEN

Benötigte Ozonmengen zur sicheren Desinfizierung bei verschiedenen Mikroorganismuskonzentrationen und Einwirkzeiten

Einwirkzeit	150 s		300 s	
	$10^{13}$	$10^{15}$	$10^{13}$	$10^{15}$
$C_{MO}$ (pro ml)				
<b>Mikroorganismus</b>	<b>Zur sicheren Desinfizierung benötigte Ozonmenge</b>			
<i>E. coli</i>	130 ppb	140 ppb	120 ppb	150 ppb
<i>S. cerevisiae</i>	80 ppb	100 ppb	80 ppb	80 ppb
<i>L. brevis</i>	70 ppb	70 ppb	70 ppb	50 ppb
<i>P. damnosus</i>	80 ppb	90 ppb	80 ppb	70 ppb

Tab. 1

### ANSTIEG DER KONZENTRATION DER OXIDATIONSPRODUKTE CHLORAT UND BROMAT

Chemische Parameter	Einheit	Grenzwert nach TVO und MEBAK	Ausgangswasserqualität	Wasser mit 0,5 mg/l Ozon
Chlorid	mg/l	250	17,4	17,3
Chlorat	mg/l	k. A.	<0,001	0,163
Bromid	mg/l	0,5	0,05	0,04
Bromat	mg/l	0,025/0,01	<0,0001	0,008

Tab. 2

#### ■ Mikrobiologische Erkenntnisse

Die Tests wurden durchgeführt mit *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus brevis* und *Pediococcus damnosus*. Die aufgegebenen Mikroorganismenkonzentrationen ( $C_{MO}$ ) und die für die sichere Desinfizierung notwendige Ozonkonzentration sind aus der Tabelle 1 zu ersehen. Hierbei wurden 150 und 300 Sekunden Einwirkzeit vorgegeben, als Erfolg wurden OKBE/ml nach einer Bebrütungsdauer von sieben Tagen bei den Standardbebrütungstemperaturen der jeweiligen Nährböden gewertet.

Da Keimbelastungen über 103/ml im Trinkwasser nicht zu erwarten sind, ergeben sich für die Praxis realistische Ozonkonzentrationen zur Absicherung des nachfolgenden Lager- und Verteilsystems im Bereich von 0,05 bis 0,08 mg/l (Näherungsweise 50–80 ppb) gelöstem Ozon im Wasser, gemessen am Ausgang des Reaktors. Diese Aussage wird untermauert durch die in der Praxis gewonnenen Erkenntnisse.

Aus der Tabelle 1 ist ersichtlich, dass der Unterschied, ob die Einwirkzeit 150 oder 300 Sekunden beträgt minimal ist. Schlussfolgernd daraus ist davon auszugehen, dass durch die Wirkung der OH-Radikale direkt an den Diamantelektroden bereits eine sehr effektive Abtötung der von außen in das nachfolgende System eindringenden Mikroorganismen erfolgt. Bedingt ist dieses Verhalten durch die Führung des gesamten Volumenstroms durch den Reaktor und damit über die Diamantelektroden.

Das am Ausgang des Reaktors gemessene Ozon verfügt als das langlebigere Oxidationsmittel über die notwendige Depotwirkung zur Absicherung des nachfolgenden Lager- und Verteilsystems.

#### ■ Chemische Erkenntnisse

Besonderes Augenmerk wurde bei der chemischen Analyse des ozonisierten Wassers auf die Konzentration von Bromat und Chlorat gelegt. Der Grund hierfür ist beim

Bromat der wegen seiner Kanzerogenität niedrige Grenzwert laut der geltenden Trinkwasserverordnung (bis 31.12.2007: 0,025 mg/l als Übergangsregelung, ab dann 0,010 mg/l). Beim Chlorat verhält es sich ähnlich, da auch hier ein erheblicher Konzentrationsanstieg vermutet wurde.

