

# Energetische Optimierung von Kläranlagen durch gezielte Strömungsführung im Belebtschlammbecken

S. Reinecke, M. Meier, U. Hampel, P. Ehrhard, M. Stachowske

November 2015



# GLIEDERUNG



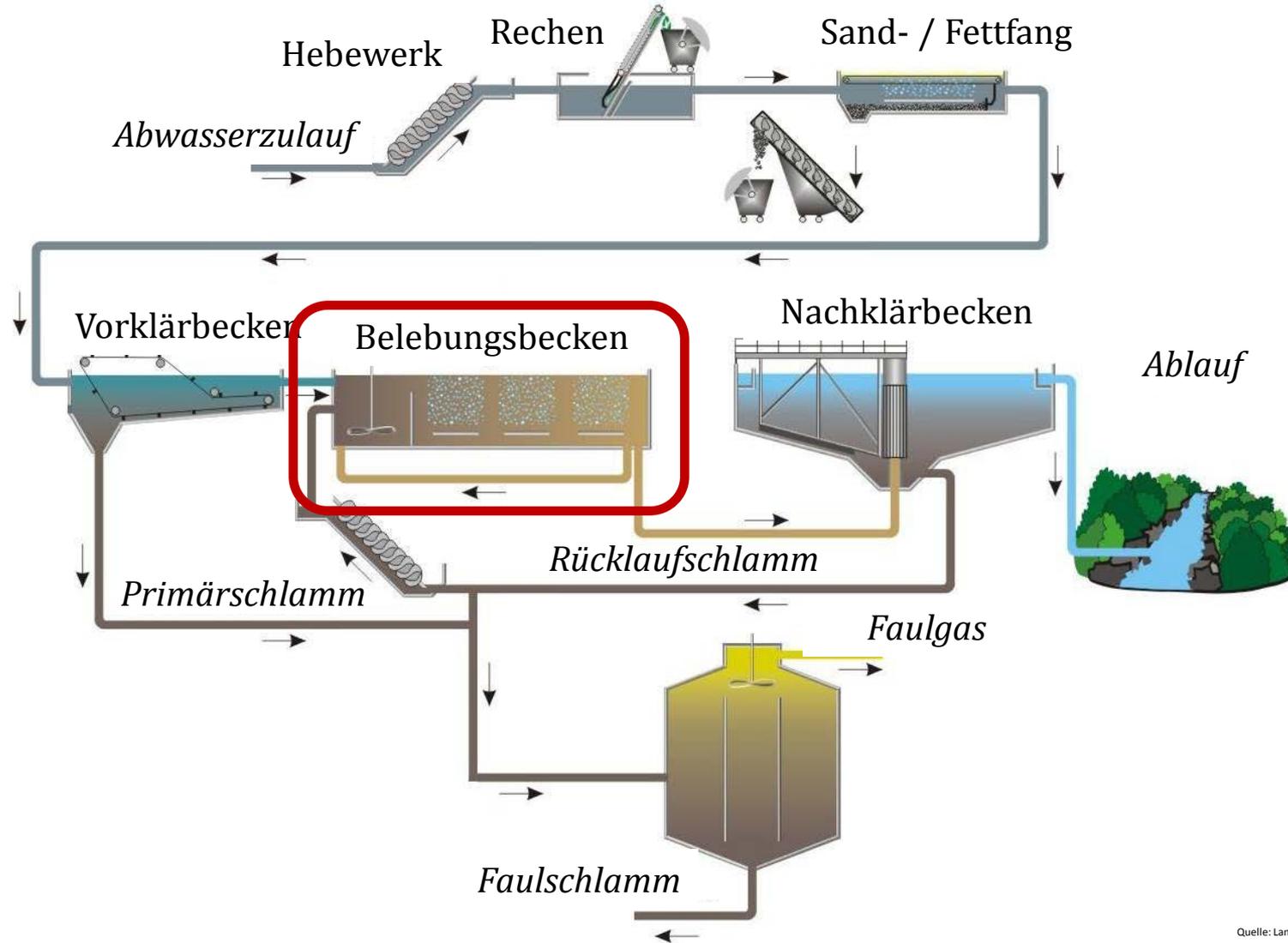
- Einleitung
  - Projektpartner, Kläranlage, Optimierungspotenzial, Projektziel
- Simulationsmodell
  - dreiphasige Strömung - Abwasser/Belebtschlamm/Luft
  - Activated Sludge Model No.1
- Verifizierende Experimente
  - tomographische Messungen in mehrphasigen Strömungen
  - Parameter der aufsteigenden Blasen
- großtechnische Simulationen
  - KA Schwerte, Verifizierung durch Feldmessungen
- Fazit und Ausblick

