

Bestimmung von Bromat und dessen Bewertung bei der oxidativen Spurenstoffelimination

Prof. Dr. Jochen Türk, Simon Schastok, Damian Schomers, Andrea Börgers, Kevin Fabián Guerrero Granados, Eike Liese, Dr. Johannes Spenner, Dr. Christoph Härtel, Dr. Christine Kube

04.03.2026 // 59. Essener Tagung

tuerk.jochen@kl-rv-eglv.de

Kommunalabwasserrichtlinie (KARL)

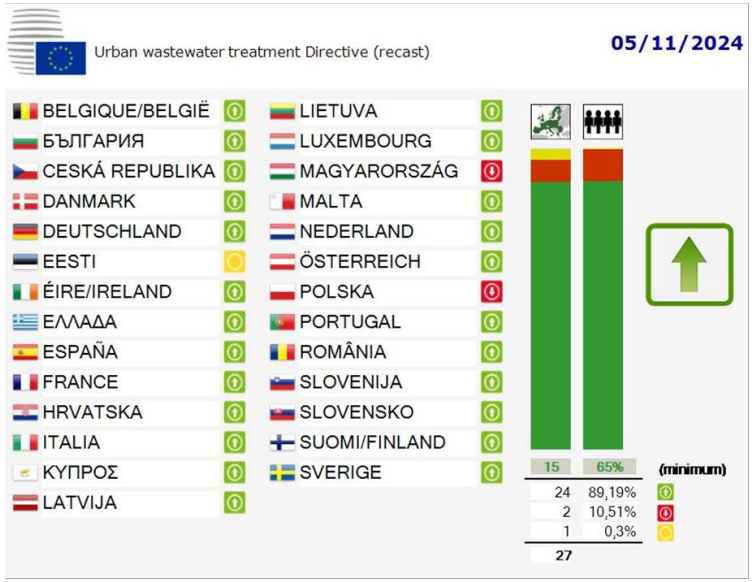
Fortschreibung des Standes der Technik (Mindestanforderungen)



Bild. DWA

Anpassung der RL an Stand der Technik

- In Kraft getreten am 1. Januar 2025
- Nationale Umsetzung bis 31.07.2027
- Umsetzung EPR bis 31.12.2028
- Komplexe Umsetzung (BMU, BMG, EU-Rechtsakte)



Wesentliche neue Herausforderungen

- Nährstoffelimination
- **Spurenstoffelimination**
- Mischwassermanagement
- Energie- und Klimaneutralität
- Abwassersurveillance – systematische Überwachung von Abwasser auf Infektionserreger



KA Bad Sassendorf (2009)

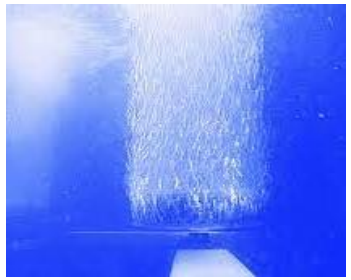


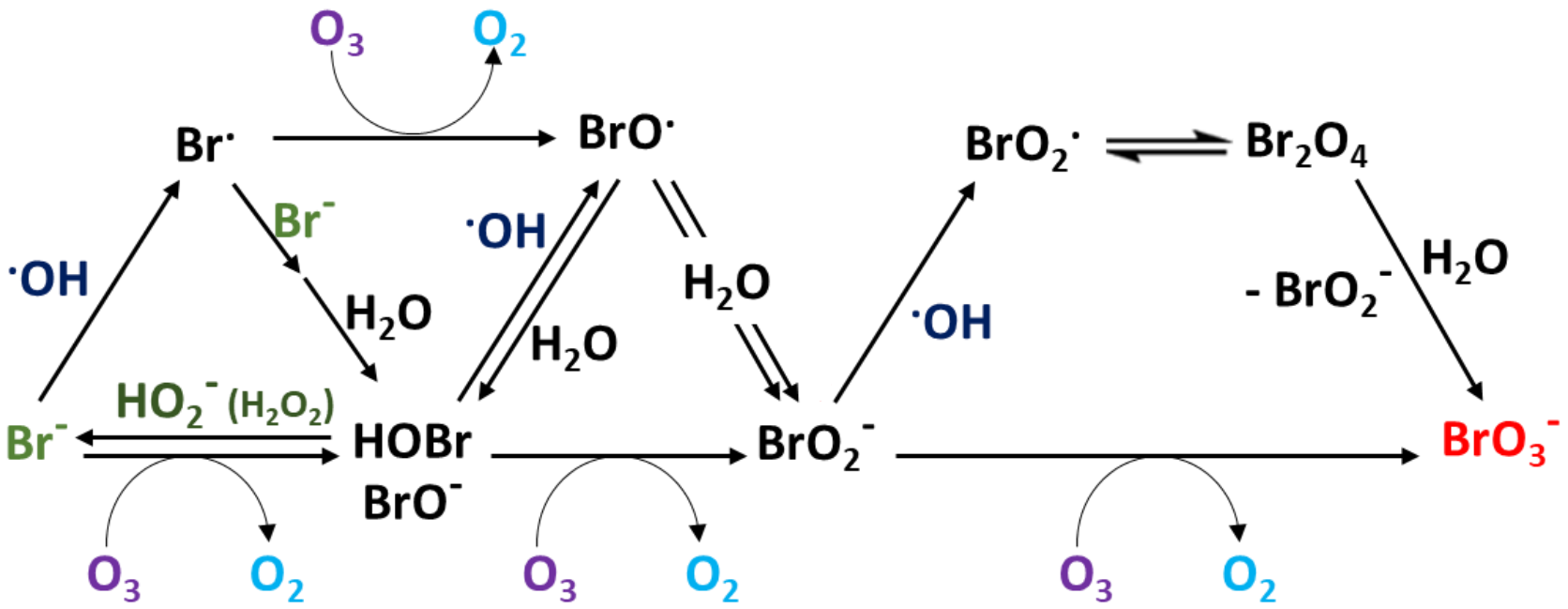
KA Brilon (2024)


KA Duisburg-Vierlinden (2011)


KA Dortmund-Deusen (2025)

Bromatbildung bei der Ozonung





NOM = Natural Organic Matter

(according to Fischbacher, et al. (2015) and Von Gunten (2013))

Bewertungsgrundlage für Bromat



Trinkwasseraufbereitung: direkte Korrelation von Bromid- und Ozonkonzentration

- ab 50 µg/L Br^- muss die Bromatbildung beachtet werden
- Trinkwassergrenzwert (WHO, EU, D): 10 µg/L BrO_3^-
- Vorsorgeorientierter Zielwert (NL): 1 µg/L BrO_3^-

