

# Ozon-Brom-Verfahren zur Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser

Aufnahme des Verfahrens in die DIN 19 643 beantragt

Dipl.-Ing. Manfred Brugger, Hydro-Elektrik GmbH, Ravensburg

Schwimmbeckenwasseraufbereitung ohne Chlor ist für viele Hygieniker und Hersteller chlorhaltiger Produkte eine provozierende Aussage. Schließlich wird die Zugabe von Chlor bzw. chlorhaltigen Produkten zur Desinfektion von Schwimmbeckenwasser seit Jahrzehnten praktiziert, und die Wirkungsmechanismen sind weitgehend bekannt. Die Chlorung ist der letzte Teilschritt aller in der DIN 19 643 enthaltenen Verfahrenskombinationen zur Beckenwasseraufbereitung.

Versuche mit anderen Halogenen wie Brom und Jod in den 50er und 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts scheiterten, da die Handhabung und Dosierung z. B. von flüssigem Brom gefährlich und im Rahmen des Schwimmbadbetriebes nicht betriebssicher durchführbar waren. Erst durch die von der Hydro-Elektrik GmbH zur Praxisreife weiterentwickelte Hydrozon®-Anlagentechnik (siehe Abbildung 1) setzte sich Brom als Desinfektionsmittel für die Aufbereitung von Schwimmbeckenwasser sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bäderbau durch.

Im folgenden Bericht werden die Grundlagen und die Wirkungsweise sowie Hinweise zum praktischen Betrieb des Verfahrens detailliert vorgestellt.

Von der Hydro-Elektrik GmbH wurde beim Deutschen Institut für Normung (DIN) die Aufnahme des Ozon-Brom-Verfahrens in die DIN 19 643 beantragt. Der Antrag wird gegenwärtig vom zuständigen DIN-Arbeitsausschuss „Schwimmbeckenwasser“ begutachtet. Geforderte Praxistests über die Dauer von zwei Wochen wurden in drei Bädern durchgeführt und der Abschlussbericht zur Diskussion vorgelegt.

Derzeit arbeiten nach Kenntnis des Verfassers in Deutschland rund 100 öffentliche Bäder (vornehmlich Therapie- und Bewegungsbecken in Kliniken sowie Hotelpools) und rund 900 private Bäder mit diesem Verfahren. Die langjährigen Erfahrungen der Betreiber sind ausnahmslos positiv.

Desinfektionsmittel als Alternative zu Chlor können sich nur durchsetzen, wenn

- die Desinfektionskraft im Mindesten mit der des Chlors vergleichbar ist,
- der Desinfektionsmittelgehalt leicht bestimmbar ist,
- die automatische Betriebssteuerung belastungsabhängig und sicher funktioniert,

- das Risikopotenzial im Umgang mit dem alternativen Mittel kleiner ist als bei Chlor,
- eine gleichwertige bzw. bessere Wasserqualität erreicht wird,
- das Wasser gut hautverträglich ist,
- die Betriebskosten gesenkt werden und
- der Chemikalienverbrauch minimiert wird.



■ Abbildung 1: Hydrozon®-Kompaktanlagen (hier im Vitalium in Bad Wurzach); alle Abbildungen: Hydro-Elektrik, Ravensburg

## Brom versus Chlor

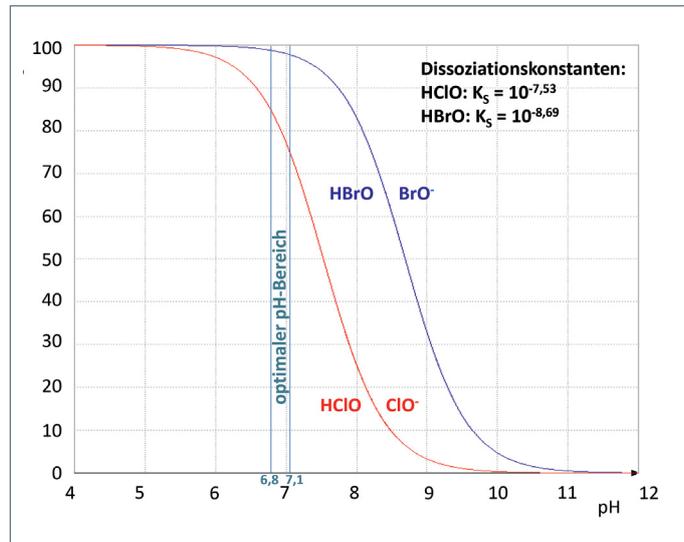
Die Halogene („Salzbildner“) Chlor und Brom sind chemisch sehr nahe verwandt. Beide Elemente sind als Salze natürliche Bestandteile des Meerwassers. Bromid liegt im Meerwasser in Konzentrationen bis zu 60 mg/l vor.

Sowohl elementares Chlor (Gas) als auch Brom (Dampf) wirken beim Einatmen oder bei der Berührung mit der Haut sehr giftig. Sie bilden mit Feuchtigkeit starke Säuren; beim Einatmen besteht die Gefahr starker Schleimhautreizungen und der Bildung eines Lungenödems, beim Kontakt mit der Haut die Gefahr von Verätzungen.