Wie man der Tabelle 2 entnehmen kann, sind aber bei den enthaltenen Konzentrationen der Ausgangsstoffe Bromid und Chlorid bis zu einer Konzentration von 0,5 mg/l (500 ppb) die Grenzwerte aus der TVO nicht überschritten worden. Zu Beginn der Versuchsreihen waren ca. 0,5 mg/l (500 ppb) als Richtwert für die Ozonisierung angenommen worden. Im Verlauf der Testreihen wurde jedoch sehr schnell klar, dass Ozonkonzentrationen, die sich im Bereich von 0,05 und 0,3 mg/l (50 und 300 ppb) befinden, vollkommen ausreichend sind. Durch die so gewonnenen Ergebnisse mit 0,5 mg/l (500 ppb) Ozon, gelöst im Wasser, (siehe Tab. 2) ist sichergestellt, dass bei der getesteten Ausgangswasserqualität (ca. 10 °d) mit 0,1 mg/l Ozon (100 ppb) keine Gefahr einer Grenzwertüberschreitung besteht.

Weitere Veränderungen an anderen in der TVO genannten chemischen Parametern waren unwesentlich und selbst im Bereich von 1,5 mg/l (1500 ppb), einem in der Praxis utopischen Wert, wurden keine Überschreitungen der jeweiligen Grenzwerte festgestellt. Bei in der Praxis zu erwartenden Ozonkonzentrationen zwischen 0,05 und 0,3 mg/l (50 und 300 ppb) beträgt die Erhöhung des Sauerstoffgehalts im Wasser lediglich 0,5–1,0 mg O<sub>2</sub>/l (Tab. 3). Dies stellt

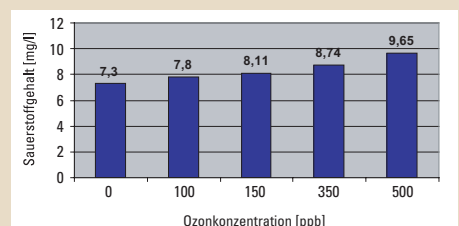


Abb. 3 Sauerstoffgehalte bei den vorgegebenen Ozonbeaufschlagungen

ÜBERSICHT ÜBER VIER IM EINSATZ BEFINDLICHE ESAZON®-ANLAGEN

Übersicht von vier im Einsatz befindlichen ESAZON®-Anlagen zur Betriebswasserdesinfizierung und einer ESAZON®-Anlage zur Desinfizierung von Reinstwasser

Kunde	Anlage	Auslegung	Ausrüstung	IBN	Verwendungszweck
Meusel-Bräu	2 g Ozon 2 Anlagen gleiche Ausführung	0 - 10 m³/h	Mit UV-Anlage, Druckerhöhung und Pufferbehälter	Januar 2006	Es wurden zwei Anlagen gleicher Ausführung installiert. Betriebs- und Brauwasserdesinfizierung, Wiederkehrende Desinfizierung, Verteilnetz, Rinserwasserdesinfizierung
Späth-Bräu	4 g Ozon	0 - 20 m³/h	Mit UV-Anlage und Pufferbehälter	Mai 2006	Firewall, als Verkeimungsschutz für das interne Betriebswasser- netz, zur wiederkehrenden Desinfizierung des Verteilnetzes
Brauerei Kneiting	4 g Ozon	0 - 20 m³/h	Nur Ozonerzeugung und Mischung	Januar 2007	Firewall, als Verkeimungsschutz für das interne Betriebswasser- netz, zur wiederkehrenden Desinfizierung des Verteilnetzes
Bayer-Schering Bergkamen	5 g Ozon	5 Module bis 120 m³/h	Nur Ozonerzeugung und Mischung	November 2005	Pharmaanwendung Ozonisierung einer Reinstwasserringleitung, Länge ca. 3 km, max. Durchsatz: bis 120 m³/h

Tab. 3

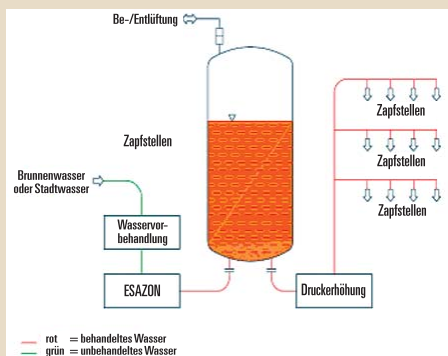


Abb. 4 Integration einer ESAZON®-Anlagen in ein Betriebswassernetz mit Pufferbehälter und Druckerhöhung

selbst beim Einmischwasser kein Problem dar. Bei einer Verwendung des Wassers zur Optimierung des Stammwürzegehaltes sollte zum Schutz des Produktes eine Entgasung vorgeschaltet werden, die wiederum keine Kontamination zulassen darf.