# PROJEKTPARTNER

- IWEB Institut für Wasser & Energie Bochum GmbH
  - Antragsteller, Projektkoordination, neuartige Belüfter
- Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf
  - innovative Sensoren, Experimente zur Verifizierung
- TU Dortmund
  - Simulationsmodell, Verifizierung
- Ruhrverband (ass.)
  - KA Schwerte, Feldexperimente
- SOWAG Süd-Oberlausitzer Wasserversorgung und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH. (ass.)
  - KA Ebersbach, Technikumsanlage



# AUFBAU EINER KLÄRANLAGE



Quelle: Landesagentur für Umwelt Südtirol (2011)

# BELEBUNGSBECKEN

Belüftete Zonen – u. a. Nitrifikation

Bakterielle Oxidation von Ammonium



Unbelüftete Zonen – u. a. Denitrifikation

Bakterielle Reduktion von Nitrat zu Stickstoff



Quelle: Google

- größter Teil des gesamten Energiebedarfs wird zur Belüftung des Belebungsbeckens verwendet!



großes Optimierungspotenzial in diesem Bereich !

## ■ Ansatzpunkt – die drei größten Energieverbraucher im Belebungsbecken

### ➤ Druckluftverdichter

- nur so viel Luft eintragen, wie zur Nährstoffelimination nötig
- bessere Ausnutzung des zugeführten O<sub>2</sub>



### ➤ Rührwerke

- Synergie-Effekte nutzen: Impuls der eingetragenen Luft auch zur Durchmischung nutzen



### ➤ Rezirkulationspumpen

- bessere Ausnutzung des Reaktionsraums durch optimale Verschaltung von Beckenkompartimenten



# ZIELSETZUNG DES PROJEKTS



- substantielle Reduktion des Energieverbrauchs im Belebungsbecken

hierzu:

- Entwicklung eines verifizierten Simulationsmodells zur Darstellung der wichtigsten Prozesse im Belebungsbecken, dreidimensional und zeitabhängig,
- grundlegende Experimente zur Verifizierung, Anpassung und Kalibrierung der Modellbausteine,
- Verifizierung der Simulationen anhand von Daten aus Technikumsanlagen und realen Belebungsbecken.

