

# CFD zur optimierten Auslegung von Ozonsystemen in Trink- und Abwasser

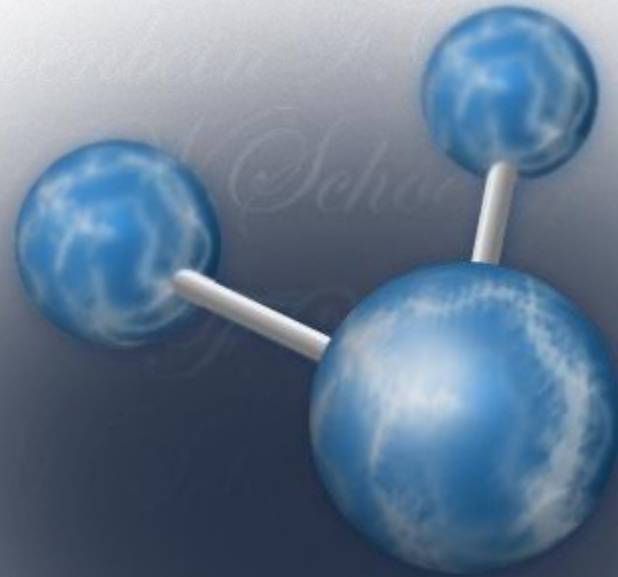
**Wiebke Rand**  
Application Management Ozone

**IWW-Innovationstag 2. Juli 2014**



# Die lange Geschichte des Ozons

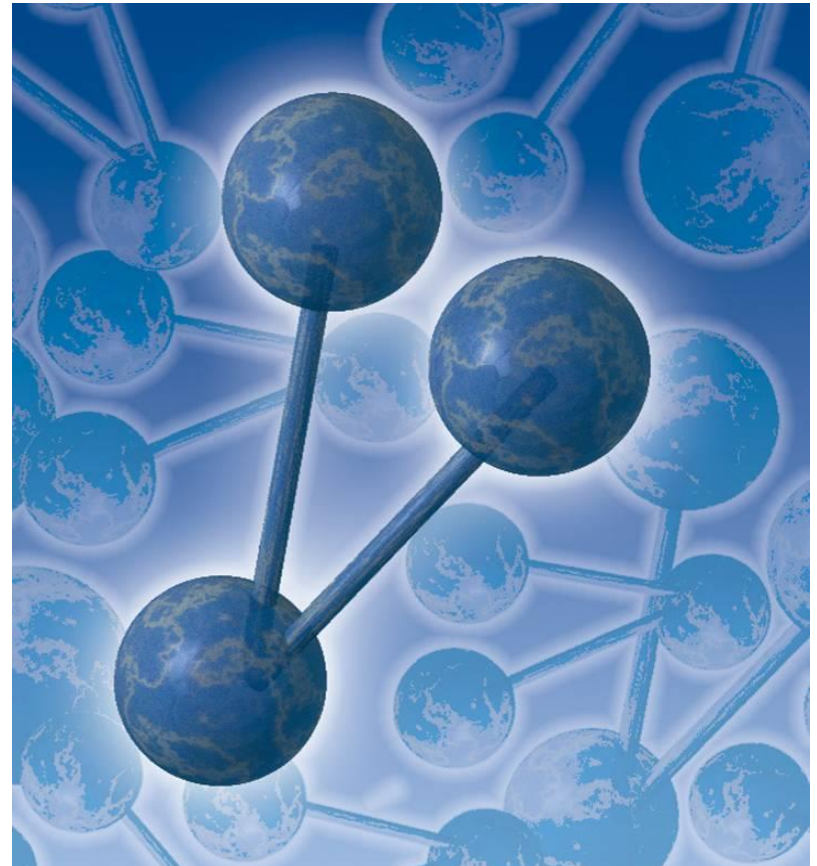
- 1840er: Entdeckung durch Schoenbein
- 1850er: Erfindung des ersten Ozongenerators
- 1890-1900: erste großtechnische Installation zur Trinkwasserdesinfektion in Europa
- Bis 1914: > 50 Installationen für Trinkwasser weltweit
- Heute: Anerkennung als bewährte Technik für Oxidation + Desinfektion von Trinkwasser, Abwasser, industriellem Wasser/Abwasser/Gas
- Ausblick:
  - Steigerung der Ozonkonzentrationen
  - Reduzierung Energieeinsatz
  - Optimierung des Gesamtsystems



**Nutzung von Ozon in der Wasserbehandlung seit über 100 Jahren!!**

# Anwendungen von Ozon

- Desinfektion (Trinkwasser)
- CSB-Reduktion im Abwasser
- Reduktion toxischer Substanzen:  
Phenole, Pestizide,  
Arzneimittelrückstände
- Entfärbung
- Bleiche von Zellstoff und Kaolin
- Abbau von Biofilmen
- Luftreinigung:  
Reduzierung von  $\text{NO}_x$  und  
Schwefelverbindungen



# Problematik „Eintragssystem“

Ozon ist GASFÖRMIG!



Die Reaktion soll mit Bestandteilen des Wassers stattfinden!

→ NUR GELÖSTES OZON STEHT DER REAKTION ZUR VERFÜGUNG!

→ NICHT GELÖSTES OZON IST VERSCHWENDETES OZON!!