Chlor und Brom hydrolysieren in Wasser, die entstehende hypochlorige bzw. hypobromige Säure dissoziiert. Je nach pH-Wert der wässrigen Lösungen liegen unterschiedliche Anteile von hypochloriger bzw. hypobromiger Säure oder Hypochlorit bzw. Hypobromit vor (siehe Abbildung 2). Wie die Grafik zeigt, erfolgt der Übergang von der stark desinfizierend wirkenden hypochlorigen Säure (HClO) zum sehr schwach desinfizierend wirkenden Hypochlorit (ClO<sup>-</sup>) im pH-Bereich ab ca. 6, der Übergang von der stark desinfizierend wirkenden hypobromigen Säure (HBrO) zum sehr schwach desinfizierend wirkenden Hypobromit (BrO<sup>-</sup>) dagegen im pH-Bereich ab ca. 7.

Im für Schwimmbeckenwasser relevanten Bereich um pH = 7 liegt bei Brom damit überwiegend stark desinfizierend wirkende hypobromige Säure vor (bei

■ **Abbildung 2:**  
Desinfektionsmittelgehalte in Abhängigkeit vom pH-Wert



Chlor nur ca. 75 % hypochlorige Säure). Dies erklärt einerseits die hervorragende Desinfektionswirkung von Brom im pH-Bereich um 7 und andererseits die bekannte, abnehmende Desinfektionswirkung dieser Mittel bei zunehmenden pH-Werten infolge der Gleichgewichtsverschiebung.

## Oxidation und Ozonung

Ozon stellt eine energiereiche, hochreaktive, stark oxidierende Form des Sauerstoffs dar, nämlich ein Sauerstoffmolekül, das sich im Unterschied zum normalen Sauerstoff der Luft (O<sub>2</sub>) aus drei Sauerstoffatomen (O<sub>3</sub>) zusammensetzt. Sein spezifisches Oxidationspotenzial als Maß für die Stärke eines Oxidationsmittels ist hoch und beträgt 2,07 V. Es gilt im Bereich der Wasseraufbereitung als hervorragendes Oxidationsmittel. Ozon bewirkt aufgrund seines hohen Oxidationspotenzials eine schnelle und intensive Oxidation organischer und anorganischer Wasserverunreinigungen.

Ozon ist aber auch ein sehr gutes Desinfektionsmittel. Aus diesem Grund müssen insbesondere Therapiebecken in Kliniken mit hohem Infektionsrisiko mit Ozonstufen ausgerüstet werden. Durch die Ozonung werden auch unerwünschte Desinfektionsnebenprodukte der Chlorung (z. B. Chloramine) abgebaut.

Ozon ist nicht stabil und muss deshalb am Einsatzort mittels spezieller Ozonerzeuger aus Luftsauerstoff mit Hilfe elektrischer Energie durch die sog. stille elektrische Entladung (Korona-Entladung) generiert werden. Wie bei allen Verfahren mit Ozon ist eine intensive Einmischung des Ozons in das Wasser für die schnellen Oxidationsreaktionen erforderlich. Die Vermischung des Ozon-Luftgemisches mit dem Wasser erfolgt in der Regel mit einer Venturi-Injektor-Kombination oder einem anderen geeigneten System vor dem Filter.

Anzeige



- Wasserpflegeprodukte
- Reinigung und Desinfektion
- Gefahrstoffschulungen

[www.iba-aqua.com](http://www.iba-aqua.com)

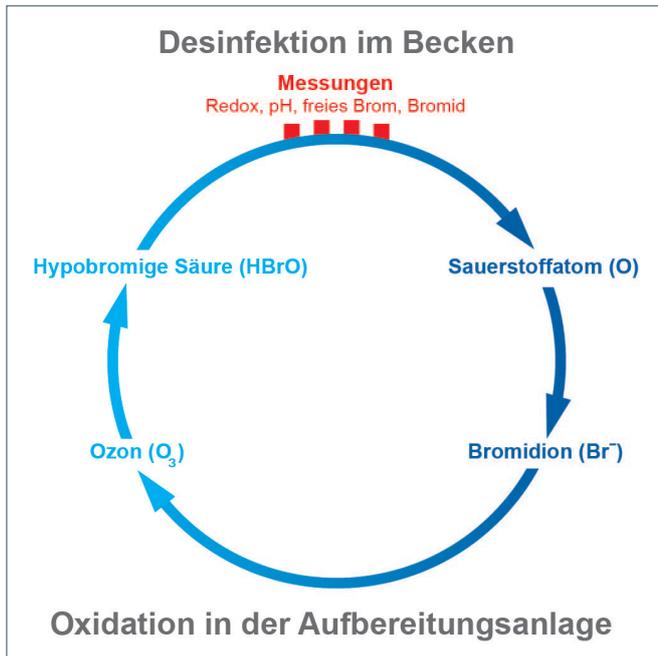
IBA-Aqua-Pflege-Produkte GmbH • Bruchstücker 56-58 • 76661 Philippsburg • Tel. +49 7256 92308-0 • [info@iba-aqua.com](mailto:info@iba-aqua.com)



- Dosiertechnik
- Wasserdeseinfektion
- Wasseraufbereitung

[www.iba-technikcenter.de](http://www.iba-technikcenter.de)





■ *Abbildung 3:*  
Ozon-Brom-Kreislauf

deren durch entsprechende Druckunterschiede in einem Venturi-Injektor-System realisiert. Nachdem sich unmittelbar an der Grenzschicht diese unterschiedlichen Bedingungen relativ schnell ausgleichen bzw. nach dem Henry-Gesetz sich ein Gleichgewicht einstellt, kommt der Gasaustausch ohne Vermischung recht schnell zum Erliegen. Aus diesem Grund kommt einer entsprechend turbulenten Einmischung eine sehr hohe Bedeutung zu.