Praxiserfahrungen

Die durch die Diplomarbeit gewonnenen Erkenntnisse wurden bisher in der Praxis bestätigt. Im Getränkesektor wurden die ersten Anlagen 2005 installiert und 2006 in Betrieb genommen. Beispielhaft können wir hier die Brauerei Meusel in Dreusendorf, die Brauerei Späth-Bräu in Lohberg und die Brauerei Kneiting in Regensburg nennen.

Zusammenfassend kann zu allen Anlagen gesagt werden, dass die erzeugten Ozonkonzentrationen am Ausgang des Reaktors auf 0,05 bis 0,08 mg/l (50 bis 80 ppb) Ozon eingestellt sind. Durch laufende mikrobiologische Untersuchungen der Betreiber konnte festgestellt werden, dass ein sicherer Schutz der betriebsinternen Ver-

braucher durch von außen eingetragene Keime gewährleistet wird. Darüber hinaus konnte in allen Betrieben durch wiederkehrende Desinfizierung mittels ozonhaltigem Wasser das betriebsinterne Verteilnetz vor nicht mehr im Toleranzbereich liegenden Verkeimungen geschützt werden, ohne weitere Maßnahmen.

Außer der für den Betrieb des Elektrodenstacks notwendigen Energie fallen nur die Wartungskosten für den Elektrodenstack an. Für den Stromverbrauch ist hier beispielhaft die Brauerei Kneiting zu nennen. Im Verlauf von sieben Monaten wurde ein Stromverbrauch von 310 kWh registriert. Hochgerechnet ergeben sich hieraus ein Gesamtstromverbrauch für das Jahr in Höhe von ca. 550 kWh. Der durchschnittliche Wasserbedarf, welcher über die installierte Anlage desinfiziert wird, liegt bei ca. 12 500 m³/Jahr. Daraus schlussfolgernd ergeben sich Energiekosten in Höhe von ca. 70 EUR/Jahr (1,7 ct/m³).

Bei allen erwähnten Anlagen handelt es sich um die Einbindung in diskontinuierlich betriebene Wassernetze.

Über die erfassten Parameter konnte festgestellt werden, dass über den Verlauf eines Jahres gesehen die Wasserdesinfizierung nur maximal 1/3 (ca. 2700 h) der Gesamtbetriebszeit (ca. 8000 h) benötigt wird. Ebenso konnte festgestellt werden, dass der Ozonreaktor innerhalb dergenannten 2700 Stunden Laufzeit über die Anforderung von Wasser aus den Betrieben bis zu 15 000 Ein- und Ausschaltzyklen absolviert hat.

Im Zuge der regelmäßigen Anlagenüberprüfungen wurde weiterhin festgestellt, dass sich die häufigsten Wasserabnahmemengen bei 20 - 30 Prozent der maxima-

len Anlagenauslegung bewegen. Durch die Möglichkeit der sofortigen Zuschaltung des Ozonreaktors nach Registrierung einer Wasserabnahme und der Anpassung der Steuerung an die Wasserabnahmemengen ist eine schnelle und somit sichere Desinfizierung des Wassers, auch unter den gegebenen extremen Betriebsbedingungen, sichergestellt. Aus der Abbildung 4 geht eine mögliche Variante der Integration eines ESAZON®-Systems in ein vorhandenes Betriebswassernetz hervor.

Für Interessenten an der neuen Technologie steht eine Miet-/Versuchsanlage zur Verfügung. Diese Möglichkeit wurde bewusst geschaffen, um potenziellen Neukunden verfahrenstechnische Sicherheit zu geben. Die provisorische Integration in ein vorhandenes System kann über Schläuche erfolgen. Der Betrieb der Anlage kann wahlweise über die integrierte Druckerhöhungs-/Kreislaufpumpe erfolgen. Die Stromversorgung wird über eine Steckverbindung hergestellt.

Weitere Anwendungen bestehen in den Bereichen der AfG-Ausmischung und Abfüllung, der Rinserwasserdesinfizierung und der Mineral- und Tafelwasserabfüllung.

Techn. Daten der Miet-/Versuchsanlage

- Abmessungen (LxBxH): 1000 x 780 x 1850 mm
- NW: DN50 (Regelbar bis zu 17 m³/h)
- Ozongenerator: 4 g Ozon gelöst/h
- Stromversorgung: 400V, 16A oder 32A