→ OZONVERLUSTE KRITISCH HINSICHTLICH  
- BEHANDLUNGSERFOLG  
- ENERGIEEFFIZIENZ

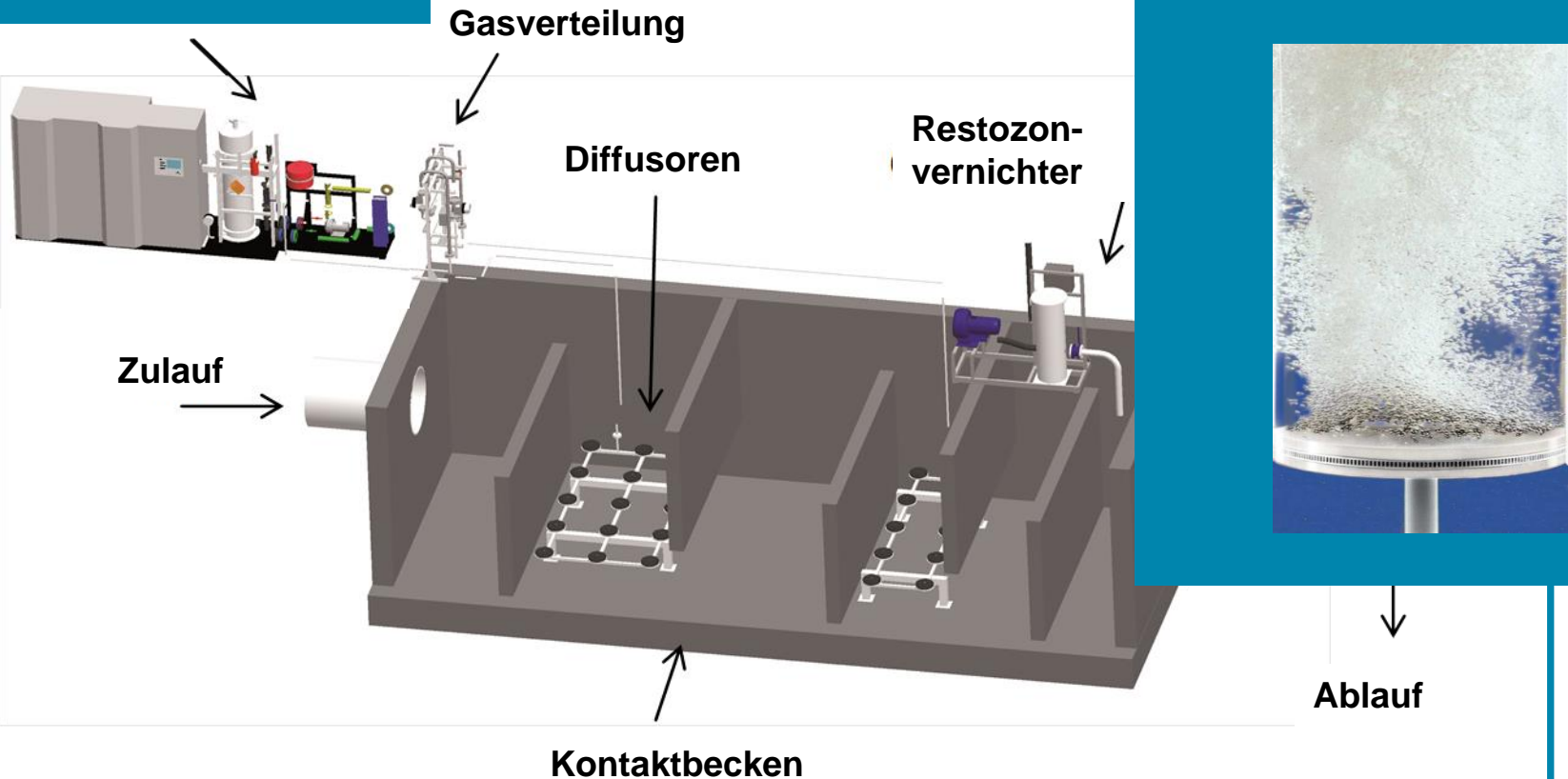


→ DESIGN EINTRAGSSYSTEM IST ELEMENTAR WICHTIG!

# Design Eintragssystem

**Ozon-Dosis**  
(ggf. Versuche)

**Diffusor**  
(+ Betriebspunkt)



**GEOMETRIE des Kontaktbecken**

# Problematik „Eintragssystem“

## Unpassendes Design führt zu

- **Unvorteilhafter Hydraulik**
- **Schlechter Einmischung**
- **Schlechter Übergang von Gas auf Wasser / Schlechte Eintragseffizienz**
  - Ozonverlust über Offgas
  - Reduzierung der wirksamen Dosis

→ reduziertes  
Behandlungsziel

→ Energetische  
**INEFFIZIENZ**

**Integrierte Betrachtung für einen effizienten +  
zuverlässigen Prozess!!**

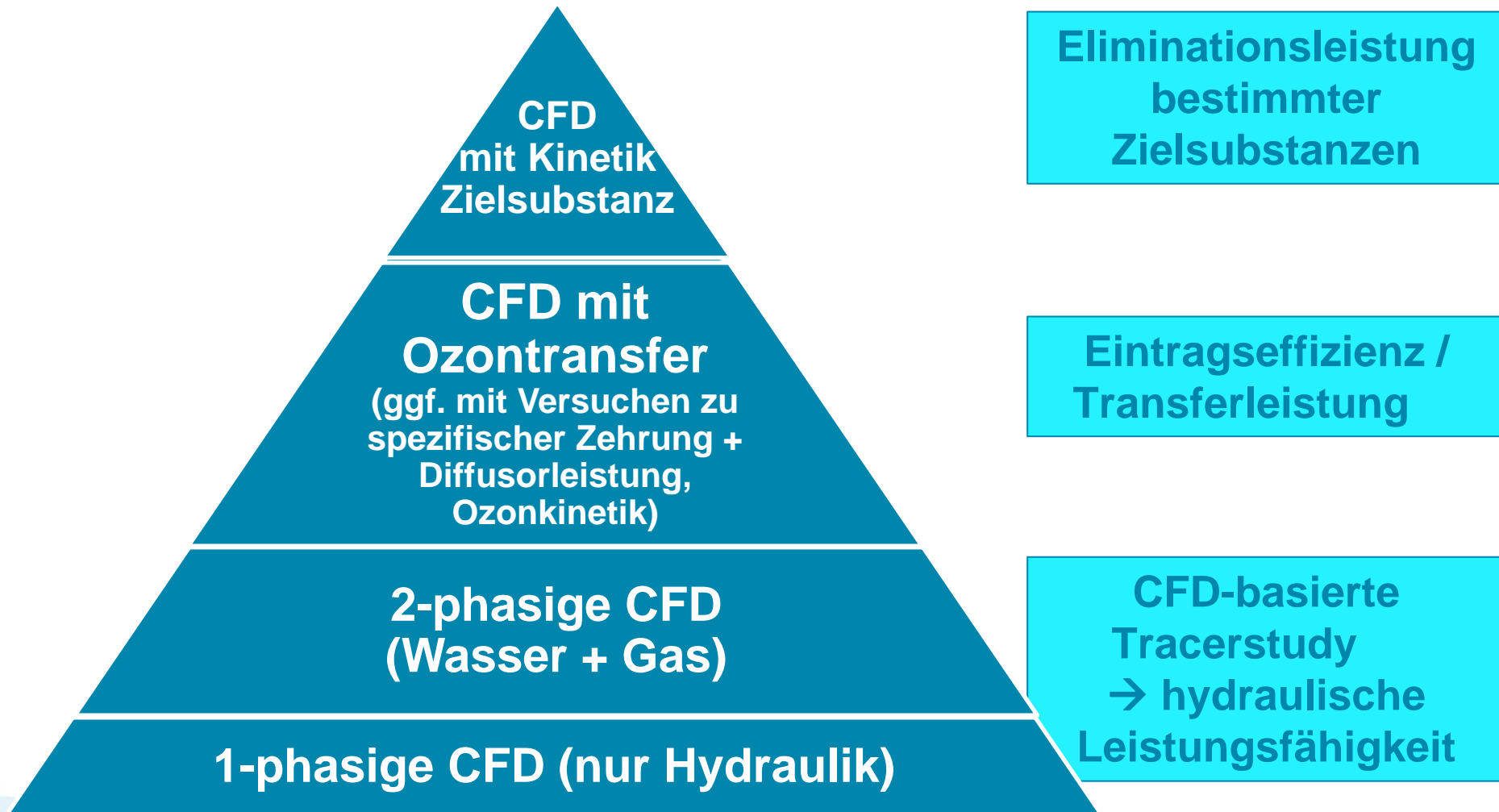


# Anwendungsfälle von CFD-Simulationen

1. **Retrofit / Upgrade bereits bestehender Anlagen mit Betriebsproblemen oder erweiterten Anforderungen:**
  - nicht erreichte Behandlungsziele
  - nicht zufrieden stellende Eintragseffizienz
  - Erhöhung der Durchflüsse (über ehem. Design hinaus)
  - veränderte Behandlungsziele
2. **Neubau Ozonung unter Nutzung bestehender Becken**
3. **Kompletter Neubau eines Kontaktbeckens**
4. **Eintragseffizienz  
(ggf. problematische Wässer + hohe Dosen)**