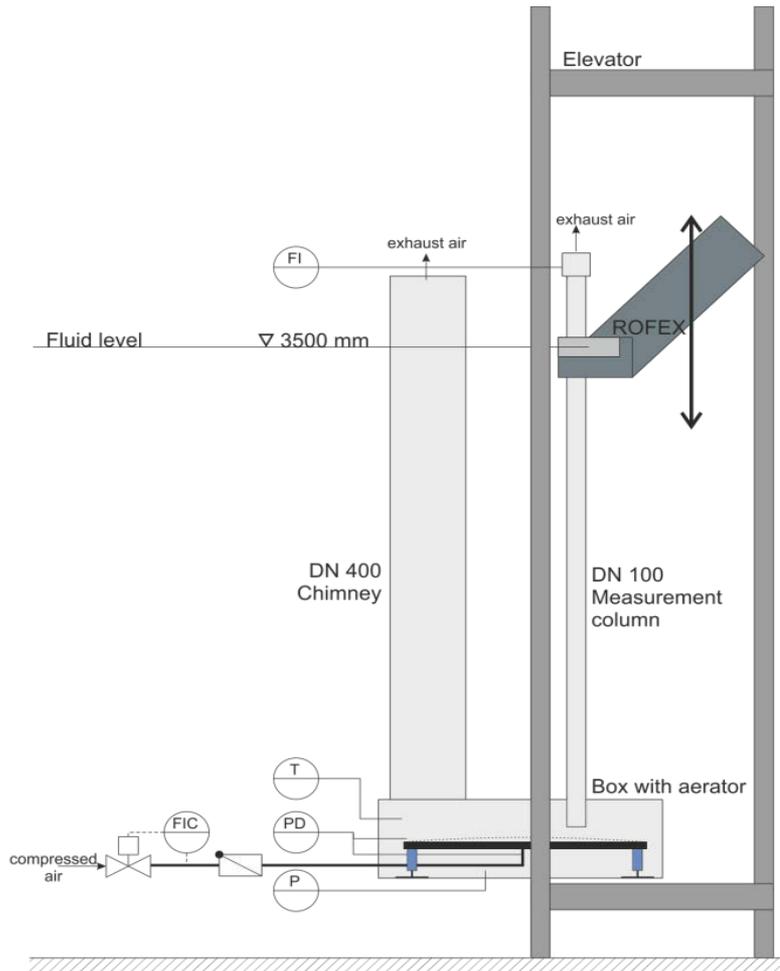
# SIMULATIONSMODELL



- rechenzeiteffizientes CFD-Mehrphasenmodell auf Basis finiter Volumen (FVM),
- Belebtschlamm (dreiphasig: Wasser, Luft, Schlamm) als zweiphasige Strömung (Euler-Euler), mit „gelöstem“ Schlamm,
- Modell für Absetzverhalten des Belebtschlammes aus eigenen Laborexperimenten als Funktion (TS-Gehalt),
- nicht-Newtonsche Rheologie als Funktion (TS-Gehalts),
- Turbulenz mit SST-Turbulenzmodell,
- Stoffübergang Luftblasen/Wasser nach Higbie als Funktion (dyn. Viskosität, Blasendurchmesser),
- biochemisches Reaktionsmodell: Activated Sludge Modell No. 1, beschreibt die acht wesentlichen biochemischen Prozesse, bei Berücksichtigung von 13 Größen,
- zusätzlich Transportgleichungen für die relevanten Größen im ASM 1;

# VERIFIZIERENDE EXPERIMENTE

- z.B. röntgentomographische Messung in zwei- bzw. dreiphasiger Strömung (Wasser, Luft, Schlamm)