Abwasserbehandlung: keine direkte Korrelation zwischen BrO_3^- und O_3

- Bezug auf spezifische Ozonkonzentration (z_{spez} in mg_{DOC}/mg_{O3})
- ab 150 µg/L Br^- ist eine detailliertere Betrachtung der Bromatbildung notwendig
- kein Abwassergrenzwert

Oberflächengewässer

- Umweltqualitätsnorm: 50 µg/L BrO_3^-

Analytik von Bromat







Trinkwassermethode nach DIN EN ISO 15061 ist für Abwasser ungeeignet

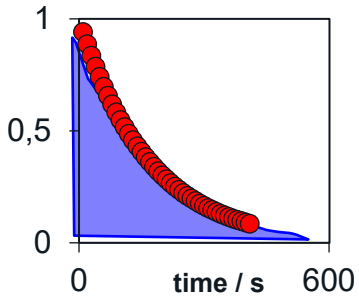
– Höheres Injektionsvolumen (1000 µL) und Abtrennung störenden Ionen (Na^+, Ca^+, SO_4^-, Cl^-) mittels OnGuard™ II Ba/Ag/H Kartuschen notwendig

Entwicklung von weiteren Analyseverfahren für gereinigtes Abwasser

	IC-LF	LC-ESI-MS/MS	LC-ICP-MS	IC-ICP-MS
NWG (µg L^{-1})	0,28	0,13	0,14	0,13
BG (µg L^{-1})	0,94	0,44	0,47	0,40
Arbeitsbereich (µg L^{-1})	2(5) – 20	0,9 - 90	1 - 100	1 - 100
Robustheit (SD, n= 10)	gering 10%	gut 4,9%	Sehr gut 6,1%	Sehr gut 3,4%
Bemerkung	nur BrO_3^-, Matrixstörungen	Br^- & BrO_3^-, Matrixstörungen	Br^- & BrO_3^-	Br^- & BrO_3^-

Verfahrensevaluierung der Ozonung

Laborexperimente



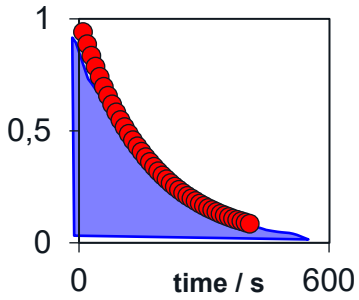


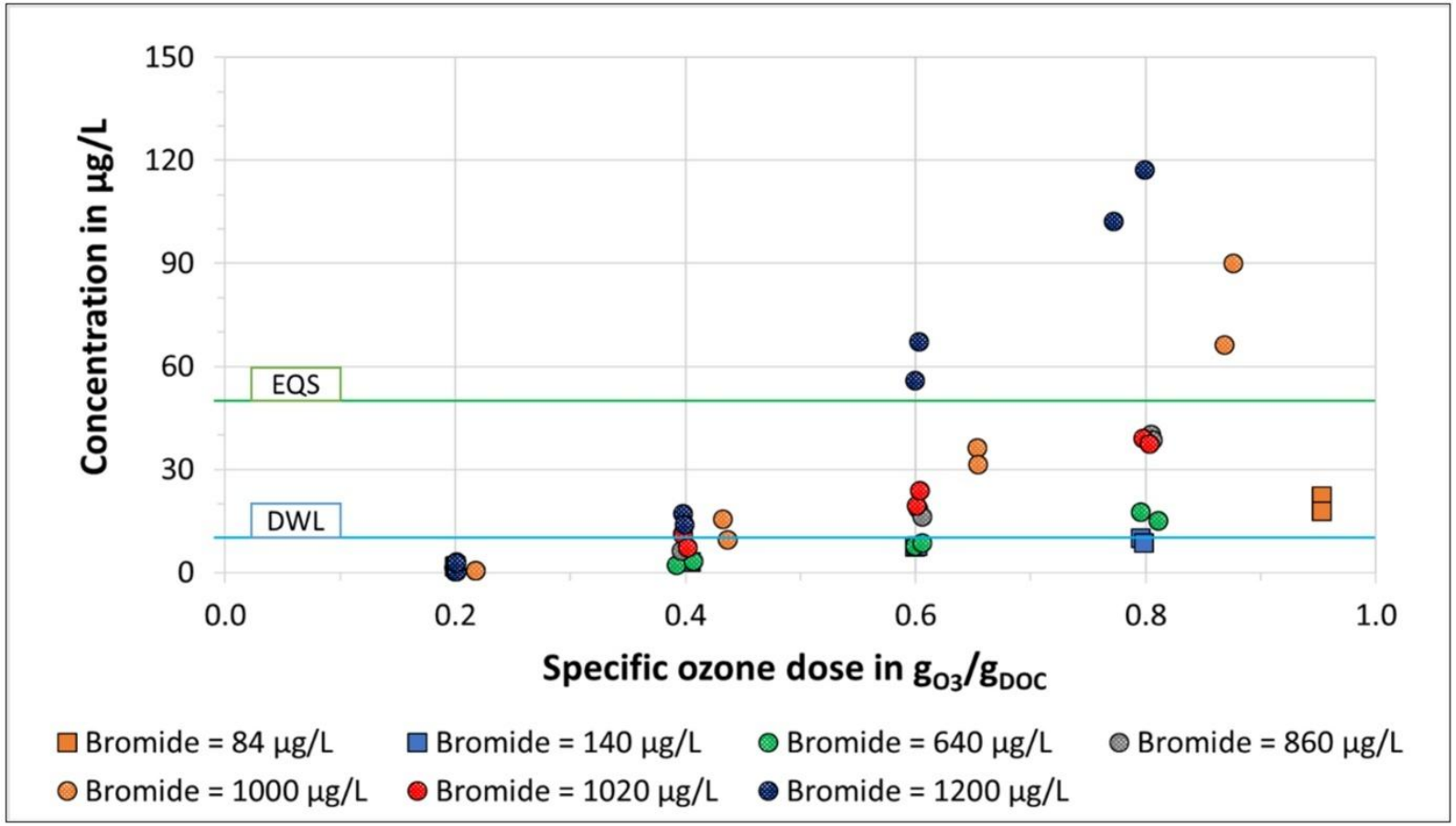


- Ozonzehrungsversuche
- **Bromatbildungspotential** (häufig überschätzt!), Bildung weiterer Transformationsprodukte
- Spurenstoffelimination
- (Öko-)toxikologische Voruntersuchungen (Genotoxizität!)