Beim Ozon-Brom-Verfahren ist die Ozonung der erste Verfahrensschritt noch vor der Filtration. Wie beschrieben findet hierbei auch die Desinfektionsmittelbildung statt. Das bedeutet, dass der Filter ständig mit desinfektionsmittelhaltigem Wasser durchströmt wird, was ein weiterer großer Vorteil dieses Verfahrens ist. Filterverkeimungen sind damit vollständig ausgeschlossen.

Vorteilhaft wirkt sich auch der im Prinzip pH-neutrale Prozess des Ozon-Brom-Verfahrens aus. Während bei der Zugabe von Chlor (Cl<sub>2</sub>) durch die Hydrolyse eine pH-Senkung erfolgt, führt die Zugabe von Chlorbleichlaug (NaClO) zum pH-Wert-Anstieg. In beiden Fällen ist eine pH-Wert-Korrektur durch Chemikalienzugabe notwendig.

### Hygiene-Hilfsparameter

Die Werte für das freie Brom liegen – je nach Beckenart – im Bereich zwischen 0,5 und 1,5 mg/l Br (max. 2,0 mg/l Br), höher als die empfohlenen Werte für das freie Chlor bei der Beckenwasserchlorung. Der Grund ist die mehr als doppelt so hohe Atommasse von Brom mit 79,9 gegenüber Chlor mit 35,45. Die unterschiedlichen Atommassen müssen z. B. auch bei der Bestimmung der Trihalogenmethane (THM) durch die Berechnung des Ergebnisses „als Chlorform“ berücksichtigt werden.

Der anzustrebende Praxiswert liegt bei 0,8 - 1,2 mg/l Br<sub>2</sub>, was ca. 0,35 - 0,55 mg/l Cl<sub>2</sub> entspricht und auch als Chlor gemessen werden kann. Die DIN 19 643

### Funktion des Ozon-Brom-Verfahrens

Bromid wird dem Beckenwasser in vergleichsweise geringen Mengen als Natriumbromidsalz (NaBr) oder Kaliumbromidsalz (KBr) in fester, kristalliner Form oder als wässrige Lösung zugegeben. Der erforderliche Bromidionengehalt liegt bei diesem Verfahren bei ca. 20 - 40 mg/l. Meerwasser und teilweise auch Solewässer enthalten bereits von Natur aus genügend Bromid.<sup>1) 2)</sup>

Im Reaktionsraum werden Wasserinhaltsstoffe durch Ozon oxidiert und das Wasser desinfiziert, gleichzeitig reagiert überschüssiges Ozon mit Bromidionen und erzeugt dadurch das Desinfektionsmittel hypobromige Säure (HBrO). Dieses reagiert im Beckenbereich unter Abspaltung des Sauerstoffatoms. Danach steht das Bromidion wieder zur Reaktion mit Ozon zur Verfügung; Bromid wird so ständig im Kreis geführt (siehe Abbildung 3). Zusätzliches Bromid muss lediglich zum Ausgleich der Füllwassernechtspeisung bzw. der Spülwasserverluste nachdosiert werden. Der Bromidgehalt im Becken ist sehr stabil und kann mittels einer ionenselektiven Messung kontrolliert und konstant gehalten werden.

Für die Reaktion des Ozons mit den Wasserinhaltsstoffen sind die Einmischung und die Vermischung wesentlich wichtiger als die reine Reaktionszeit.<sup>12)</sup> Je feinblasiger und intensiver die Vermischung mit dem Wasser erfolgt, umso größer ist die Kontaktfläche zwischen der ozonhaltigen Luft und dem Wasser und damit auch die Abbauleistung. Ein Teil des Ozons reagiert sowohl oxidierend mit Wasserinhaltsstoffen als auch desinfizierend durch Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern und der restliche Teil mit Bromid unter Bildung des Desinfektionsmittels hypobromige Säure. Diese Vorgänge verlaufen relativ schnell und parallel zueinander.

Aus diesem Grund ist bei diesem Verfahren kein Aktivkohlefilter zum Abbau von überschüssigem Ozon erforderlich.