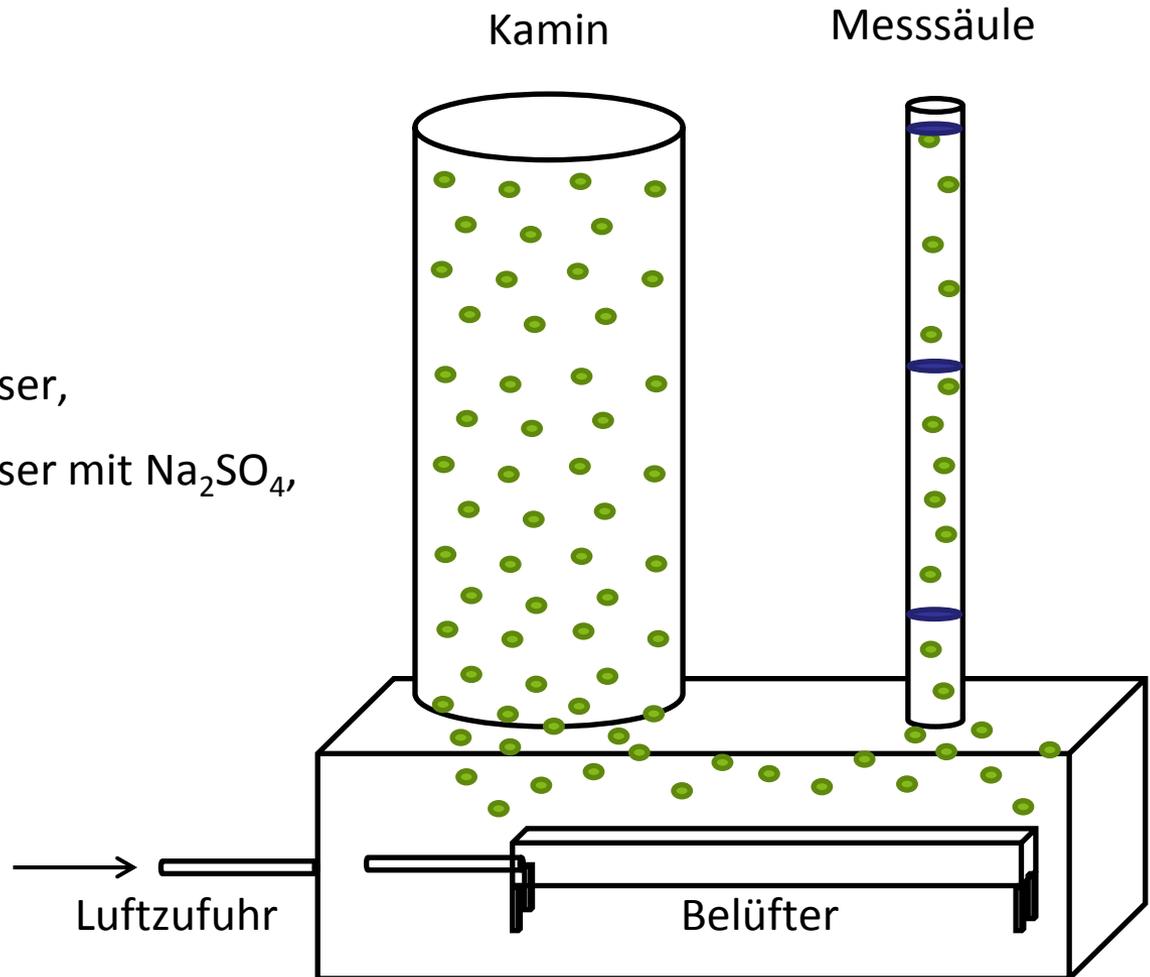


# VERIFIZIERENDE EXPERIMENTE



## ■ prinzipieller Aufbau

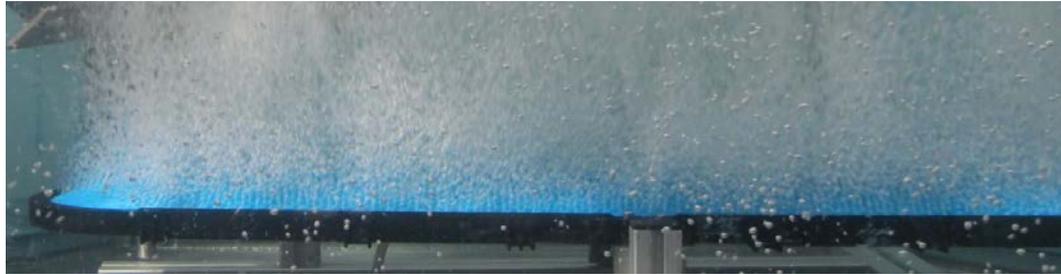
- 3 Messebenen,
- DN 100
- Fluid:
  - deionisiertes Wasser,
  - deionisiertes Wasser mit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,
  - Belebtschlamm,
- Belüfter:
  - Plattenbelüfter,
  - Tellerbelüfter,
  - Kanülenbelüfter;