# CFD als Werkzeug

→ Effizienzsteigerung des Gesamtprozesses





# Beispiele für CFD

# Tracerstudy Trinkwasser

→ **hydraulische Leistungsfähigkeit**

# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser

Status  
quo

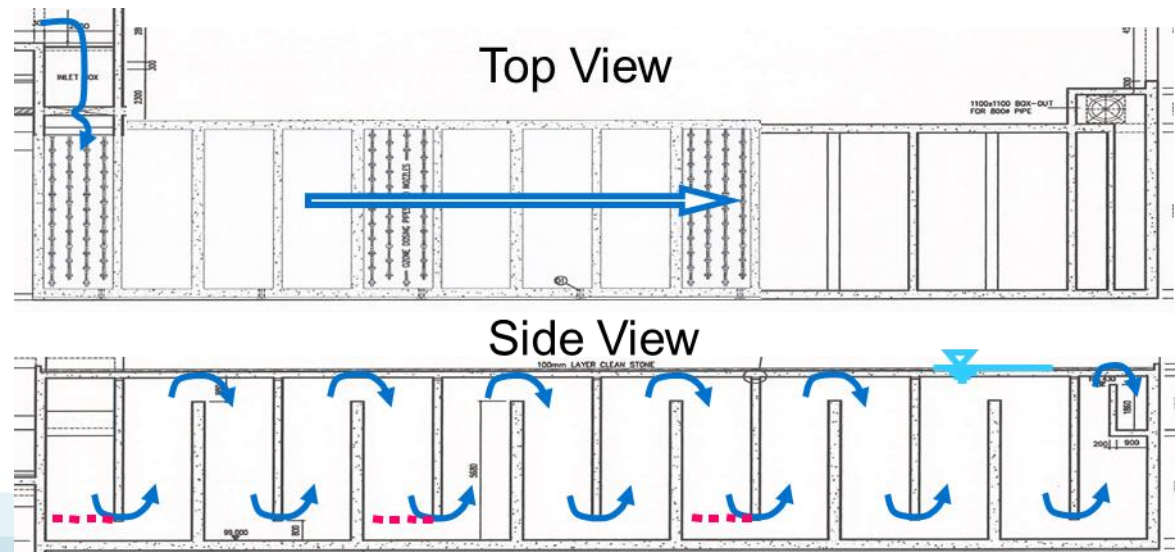
Anwendung: Trinkwasser, Oberflächenwasser,  $Q=5208 \text{ m}^3/\text{h}$   
Eintragungssystem: Kontakttank mit Diffusoren  
Wassertiefe 6,5m

## Problemstellung:

- Hohe einzutragende Dosen (ca.  $12 \text{ mg/L}$ ) + resultierende Gasmengen
  - sehr hohe Flächenbelegung mit Diffusoren
  - Design + Betriebspunkt der Diffusoren → schlechte Eintragungseffizienz
- bestehendes Design des Kontaktbeckens ungünstig
- Weitere Optimierung der (bereits guten) Aufenthaltszeiten im Becken

## Vorgehen:

- Bearbeitung mit CFD



# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser

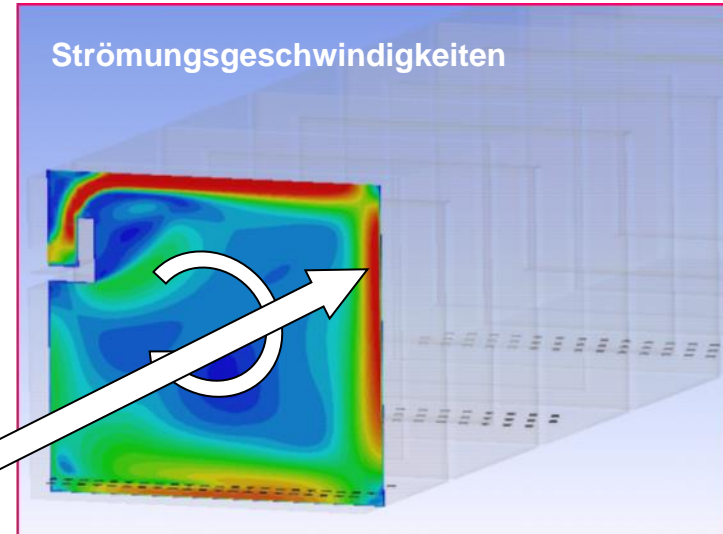
Status quo

Anwendung:

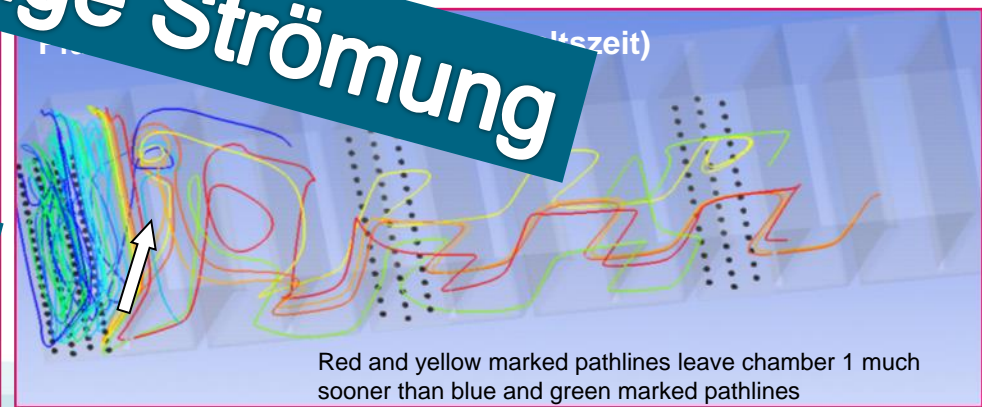
Trinkwasser

Eintragungssystem:

Kontakttank mit Diffusoren  
Wassertiefe 6,5m



**Ungleichmäßige Strömung**



Red and yellow marked pathlines leave chamber 1 much sooner than blue and green marked pathlines

Pathlines of particle tracking. Limited to 5000 steps. Colored by internal particle-ID

# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser

Status quo

Beckenvolumen = 1394,25 m<sup>3</sup>

Wassermenge = 5208 m<sup>3</sup>/h

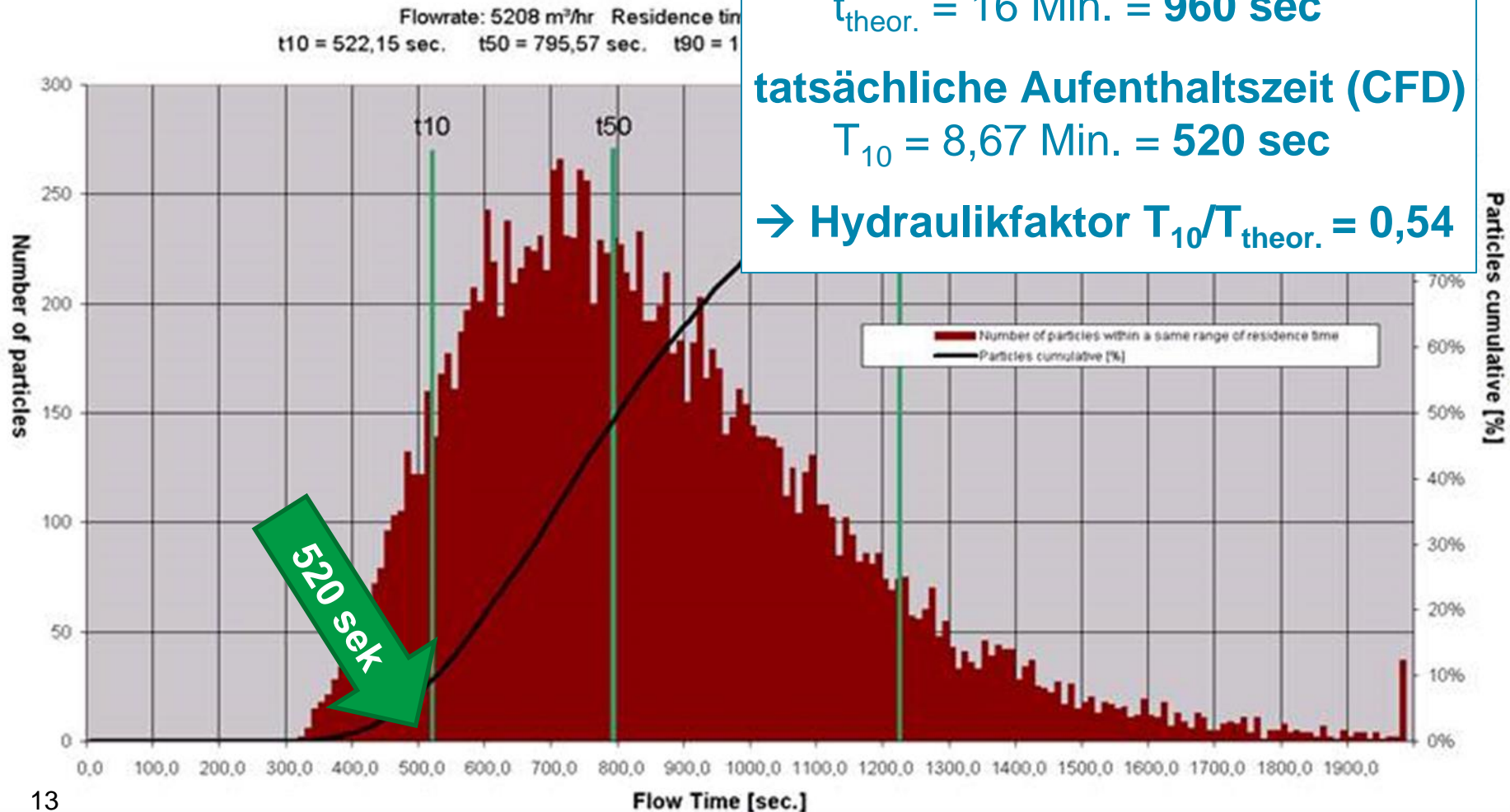
→ Theoretische Aufenthaltszeit

$$t_{\text{theor.}} = 16 \text{ Min.} = 960 \text{ sec}$$

tatsächliche Aufenthaltszeit (CFD)

$$T_{10} = 8,67 \text{ Min.} = 520 \text{ sec}$$

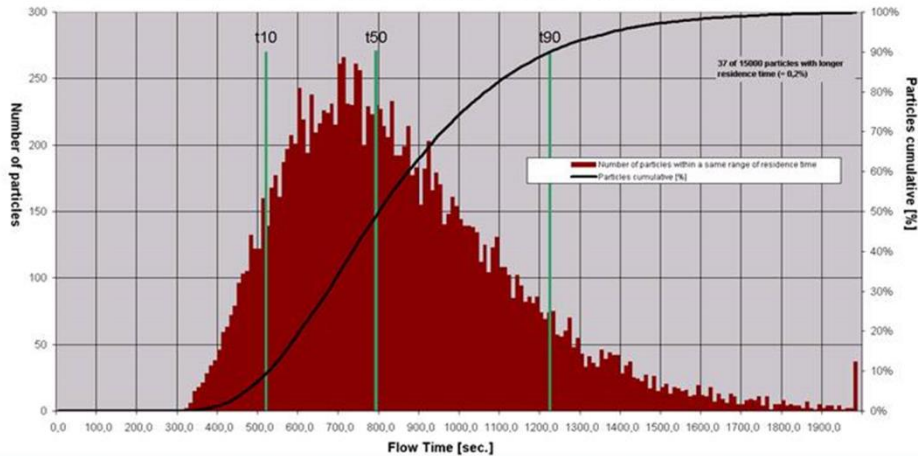
→ Hydraulikfaktor  $T_{10}/T_{\text{theor.}} = 0,54$



# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser

Status quo

Flowrate: 5208 m<sup>3</sup>/hr Residence time of 15000 virtually injected particles  
t10 = 522,15 sec. t50 = 795,57 sec. t90 = 1221,41 sec. Mean residence time = 843,28 sec.



Becken volumen = 1394,25 m<sup>3</sup>

Wassermenge = 5208 m<sup>3</sup>/h

→ Theoretische Aufenthaltszeit

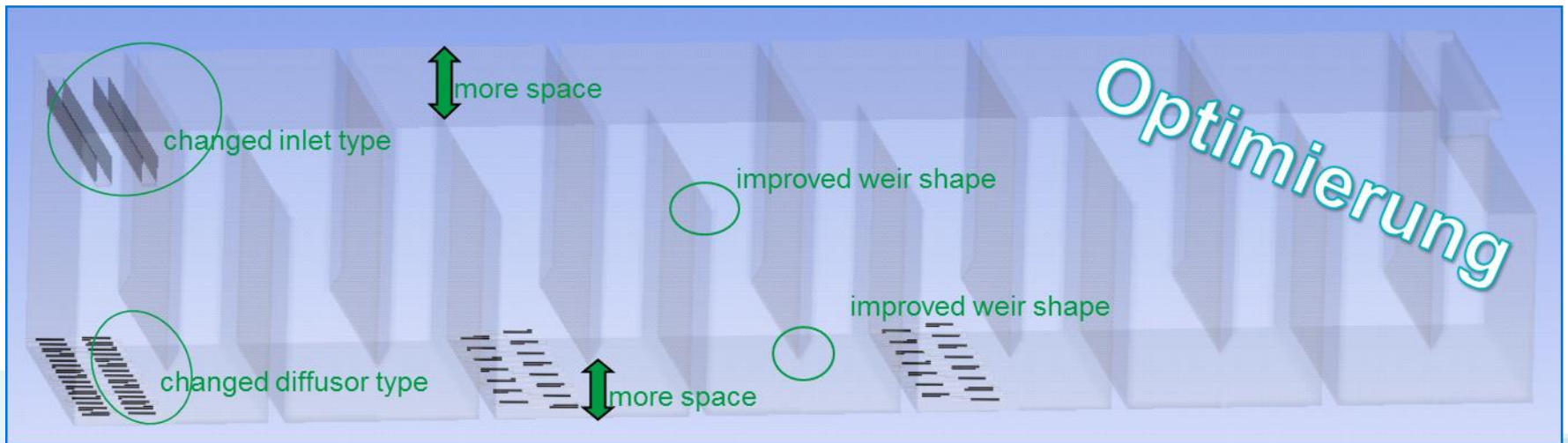
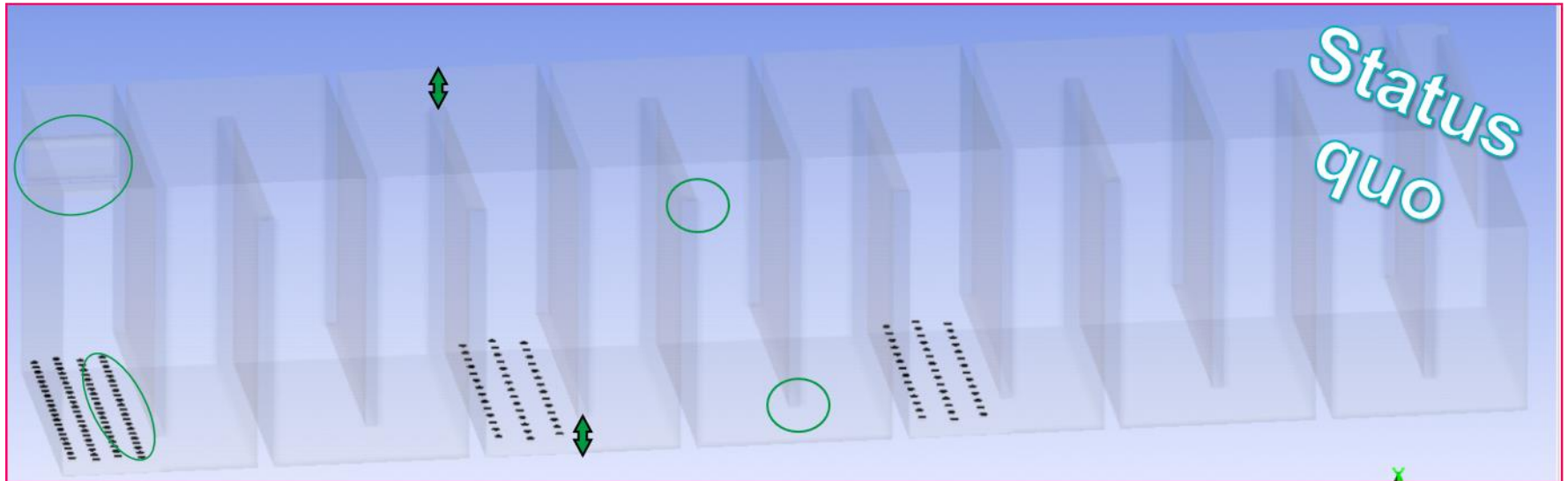
$$t_{\text{theor.}} = 16 \text{ Min.} = 960 \text{ sec}$$