Der Gasaustausch (Stofftransport) zwischen ozonhaltiger Luft und dem Wasser kann mit der sog. Grenzschichttheorie beschrieben werden. Angetrieben wird der Stofftransport durch die unterschiedlichen Konzentrationen bzw. Partialdrücke der Gase in den Medien. Diese Bedingungen werden zum einen durch eine entsprechende Konzentration der ozonhaltigen Prozessluft und zum an-

gibt für das freie Chlor – je nach Becken – Werte zwischen 0,3 und 1,0 mg/l vor. Die Desinfektionsmittelgehalte sind also direkt miteinander vergleichbar, allerdings mit dem Unterschied, dass beim Bromverfahren bei gleichen pH-Werten erheblich mehr hypobromige Säure zur Verfügung steht (siehe Abbildung 2). Der pH-Wert sollte in der Praxis im Bereich von 6,8 bis 7,1 liegen.

Die Redox-Spannung als wichtigster Hygiene-Hilfsparameter sollte 700 mV (entsprechend dem Wert für Meerwasser-Schwimmbäder) nicht unterschreiten.<sup>8)9)</sup> Dieser Parameter informiert über die aktuelle Belastung des Beckenwassers und über die Wirksamkeit des als freies Brom gemessenen Desinfektionsmittels.

Beim Ozon-Brom-Verfahren besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der erzeugten Ozonmenge, dem freien Brom und der Redox-Spannung (siehe Abbildung 4). Bei starker Besucherbelastung ist der Ozonbedarf deutlich höher, da ein wesentlicher Teil des eingebrachten Ozons mit Wasserinhaltsstoffen reagiert und auch der Verbrauch von Desinfektionsmittel im Becken zunimmt. Als Führungsgröße für die Regelung der Ozonerzeugerleistung dient der jeweils gemessene Desinfektionsmittelgehalt im Beckenwasser. Analog zur belastungsabhängigen Dosierung von z. B. Chlor wird beim Ozon-Brom-Verfahren das Ozon belastungsabhängig dosiert.

In Abbildung 4 ist ferner gut erkennbar, dass bei hoher Beckenbelastung die Redox-Spannung direkt nach der Ozonung und vor dem Sandfilter stets im Bereich zwischen 850 und 860 mV liegt, wodurch eine hervorragende Desinfektion gewährleistet ist.<sup>11)</sup>

## Oxidierbarkeit

Bei der Bestimmung der Oxidierbarkeit des Beckenwassers ist dessen Bromidgehalt zu berücksichtigen. Dies erfolgt im Allgemeinen durch rechnerische Korrektur der gemessenen Werte. Der Grund ist die Bildung von Brom durch die Re-

aktion von Bromid mit Kaliumpermanganat. Bessere Kontrollparameter für die Überprüfung der Wirksamkeit der Wasseraufbereitung bei bromidhaltigen Wässern sind der spektrale Absorptionskoeffizient (SAK) und der gesamte organische Kohlenstoff (TOC).

## Desinfektionsnebenprodukte

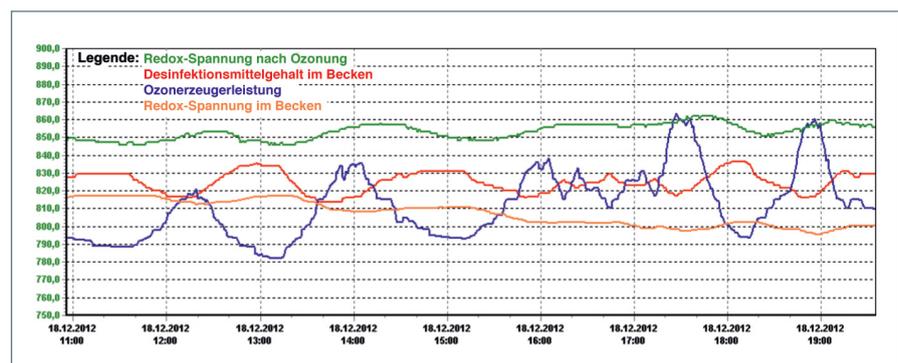
Desinfektions- bzw. Oxidationsmittel im Rahmen der Wasseraufbereitung reagieren nicht selektiv nur mit einzelnen Wasserinhaltsstoffen, sondern mit allen möglichen Reaktionspartnern. Dies führt bei oxidativen Wasseraufbereitungsverfahren unweigerlich zur Bildung von sog. unerwünschten Desinfektionsnebenprodukten (DNP). Auch wenn diese DNP teilweise schon recht lange bekannt sind, rückten diese erst in den letzten Jahren vermehrt in den Mittelpunkt der Überwachung. Gründe hierfür sind die zwischenzeitlich erkannten möglichen Gesundheitsrisiken dieser Verbindungen.