Bromatbildung (Laborexperimente)

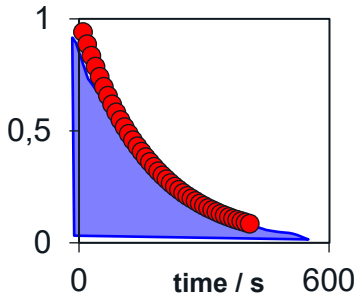
Reale und dotiere Abwässer der KA Duisburg-Vierlinden

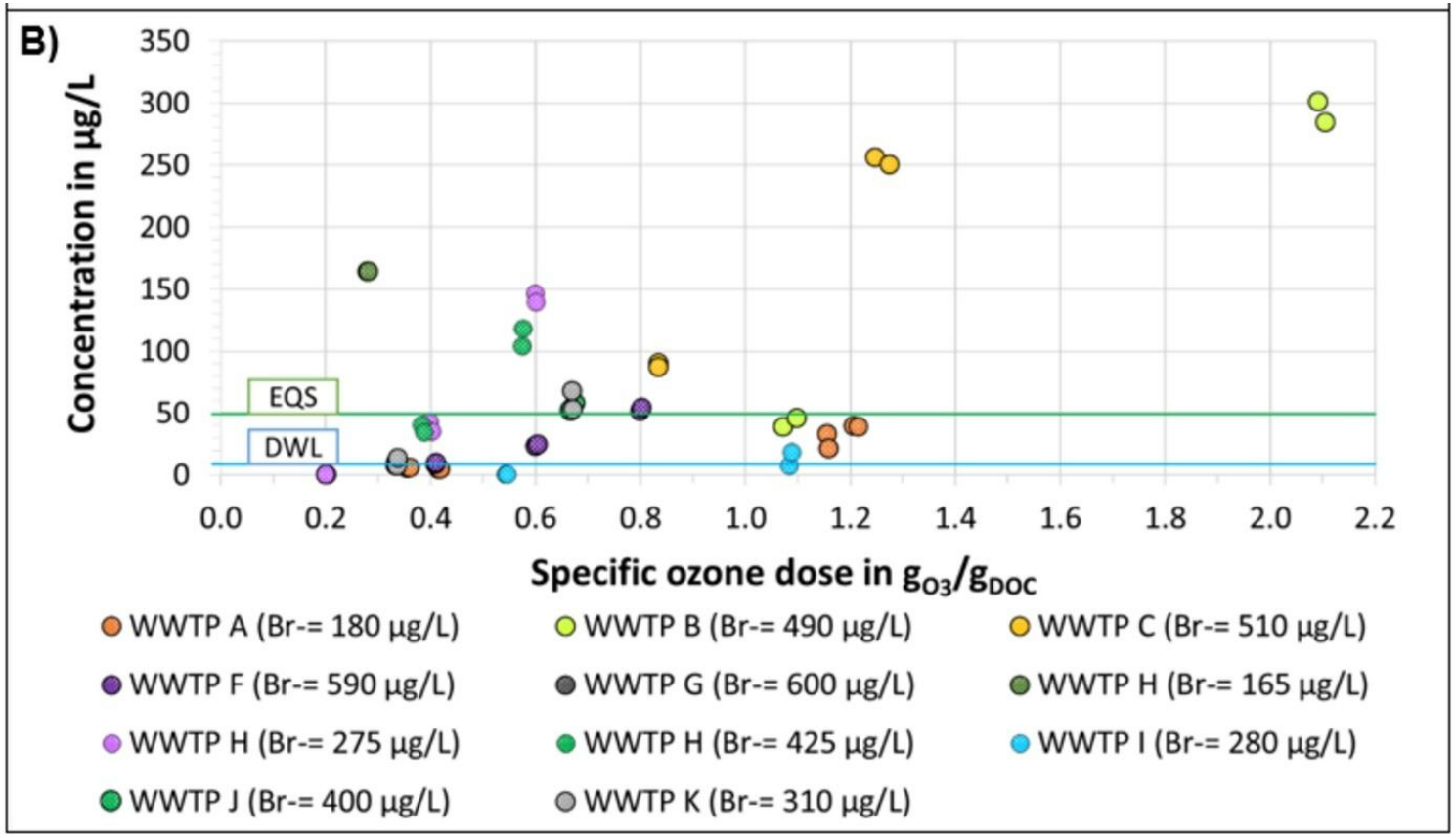




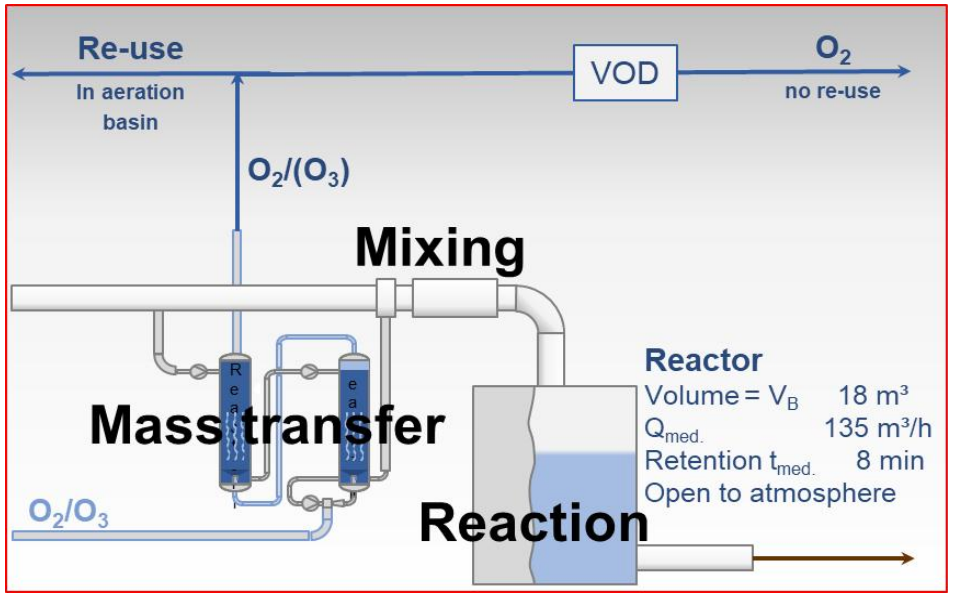
Bromatbildung (Laborexperimente)

Verschiedene Kläranlagen





Vergleich Ozonung mit Ozonstarkwasser (QSW)