# VERIFIZIERENDE EXPERIMENTE



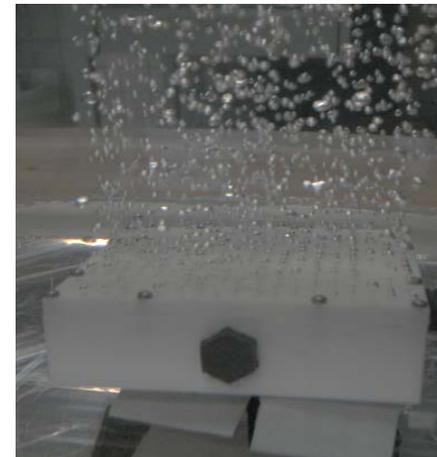
- Bauformen der Belüfter



Plattenbelüfter (Supratec)



Tellerbelüfter (Sanitaire)

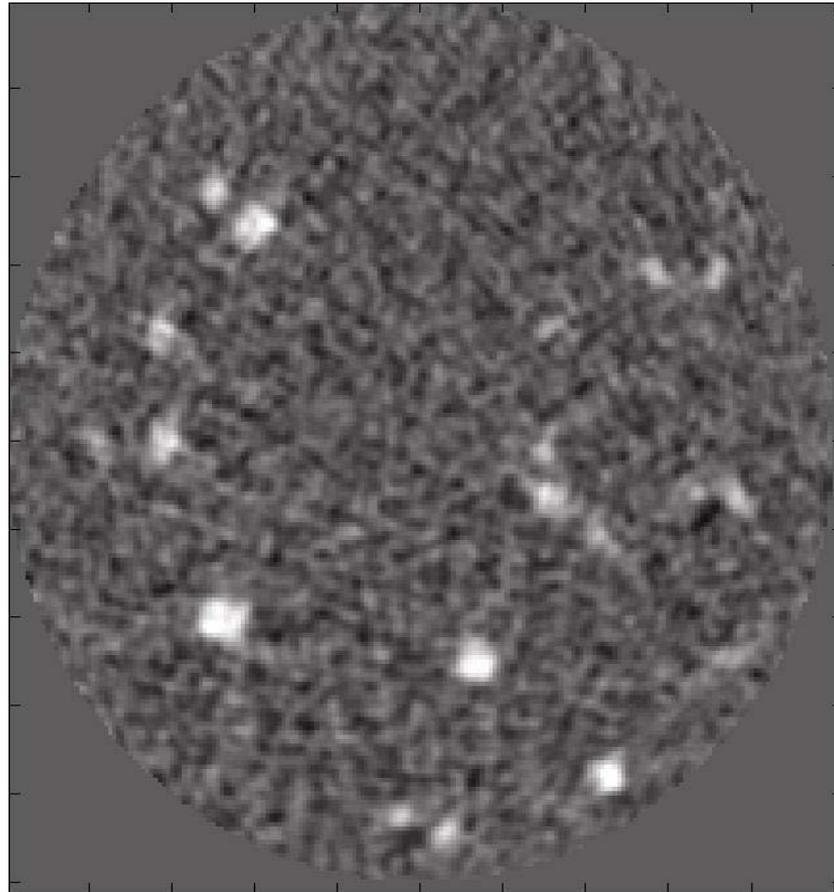


Kanülenbelüfter (IWEB)

# VERIFIZIERENDE EXPERIMENTE



- Ergebnis der tomographischen Messungen



aufsteigende Luftblasen im Belebtschlamm

# VERIFIZIERENDE EXPERIMENTE

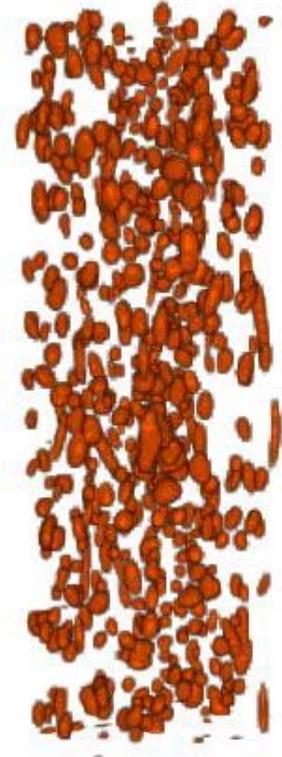
- pseudo-dreidimensionale Rekonstruktion der Gasblasen