Ohne Kenntnisse über die Bildungsmechanismen der DNP können keine gezielten aufbereitungstechnischen Maßnahmen für die Vermeidung, Minimierung bzw. den Abbau der DNP ergriffen werden. Wesentlich für die Bildung der DNP ist das Vorliegen organischer Verbindungen (wie z. B. Huminstoffe und Harnstoff), ein hoher pH-Wert und hohe Desinfektionsmittelgehalte. Durch gründliches Duschen der Badegäste kann der Harnstoff auf der Haut größtenteils entfernt werden. Die Harnstoffbelastung als Folge der direkten Badnutzung durch die Badegäste (Schwitzen und Urinein-

trag) kann aber kaum beeinflusst werden.<sup>14)</sup>

Eine hohe Badnutzung erhöht damit zunächst zwangsläufig auch das Bildungspotenzial für DNP. Aus diesem Grund spielen sowohl die Wasserumwälzung als auch die Wassererneuerung und die Wasseraufbereitung eine entscheidende Rolle. Ferner hat die Qualität des Füllwassers einen Einfluss auf das DNP-Bildungspotenzial. Insbesondere bei erhöhten TOC-/DOC-Gehalten (Huminstoffe) ist eine höhere Füllwassermenge in der Regel meist nicht geeignet, die THM-Gehalte zu reduzieren.

Wie bereits beschrieben, werden organische Verbindungen durch Ozonung abgebaut bzw. mineralisiert. Beim Ozon-Brom-Verfahren entsteht das Desinfektionsmittel „freies Brom“ durch Oxidation von Bromid *parallel* zur Oxidation der organischen Wasserinhaltsstoffe. Da der Gehalt an freiem Brom die Führungsgröße für die Ozonung ist, wird bei geringer Belastung auch der Ozonbedarf bzw. die zugeführte Ozonmenge reduziert. Aus diesem Grund kommt der Abstimmung der Ozondosierung auf den Volumenstrom eine große Rolle zu. Ferner erklärt diese Abhängigkeit im umgekehrten Sinne auch die mit zunehmender Beckenbelastung *automatisch zunehmende* Leistungsfähigkeit des Ozon-Brom-Verfahrens. Diese basiert auf der geregelten Ozondosierung in Abhängigkeit vom Desinfektionsmittelverbrauch.



■ Abbildung 4: Abhängigkeit Redox-Spannung, Ozondosis und freies Brom von der Belastung

## Trihalogenmethane

Die leichtflüchtigen THM können ausgasen, sich in der Hallenbadluft anreichern und damit von Badegästen leicht oral bzw. über die Atmung aufgenommen werden.

Methan (chemische Formel  $\text{CH}_4$ ) ist der einfachste Kohlenwasserstoff und als brennbares Gas leicht oxidierbar. THM sind Kohlenwasserstoffverbindungen, bei denen drei Wasserstoffatome durch die Halogene Chlor oder Brom ersetzt sind.

Die wesentlichen Vertreter dieser Spezies sind:

- Trichlormethan (Chloroform) mit der Summenformel  $\text{CHCl}_3$ ,
- Dichlorbrommethan mit der Summenformel  $\text{CHBrCl}_2$ ,
- Dibromchlormethan mit der Summenformel  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  und
- Tribrommethan (Bromoform) mit der Summenformel  $\text{CHBr}_3$ .

Bei der Chlorung bromidfreier Wasser entsteht Trichlormethan. Bei der Chlorung bromidhaltiger Wasser (Meerwasser, Solewasser) entstehen *zusätzlich* die o. g. bromhaltigen Verbindungen in unterschiedlichen Mengen. Beim chlorfreien Ozon-Brom-Verfahren entsteht da-

gegen *ausschließlich* Bromoform in geringen Mengen.

Dies deutet klar darauf hin, dass die THM-Bildung als eine unmittelbare Reaktion des Desinfektionsmittels mit den organischen Wasserinhaltsstoffen angesehen werden kann. Neben der Minimierung der organischen Wasserinhaltsstoffe sollte deshalb auch der Desinfektionsmittelgehalt auf die erforderlichen Werte limitiert werden.

Die THM werden als Summenparameter erfasst. Für die THM-Verbindungen wurde auf Grund einer Empfehlung des Umweltbundesamtes in der DIN 19 643 der obere Wert (Vorsorgewert) auf 0,02 mg/l (berechnet als Chloroform) festgelegt. Die bromhaltigen Verbindungen werden entsprechend umgerechnet. Für Bromoform beträgt der Multiplikator 0,47. Der Umrechnungsfaktor ergibt sich durch einfache Division der entsprechenden Molmassen der beiden Verbindungen.

Kontinuierliche Analysen zeigten, dass die Bromoformbildung beim Ozon-Brom-Verfahren nahezu vermieden werden kann, wenn der TOC-Gehalt des Wassers im Aufbereitungskreislauf  $< 1,2 \text{ mg/l}$  und der SAK (254 nm)  $< 0,8 \text{ m}^{-1}$  ist.

## Bromat

Bromat ist eine stabile Verbindung, die sich im Beckenwasser anreichern und nur durch Verdünnung reduziert werden kann. Es entsteht bei der Ozonung durch die mehrmalige Oxidation von Hypobromit. Die Bromatbildung ist stark abhängig vom pH-Wert, der Temperatur und der Art der Ozonung, deren Dauer und Konzentration (siehe Abbildung 5).<sup>3)</sup>

Im pH-Bereich um 6,8 - 7 liegen nur sehr geringe Mengen an Hypobromit als Precursor (Vorläufersubstanz) vor. Die Bromatkonzentration kann deshalb bei ordnungsgemäßem Betrieb dauerhaft unter 0,1 mg/l gehalten werden (durch Langzeitmessungen belegt). Für diesen Parameter wurde in der DIN 19 643-1: 2012 ein oberer Wert von 2 mg Bromat/l festgelegt. Vergleichende Berechnungen mit der Formel nach Song zeigen eine gute Übereinstimmung mit gemessenen Werten in der Praxis.