tatsächliche Aufenthaltszeit (CFD)

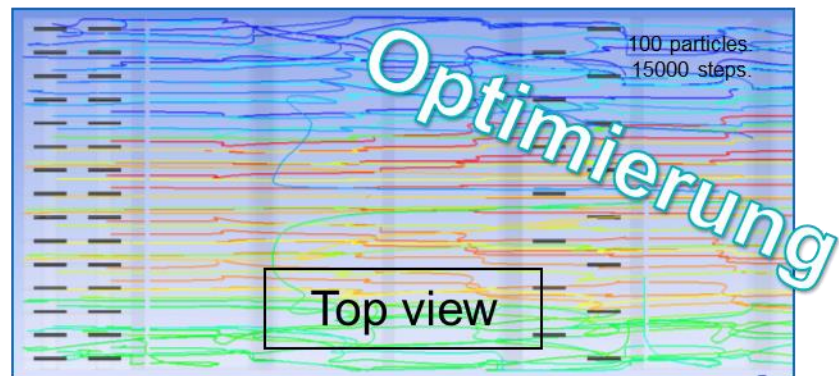
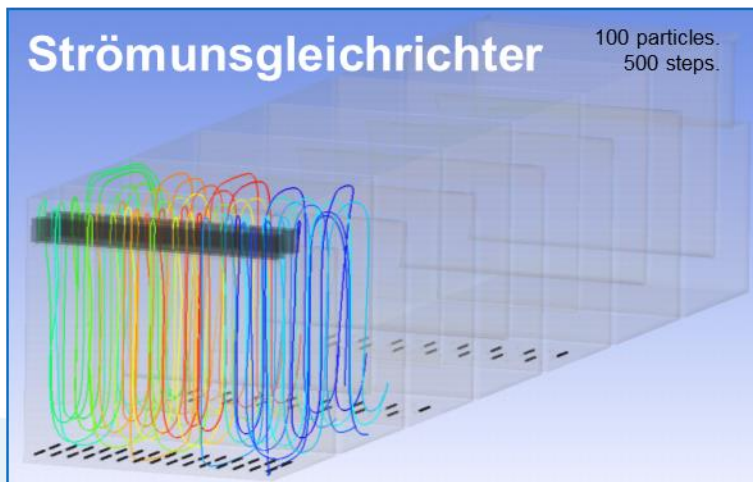
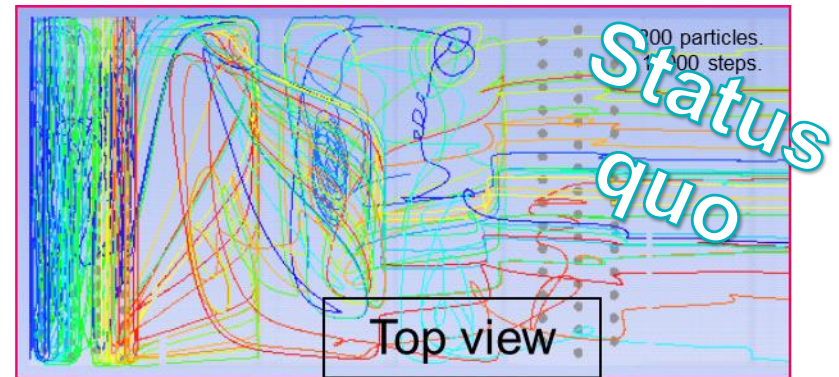
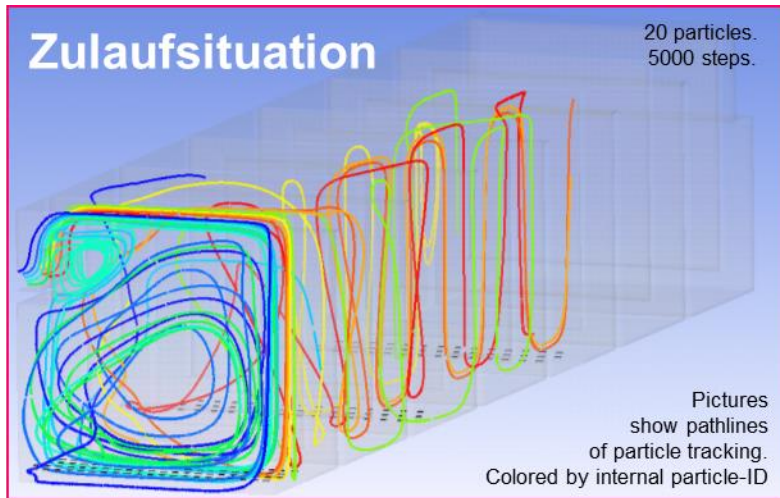
$$T_{10} = 8,67 \text{ Min.} = 520 \text{ sec}$$