WWTP of Duisburg- Vierlinden,
Wirtschaftsbetriebe Duisburg – AöR Germany

OSW line

Standard technology line

OZONE: SCIENCE & ENGINEERING
https://doi.org/10.1080/01919512.2024.2336973

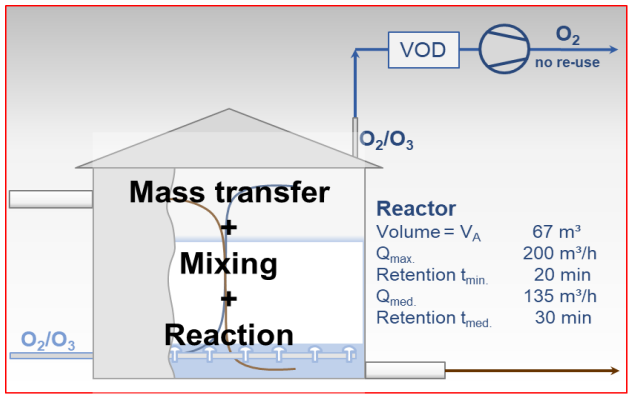
Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

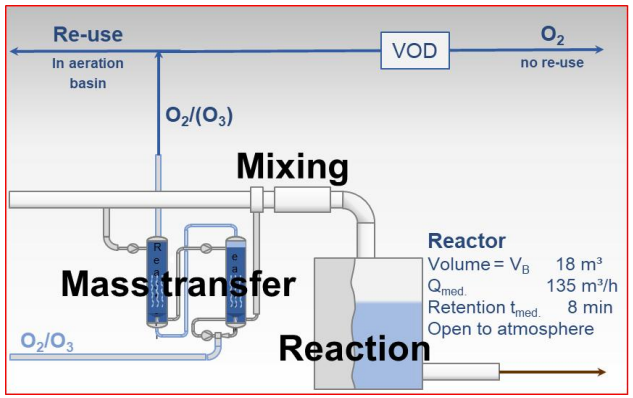
OPEN ACCESS Check for updates

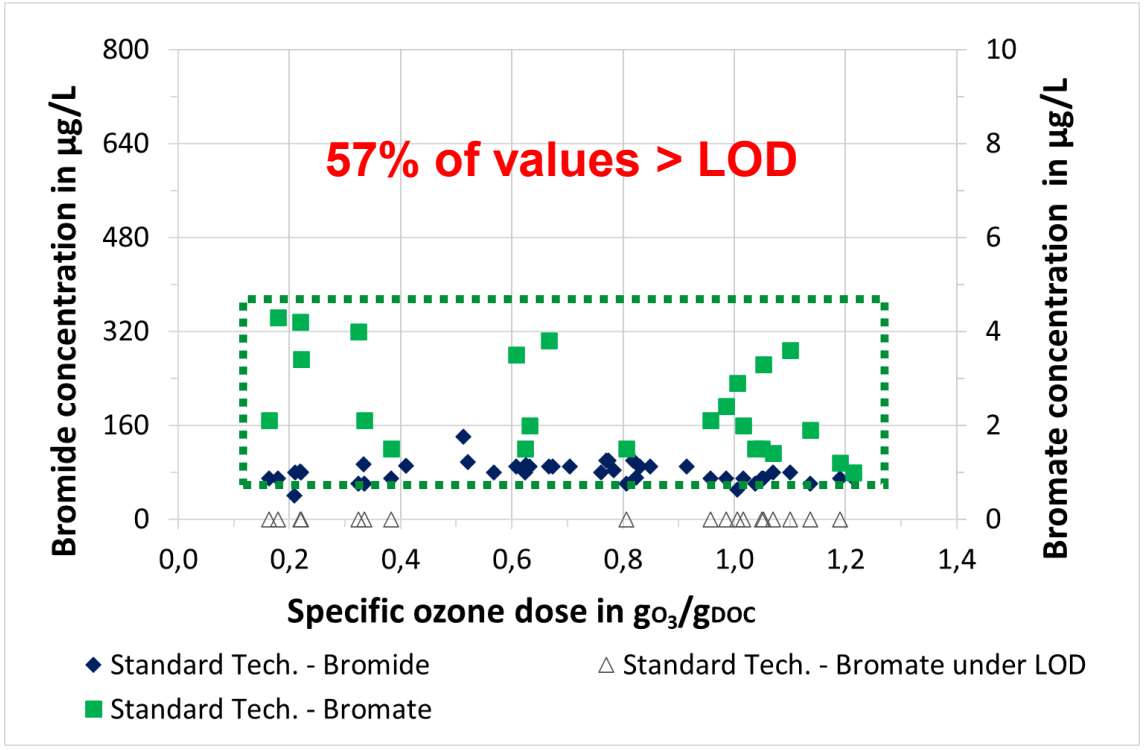
Ozone Strong Water Dosing as Optimized Ozonation Process for Micropollutants Reduction in Wastewater Treatment Plants

K. F. Guerrero-Granados [a,b], Jan Mante [c], Midhun Joy [d], Markus Meier [e], Andrea Boergers [a], Stefan Panglisch [b,f], and Jochen Tuerk [a,f]