## Gebundenes Brom

Chloramine sind in einem Schwimmbeckenwasser nicht zu vermeiden. Durch Reaktion von stickstoffhaltigen Wasserinhaltsstoffen mit freiem Chlor entstehen das sog. gebundene Chlor bzw. die Chloramine. Sie sind ursächlich für den typischen Hallenbadgeruch, und sie wir-

Anzeige



PRIMELAB 1.0  
MINI-MESH  
PHOTOMETER

Sensor/Optics by  
IENCOLOR

www.PrimeLab.org

WATER TESTING EQUIPMENT

**Lust auf eine ECHTE Innovation?**

1 Sensor - ALLE Parameter\*    Kabellose Bluetooth-Verbindung

Hochpräzise Wasseranalyse    Software mit Dosierempfehlung

Konto-Daten    Konten auf Gerät    Ergebnishistorie

Reportinformationen

Vorname: Michael     01-Alivis-MPS-Tab

Nachname: Cooper     05-Alkalinität-M-Tab

Von: 01.01.2013     06-Alkalinität-P-Tab

Bis: 31.12.2013     04-Aluminium-Tab

    02-Ammon-LR-Tab

07-Bor-Tab

08-Brom-Tab

63-Brom-Liq

Parameter	Unterparam.	Wert	Status	Datum	Zeit	gerät
38-pH-MR-Tab	pH	7.02	Low	04-07-2013	14:40:00	001234-
38-pH-MR-Tab	pH	7.22	OK	02-07-2013	11:52:16	002157-
11-Chlor-Tab	fCl	0.86	Low	30-06-2013	20:02:00	001234-
	cCl	0.44	-	30-06-2013	20:05:04	001234-
	fCl	1.30	-	30-06-2013	20:05:04	001234-

\*380 - 780 nm / je nach Entwicklungsstand

**Pool-i.d.®**

Reagenztabletten  
(Rapid/Photometer/Trübung)

Photometer  
Pooltester  
Comparator  
Electronic Meter  
Teststreifen  
Balanced Water Kits  
Spezialverfahren  
Bakterientests

Wasseranalyse  
Made in Germany

www.pool-id.com • info@pool-id.com • Abgabe über den Groß-/Fachhandel

# Calciumhypochlorit

## Dosierung



ken reizend auf Schleimhäute und Augen. Gebundenes Chlor wirkt wesentlich geringer desinfizierend als freies Chlor.

Grundsätzlich laufen die gleichen Reaktionen mit Brom ab, dennoch tritt der typische Hallenbadgeruch beim Ozon-Brom-Verfahren praktisch nicht auf. Ferner hat gebundenes Brom die gleiche desinfizierende Wirkung wie freies Brom<sup>7) 10)</sup> und stellt deshalb beim Ozon-Brom-Verfahren kein Problem dar.

Wie Hoigné<sup>4) 5)</sup> ferner aufzeigt, reagiert hypobromige Säure mit Ammonium sofort zu Bromamin, das wiederum mit weiterem Ozon reagiert, wodurch Nitrat und Bromid entstehen (siehe Abbildung 6).

### Abbau von Bromoform

Bromoform, Bromdichlormethan und Dibromchlormethan lassen sich relativ schnell durch UV-Strahlung abbauen. Bei Chloroform gelingt dies nur bis zu max. 50 %. Dies konnte sowohl durch eigene als auch fremde Untersuchungen eindeutig belegt werden.<sup>6)</sup>

Anders als bei den chlorierten THM spielt die Wellenlänge bzw. das Spektrum des UV-Strahlers beim Abbau von Bromoform keine entscheidende Rolle. Zur Verwendung eignen sich gewöhnliche Niederdruckstrahler. Nachdem sich die abzubauenen Bromoformmengen nur im Mikrogrammbereich bewegen, ist auch keine Vollstrombehandlung des aufzubereitenden Wassers erforderlich. Beim Ozon-Brom-Verfahren hat sich eine Teilstrombehandlung mit einer Kombination aus UV-Anlage und nachfolgendem Aktivkohlefilter bewährt (siehe Abbildung 7). Nur ca. 10 - 15 % des Volumenstroms werden über diese Verfahrensstufe geführt. Die Bromoformwerte können mit dieser Verfahrenserweiterung – auch bei stark belasteten Füllwässern – durchweg am unteren Rand der Bestimmungsgrenze gehalten werden.

### Zusammenfassung

Das Ozon-Brom-Verfahren wurde über Jahrzehnte getestet und weiterentwickelt. Die Testungen wurden ohne Ausnahme mit der speziell zur Realisierung der Ozon-Brom-Methode entwickelten Hydrozon-Technologie durchgeführt. Die durch unabhängige Institute ermittelten Testergebnisse sind somit zwangsläufig produktspezifisch. Zur Optimierung der Reaktionskinetik und zur Minimierung des Störfallrisikos sind bei der Hydrozon-Technologie der Ozonerzeuger und die zugehörige Vermischungseinrichtung in das geschlossene hydraulische System integriert.