→ Hydraulikfaktor  $T_{10}/T_{\text{theor.}} = 0,54$

# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser → Optimierung



# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser → Optimierung





# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser

Status quo

Beckenvolumen = 1394,25 m<sup>3</sup>

Wassermenge = 5208 m<sup>3</sup>/h

→ Theoretische Aufenthaltszeit

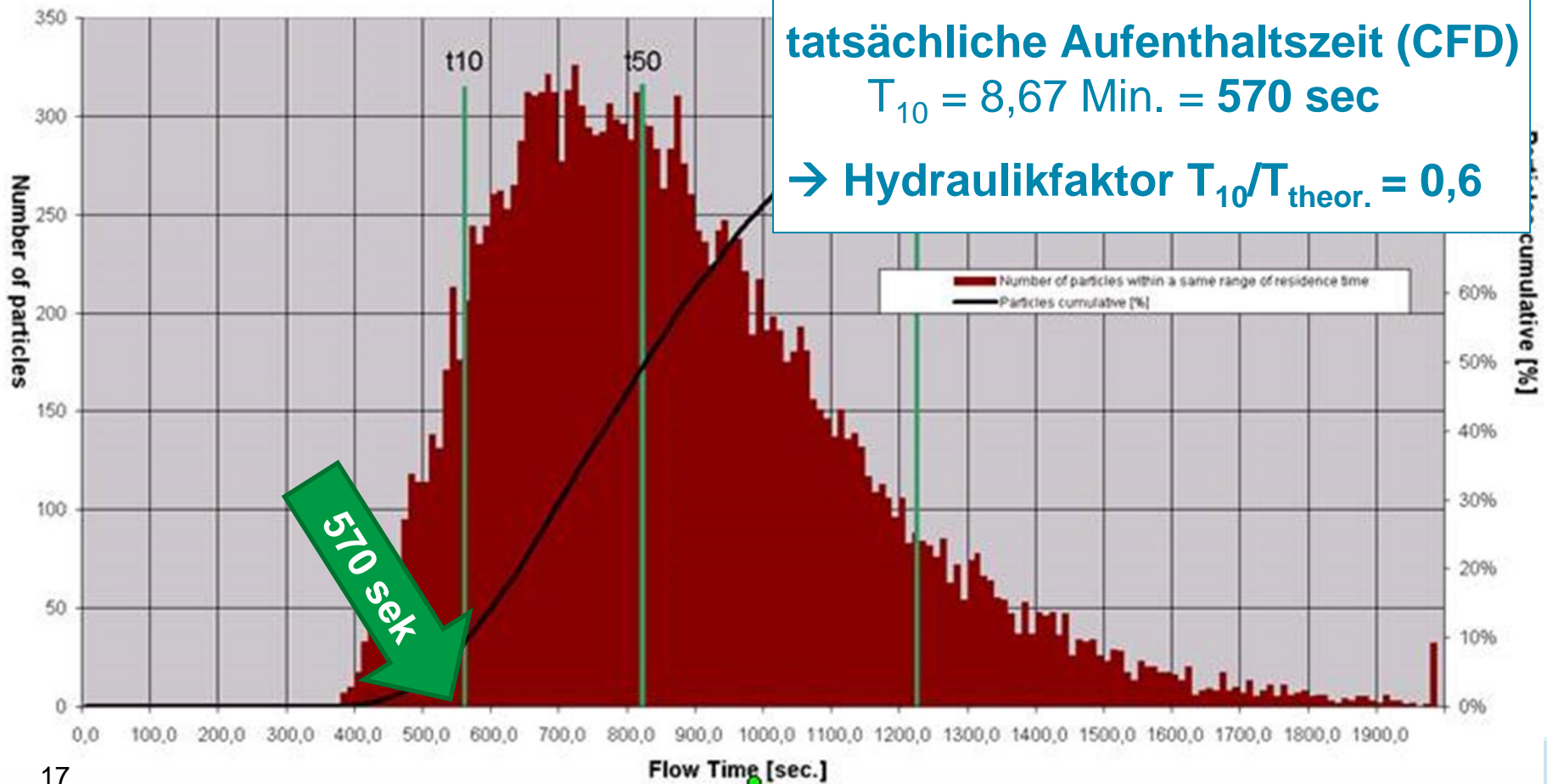
$$t_{\text{theor.}} = 16 \text{ Min.} = 960 \text{ sec}$$

tatsächliche Aufenthaltszeit (CFD)

$$T_{10} = 8,67 \text{ Min.} = 570 \text{ sec}$$

→ Hydraulikfaktor  $T_{10}/T_{\text{theor.}} = 0,6$

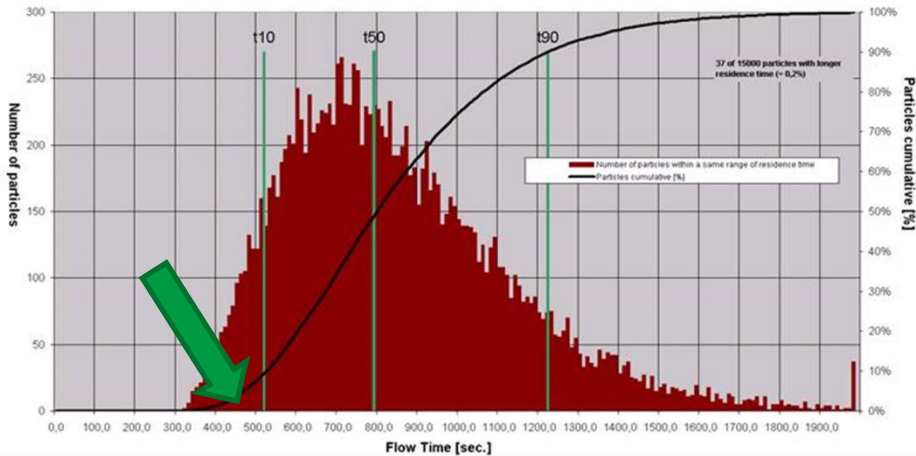
Flowrate: 5208 m<sup>3</sup>/hr Residence time  
t10 = 563 sec. t50 = 822,8 sec. t90 = 1228



# Beispiel 1: TRACERSTUDY Trinkwasser

Status quo

Flowrate: 5208 m<sup>3</sup>/hr Residence time of 15000 virtually injected particles  
 t10 = 522,15 sec. t50 = 795,57 sec. t90 = 1221,41 sec. Mean residence time = 843,28 sec.



Beckenvolumen = 1394,25 m<sup>3</sup>

Wassermenge = 5208 m<sup>3</sup>/h

→ Theoretische Aufenthaltszeit

$$t_{\text{theor.}} = 16 \text{ Min.} = 960 \text{ sec}$$

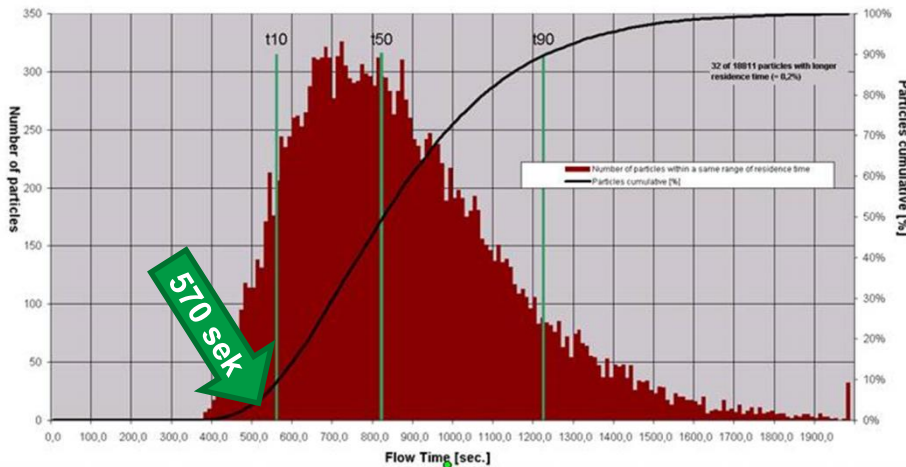
tatsächliche Aufenthaltszeit (CFD)

$$T_{10} = 8,67 \text{ Min.} = 520 \text{ sec}$$

→ Hydraulikfaktor  $T_{10}/T_{\text{theor.}} = 0,54$

Optimierung

Flowrate: 5208 m<sup>3</sup>/hr Residence time of 18811 virtually injected particles  
 t10 = 563 sec. t50 = 822,8 sec. t90 = 1228,56 sec. Mean residence time = 866,05 sec.