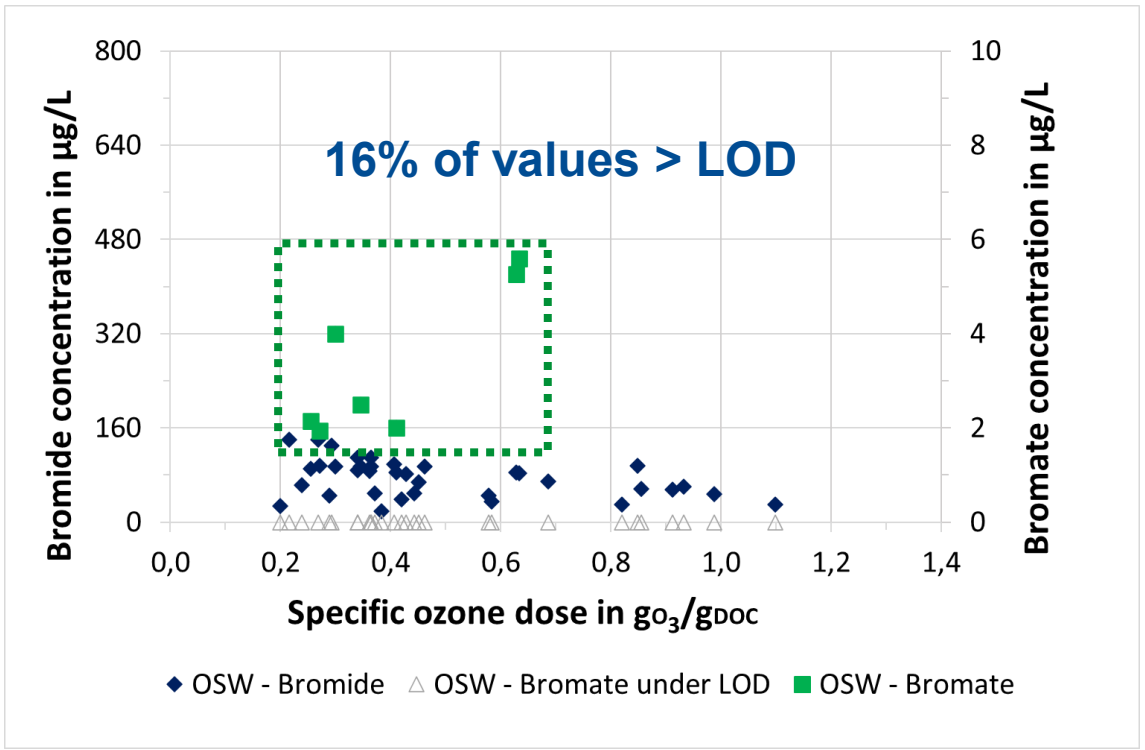
Bromatbildung: Standardozonung vs. OSW







>



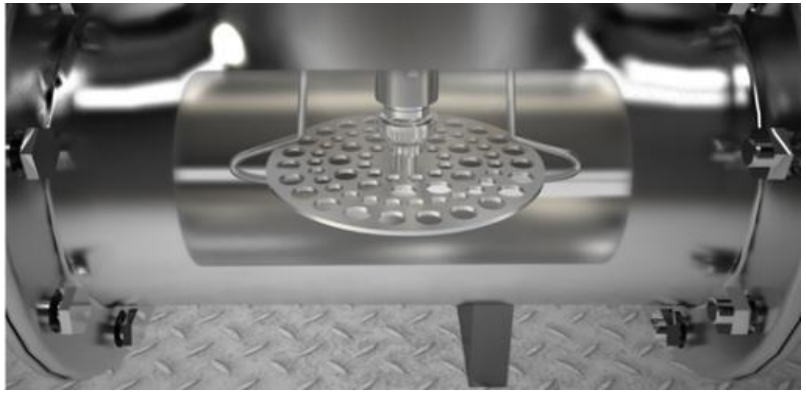
USONiQ-Ozonung (Kläranlage Hamminkeln)