Im Hygiene-Institut des Ruhrgebiets in Gelsenkirchen wurde die Leistungsfähigkeit des Ozon-Brom-Verfahrens im Hinblick auf den öffentlichen Bäderbau mehrfach untersucht und bestätigt. 1991 wurde für die Verfahrenskombination „Flockung – Ozonung – Filterung – Bromung“ der Be-



### Das BestFlow® System

- 1x Anlage, unbegrenzte Anzahl von Kreisläufen
- 2500g freies Chlor pro Stunde
- Frei von Chlorat
- Eine Zugabe von Säure entfällt
- Für die Sicherheit vom Bundesministerium für Arbeit u. Soziales ausgezeichnet
- Durch TÜV geprüft und bestätigt

Nach Song et al. (1996):

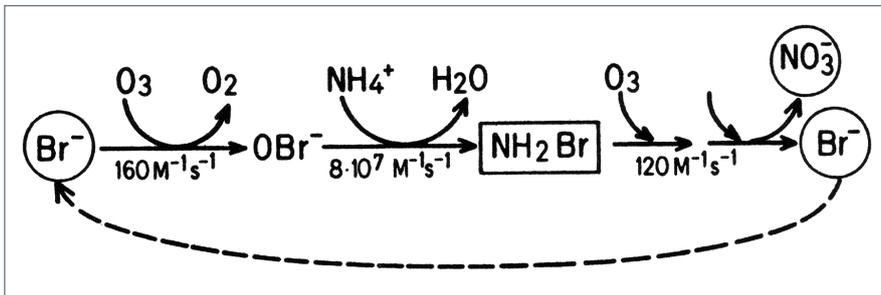
$$[BrO_3^-] = 10^{-6.11} [Br^-]^{0.88} [DOC]^{-1.18} [NH_3 - N]^{-0.18} [O_3]^{1.42} pH^{5.11} [IC]^{0.18} (t)^{0.27}$$

Dabei:

BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Bromatkonzentration (µg/l)	NH <sub>3</sub> -N = Ammoniak (mg/l)
Br <sup>-</sup> = Bromidkonzentration (µg/l)	O <sub>3</sub> = Ozondosis (mg/l)
DOC = gelöster org. Kohlenstoff (mg/l)	IC = anorg. Kohlenstoff (mg CaCO <sub>3</sub> /l)
	t = Kontaktzeit (min)

Ergebniskorrektur für andere Temperaturen:  $BrO_3^- = BrO_3^-_{T=20} \cdot (1.043)^{(T-20)}$

■ Abbildung 5: Bromatbildung nach Song et al.<sup>3)</sup>



■ Abbildung 6: Reaktionen von Ozon mit Bromid und Bromamin nach Hoigné<sup>4) 5)</sup>



■ Abbildung 7: Hydrozon-Kompaktanlage mit Aktivkohlefilter und UV-Anlage (hier im Förderzentrum Hoyerswerda)

lastbarkeitsfaktor  $b = 0,6 \text{ l/m}^3$  nachgewiesen.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass Meerwasserbäder grundsätzlich im Prinzip Brombäder sind<sup>15)</sup> und damit über diesen Weg auch schon seit Jahrzehnten Praxisinformationen in Fülle vorliegen. Ferner finden sich in den WHO Guidelines<sup>13)</sup> oder in White's Handbook<sup>10)</sup> ebenfalls umfangreiche Informationen zu Brom als Desinfektionsmittel bzw. zu der Kombination Chlor und Brom bzw. Ozon und Brom im Rahmen der Schwimmbadwasseraufbereitung. Allgemein wird in diesen Literaturquellen beschrieben, dass beim Vorhandensein von Bromidionen durch Oxidationsreaktionen mit Ozon oder Chlor stets hypobromige Säure bzw. Hypobromit als wirksames Desinfektionsmittel gebildet wird.

Bestehende Bäder können problemlos auf diese Verfahrenskombination umgestellt werden, wenn eine Ozonstufe vorhanden ist oder nachgerüstet wird. Die bestehende Messtechnik kann uneingeschränkt weiter verwendet werden. Der Abbau von Restozon erfolgt dabei vollständig durch die Oxidation des Bromids zur Erzeugung des Desinfektionsmittels und nicht durch einen Aktivkohlefilter. Aufgrund der Tatsache, dass das Desinfektionsmittel vor der Filterstufe erzeugt wird und der Filter kontinuierlich mit Desinfektionsmittel durchströmt wird, kann es verfahrensbedingt zu keinen Filterverkeimungen kommen.

Das Ozon-Brom-Verfahren zeichnet sich aus durch

- leistungsstarke Wasseraufbereitung durch integrierte Ozonstufe zur Oxidation und Desinfektion,

Anzeige

**Flamingo**  
Company Group

Erfahrung & Kompetenz seit über 40 Jahren.