tatsächliche Aufenthaltszeit (CFD)

$$T_{10} = 8,67 \text{ Min.} = 570 \text{ sec}$$

→ Hydraulikfaktor  $T_{10}/T_{\text{theor.}} = 0,6$

→ 10% Verbesserung der hydraulischen Aufenthaltszeit (= Behandlungszeit)

# Eintragseffizienz Abwasser

→ Simulation der Transferleistung

# Beispiel 2: Eintragseffizienz im Abwasser

Anwendung:

Abwasser, Kläranlagenablauf, Dosis 3 mg/L

Eintragungssystem:

Kontaktank mit Diffusoren

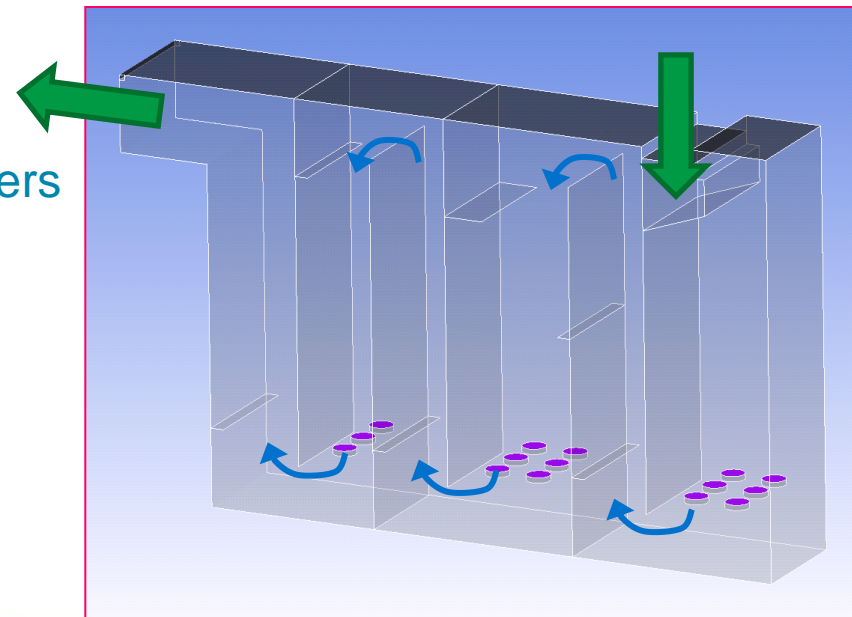
Wassertiefe 5,6 m

Problemstellung:

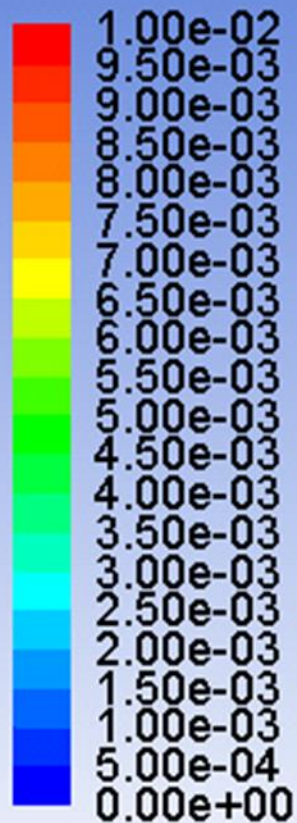
- Vorhersage der Eintragungseffizienz
- Basis für weitergehende Optimierungen

Vorgehen:

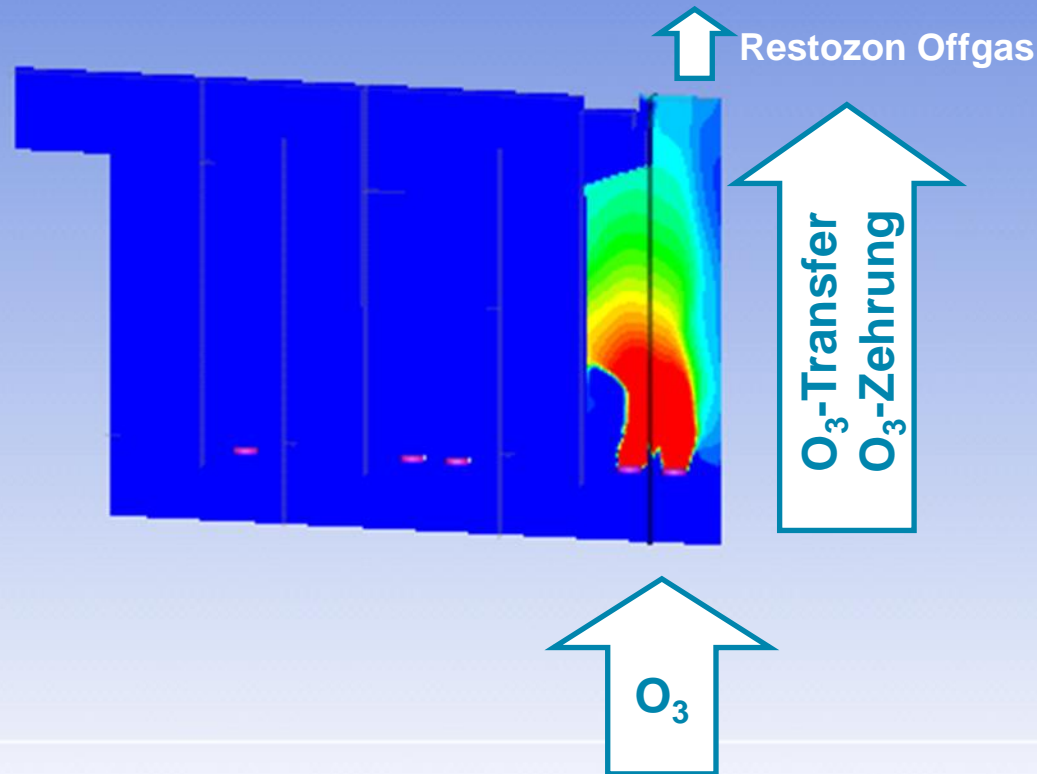
- Laborversuche:
  - spezifische Zehrung (Kinetik) des Wassers
- CFD-Analysen (2-phasig)
  - Ozon-Transfer (Gas → Flüssig)
  - Ozon-Kinetik / Ozon-Zehrung



# Beispiel 2: Eintragseffizienz im Abwasser



ANSYS  
R14.5



Contours of Mass fraction of o3 (gas) (Time=2.2007e+03)

Mar 28, 2013

ANSYS Fluent 14.5 (3d, dp, pbns, eulerian, spe, rke, transient)

$$\text{Eintragseffizienz} = 1 - \left( \frac{O_{3 \text{ Offgas}}}{O_{3 \text{ Produktgas}}} \right) \times 100 = 96,8 \%$$

→ Optimales Design von Dosis + Eintrag!!!