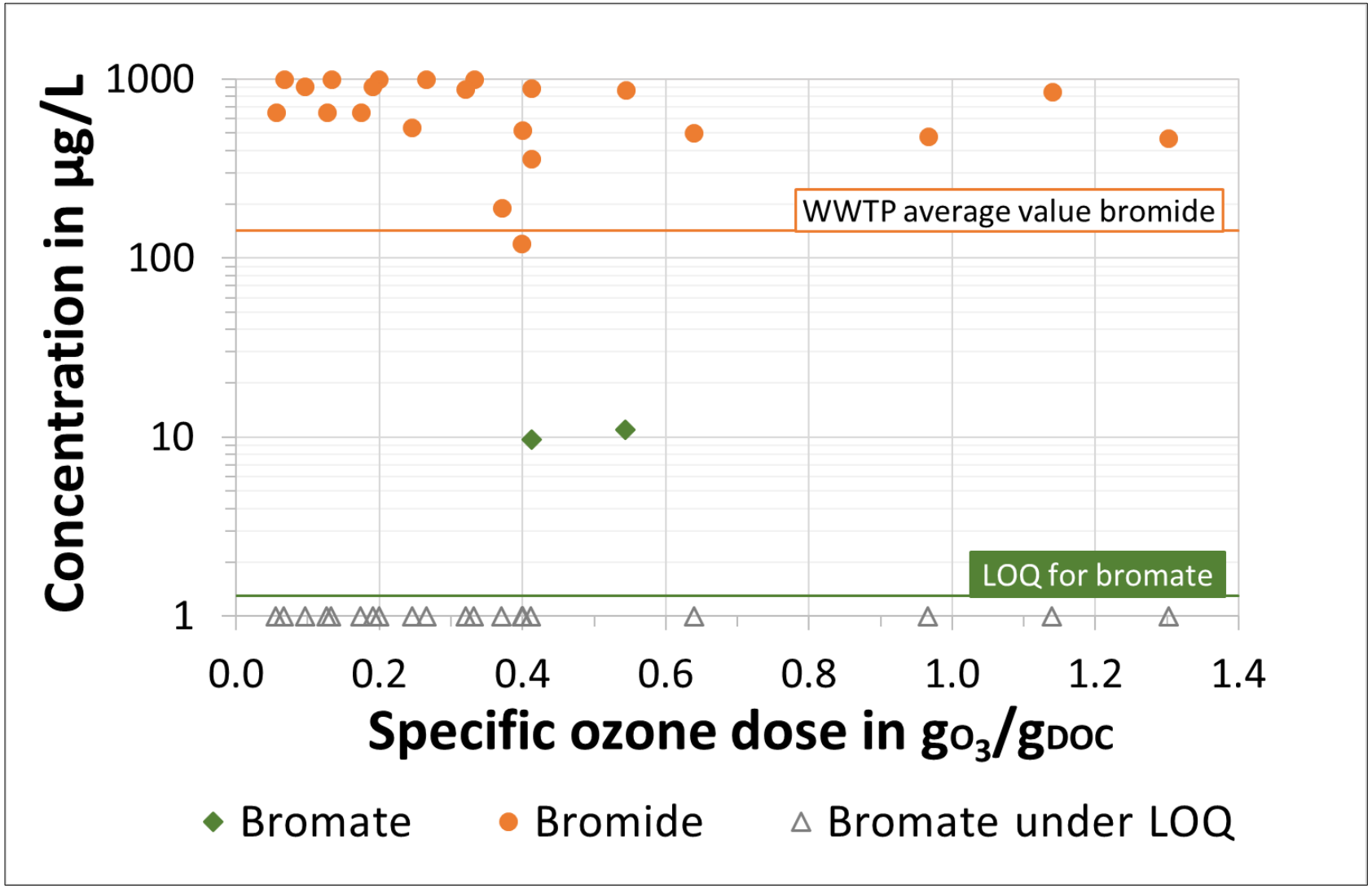








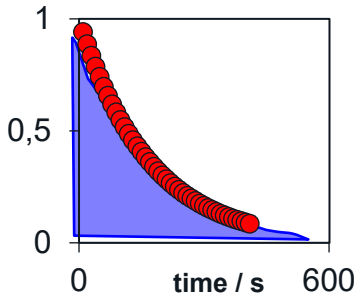
Bromatbildung: USONiQ - Ozonung

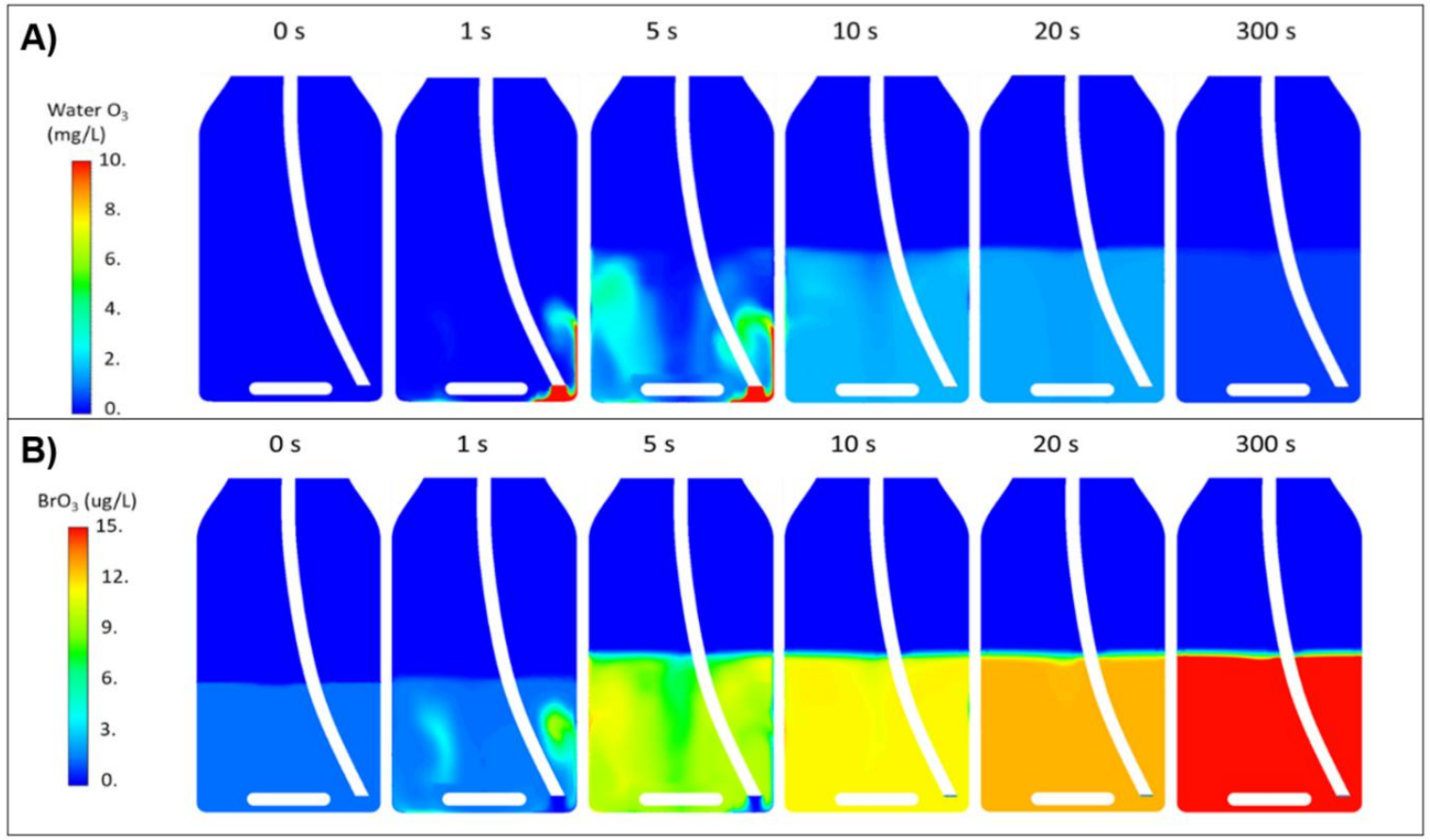


Guerrero et al. (2025b) Performance evaluation of the USONiQ ozonation as advanced wastewater treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering, 13 (5), 117440.

CFD – Simulation der Bromatbildung

Laborexperimente





CFD-Simulation für Ozonreaktor KA Bottrop

zur Planungsunterstützung & Kammeranpassung vor dem Bau

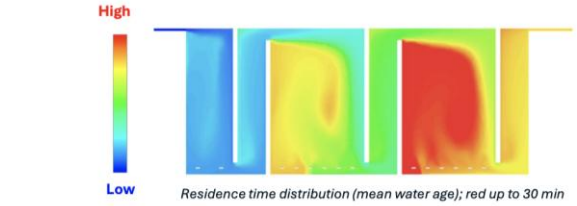
EGLV



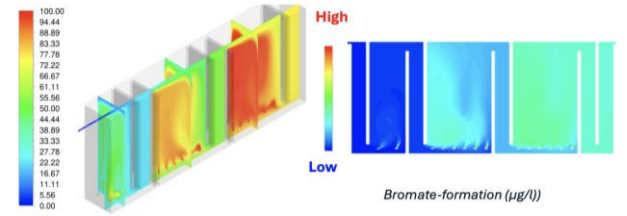
AM Team
Hydro Ingenieure
IWW
IWW Zentrum Wasser

Computational **F**luid **D**ynamics-Berechnungen und Visualisierung zur Optimierung

- des Ozoneintrags
- Verweilzeit(verteilung) des Wassers für besser kontrollierbare Reaktions-pfade
- der Abmaße der Kammern, Öffnungen & Abrundungen / Vouten
- der Kosten für den Bau der Groß-technik

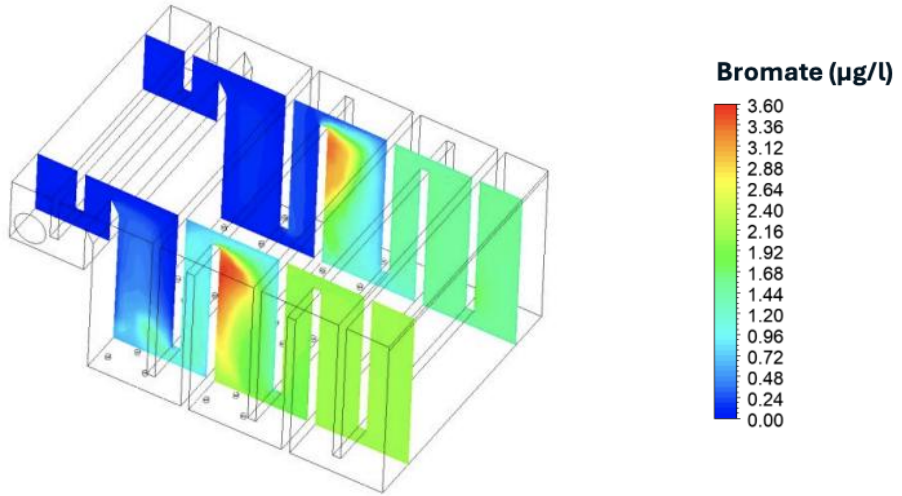


Residence time distribution (mean water age); red up to 30 min



Removal of micropollutant (%-removal)