Wasseraufbereitung	Filterhilfsmittel
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Schwimmbad</li> <li>· Sauna &amp; Dampfbad</li> <li>· Teiche &amp; Natur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kieselgur</li> <li>· Perlite</li> <li>· Bleicherde</li> </ul>

www.flamingo-group.de

- angenehmes, geruchsarmes und optisch einwandfreies Schwimmbeckenwasser mit hoher Desinfektionskraft für alle Arten von Bädern – insbesondere stark belastete Bäder,
- besondere Eignung für Personen mit sensibler Haut, angenehme Wasserqualität,
- Desinfektionsmittelproduktion im Aufbereitungskreislauf durch Ozon aus Bromid sowie
- geringen Chemikalienverbrauch, geringe Betriebskosten und leichte Bedienbarkeit.

### Literatur/Anmerkungen

- 1) Jentsch, F.: Brom, Jod und Wasserstoffperoxid als Desinfektionsmittel (AB Archiv des Badewesens 32, 254 - 257, 1979)
- 2) Havemeister, G., und Jentsch, F.: Ozon-Aktivkohle-Behandlung von Schwimmbad-Meerwasser (Archiv für Hygiene und Bakteriologie 154, 447 - 461, 1971)
- 3) Song, R., et al.: Empirical modeling of bromate formation during ozonation of bromide-containing waters (Water Research, Vol. 30, Issue 5, 1161 - 1168, 1996)
- 4) Hoigné, J.: Verhalten anorganischer Ionen und Desinfektionsmittel bei Ozonungsprozessen (EAWAG – Ozon-Symposium Wasser-Berlin, 1985)
- 5) Haag, W. R., Hoigné, J., und Bader, H.: Improved ammonia oxidation by ozone in the presence of bromide ion during water treatment (Water research 18, 1125 - 1128, 1984)
- 6) Sachse, B.: Photokatalytische Oxidation zur Entfernung von Trihalomethanen und Chloraminen aus Schwimmbadwässern (Abschlussbericht Max-Buchner-Forschungstiftung, 2009)
- 7) Johannesson, J. K.: The Bromination of Swimming Pools (Vol. 50, No. 11, American Journal of Public Health, 1960)
- 8) Jentsch, F.: Redoxpotential-Messung in Meerwasser-Schwimmbädern (AB Archiv des Badewesens, 26, 212 - 218, 1973)
- 9) Jentsch, F.: Redoxpotential und Keimtötung in gechlortem Meerwasser (Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 157, 304 - 312, 1973)
- 10) White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, Black & Veatch, 5th Edition (2010)
- 11) Hydro-Elektrik GmbH: Ergebniszusammenfassung der Praxistests zum Ozon-Brom-Verfahren (2013)
- 12) Hoffmann, M.: Ozon-Verfahren mit kurzer Reaktionszeit (AB Archiv des Badewesens, 65, 37 - 42, 2012)
- 13) WHO, Guidelines for safe recreational water environments, Vol. 2: Swimming pools and similar Environments (2006)
- 14) Stottmeister, E.: Trichloramin im Schwimm- und Badebeckenwasser (Präsentation bei einer Fortbildungsveranstaltung, 2008)
- 15) Jentsch, F.: Meerwässer und ihre Salzgehalte (Seminar Meerwässer und ihre Salzgehalte, Jentsch-Seminar in Nürnberg, 2011)

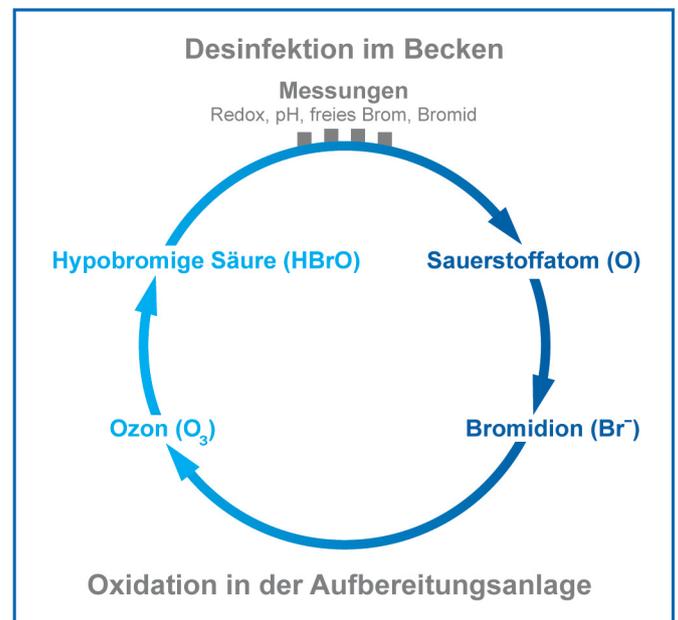


## Wohlfühlwasser durch Ozon-Brom-Verfahren



### Einmal Wohlfühlwasser - immer Wohlfühlwasser

- angenehmes und hautverträgliches Wasser
- hohe Desinfektionskraft und minimierter Chemikalienverbrauch
- wirtschaftlich durch geringe Betriebskosten
- HYDROZON®-Anlagentechnik für optimalen Betrieb



Schwimmbad-ohne-Chlor.info