# Spurenschadstoffe im Abwasser

→ Simulation der Elimination von  
Spurenstoffen

# Beispiel 3: SPURENSCHADSTOFFE im Abwasser

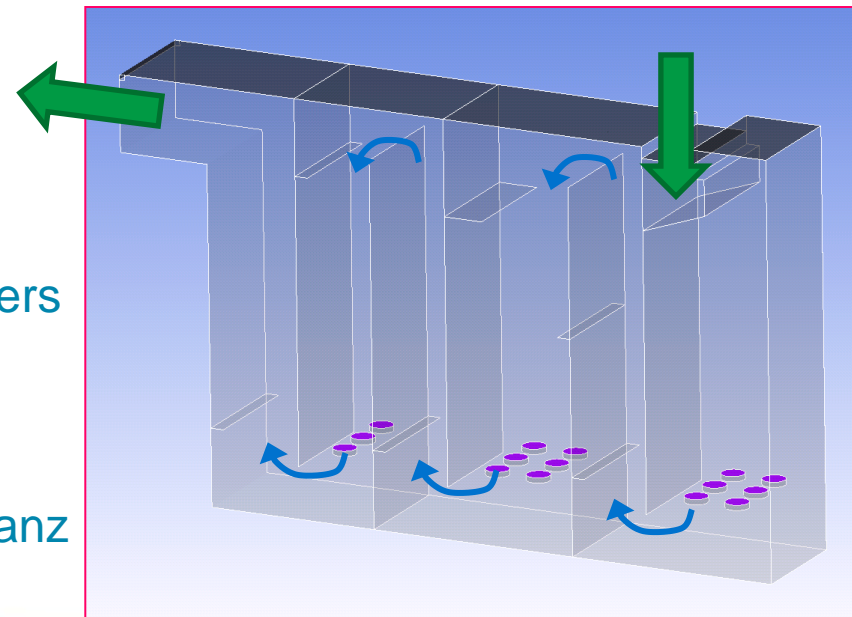
Anwendung: Abwasser, Kläranlagenablauf, Dosis 3 mg/L  
Eintragungssystem: Kontakttank mit Diffusoren  
Wassertiefe 5,6 m

## Problemstellung:

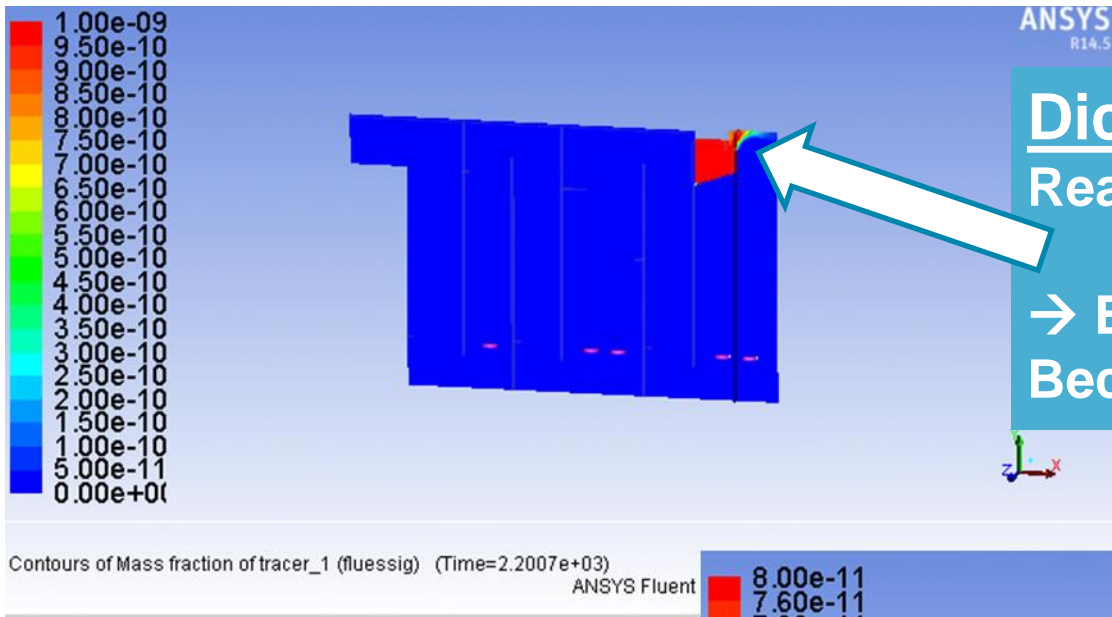
- Vorhersage des Behandlungsergebnisses bei 3 Zielsubstanzen
  - Diclofenac (schnelle Reaktion)
  - Bezafibrat (mittlere Reaktion)
  - Iopromid (langsame Reaktion)

## Vorgehen:

- Laborversuche:
  - spezifische Zehrung (Kinetik) des Wassers
- CFD-Analysen (2-phasig)
  - Ozon-Transfer (Gas → Flüssig)
  - Ozon-Kinetik / Ozon-Zehrung
  - Reaktion des Ozons mit Zielsubstanz



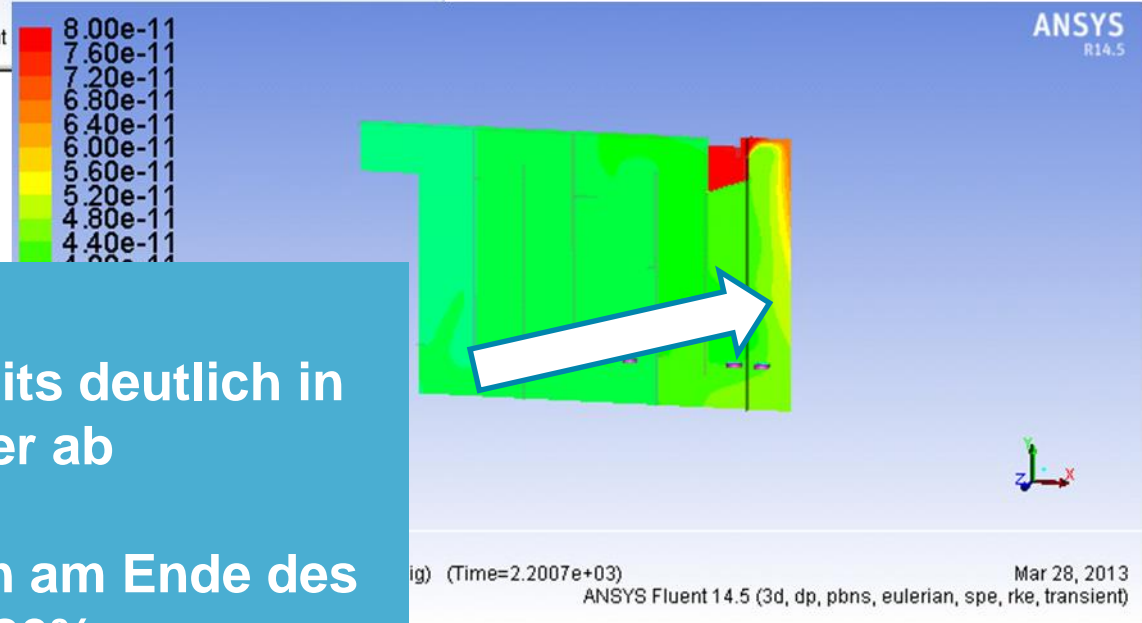
# Beispiel 3: SPURENSCHADSTOFFE im Abwasser



## Diclofenac:

Reagiert bereits im Zulauf ab

→ Elimination am Ende des Beckens > 99%



## Bezafibrat:

Reagiert bereits deutlich in erster Kammer ab

→ Elimination am Ende des Beckens: 70-80%



# Zusammenfassung

# Zusammenfassung

- **Optimales Ozonsystem**
  - effiziente Komponenten
  - Verständnis der Wassermatrix
  - angepasstes Eintragungssystem
- **Wo nötig (Spezialaufgaben + Optimierung) wird mit Spezialwissen designt!**
- **CFD neues Tool zur Vorhersage von Ergebnissen + idealer Auslegung:**
  - optimierter Energiebedarf
  - Platzoptimierte Systeme
  - sicheres Behandlungsergebnis

# Fragen???

## Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!!



**Kontakt:**

**Wiebke Rand**

**+49-5221-930-184**

**Wiebke.Rand@xyleminc.com**