Bromate-formation (µg/l))



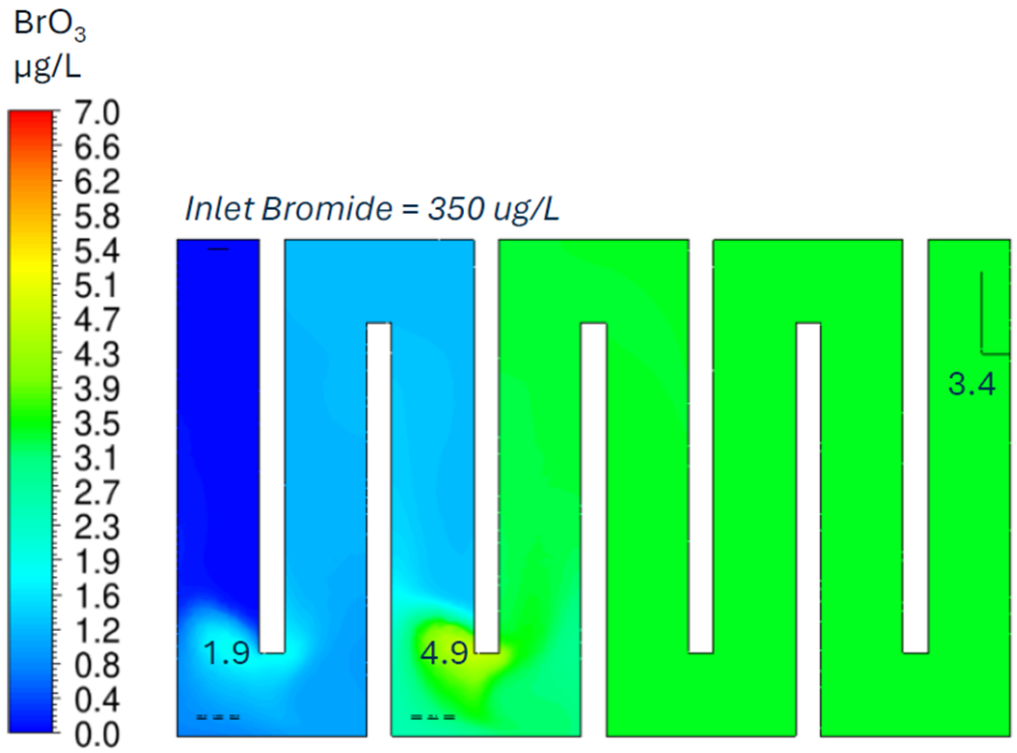
CFD-Simulation der Bromatbildung

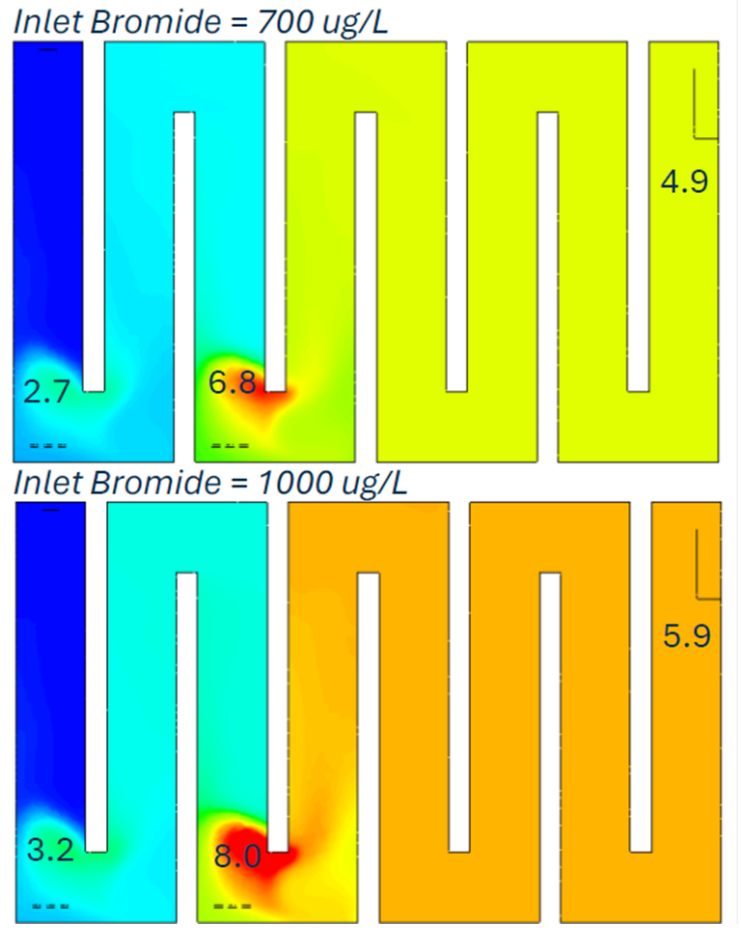
durch AM Team

- Q_{wasser} = 150 m³/h
- Q_{gas} = 5,5 Nm³/h



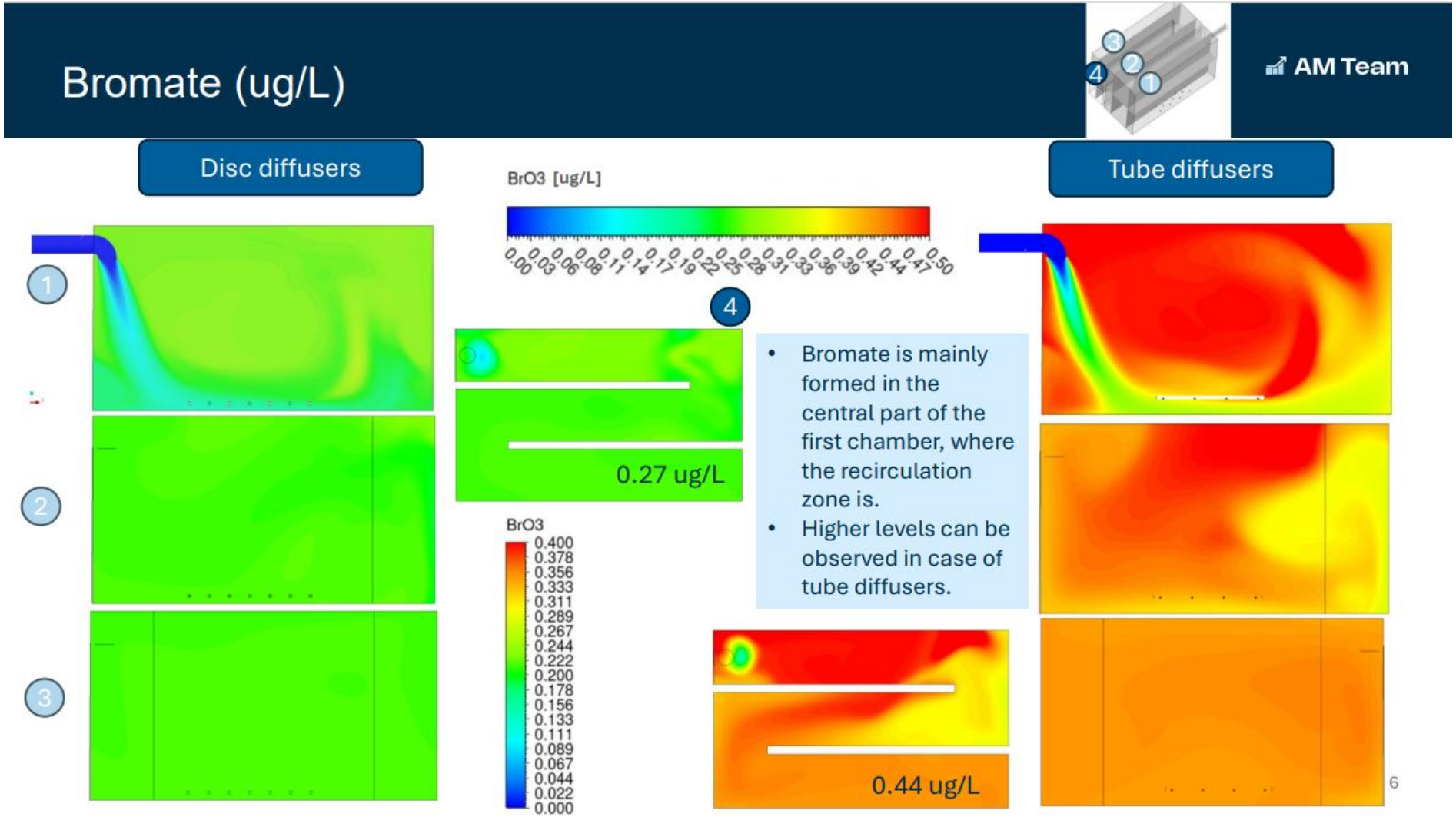
AM Team
Hydro Ingenieure
IWW
IWW Zentrum Wasser



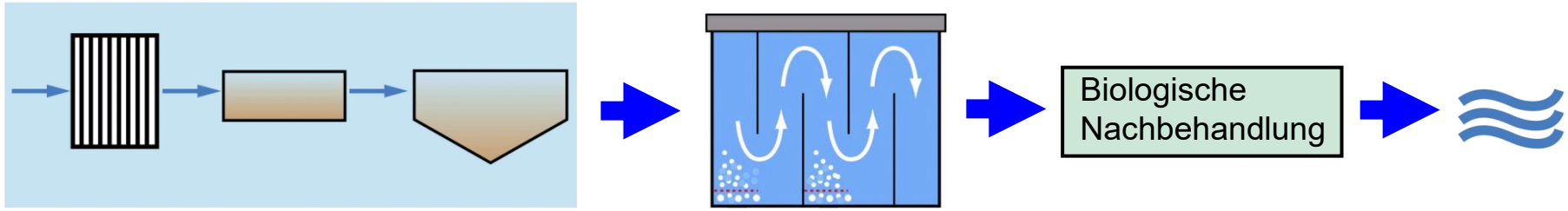


CFD - Simulation der Bromatbildung für die KA Hemer

Optimierung des Reaktordesigns und Ozoneintragsystems



Fazit



- **Erfolgreiche Entwicklung von geeigneten Analyseverfahren für Bromat**
  - LC-ICP-MS und IC-ICP-MS
  - Vortrag zu Bromat in Abwasser (Do, 1. Session Frau Wilke, ISA)
- **Bromat muss bei der Abwasserozonung und in Voruntersuchungen betrachtet werden**
  - Laborexperimente und CFD-Simulation
  - ggf. Pilotierung wie bei den Kläranlagen Duisburg-Vierlinden, Hammnkeln und Bottrop
  - Geringere Bromatbildung bei Ozonstarkwasser, und USONiQ-Ozonung
- **Bisher existieren keine Grenzwerte für Abwasser**
  - Zielwerte für den Ruhrverband: < 10 µg/L BrO_3^- wg. Trinkwassergewinnung aus der Ruhr
  - Lippeverband: Betrachtung des Vorfluters und Anwendung der Umweltqualitätsnorm von 50 µg/L BrO_3^-
  - Emschergenossenschaft: Anwendung der Umweltqualitätsnorm von 50 µg/L BrO_3^-
- **Weitergehende Untersuchungen**
  - Spurenstoffelimination, Bildung von Transformationsprodukten (Nitrosamine, LC-HRMS)
  - (Öko-)toxikologischen Wirkungen

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit,
den **Projektpartnern** und last but not least den **Fördermittelgebern**

Ruhrverband
WISSEN, WERTE, WASSER

EGLV
Emschergenossenschaft
Lippeverband

VERFAHRENSTECHNIK WASSERTECHNIK

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken

Air Liquide

USONQ™

ZWU
ZENTRUM FÜR WASSER- UND UMWELTFORSCHUNG

iuta
forschen.
vernetzen.
anwenden.

Bezirksregierung Münster

Wirtschaftsbetriebe DUISBURG

STADT HAMMINKELN

AM Team

Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

Hydro Ingenieure

LANUK
Kompetenz für ein lebenswertes Land

Gefördert durch das Stipendienprogramm der
DBU
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
www.dbu.de

IWW
IWW Zentrum Wasser

tuerk.jochen@kl-rv-eglv.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

tuerk.jochen@kl-rv-eglv.de