Kanülenbelüfter  
 $Q = 0.7 \text{ sl/min}$



Tellerbelüfter  
 $Q = 6.3 \text{ sl/min}$

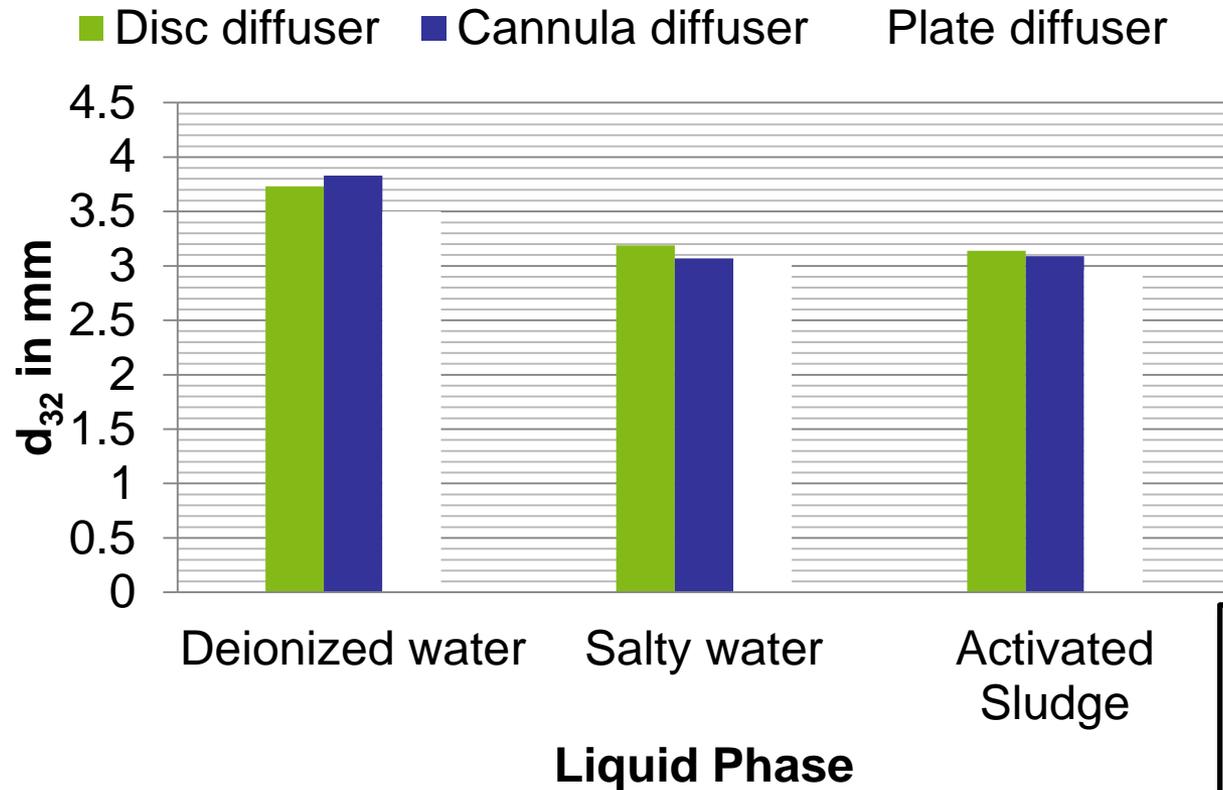


Plattenbelüfter  
 $Q = 50 \text{ sl/min}$

# VERIFIZIERENDE EXPERIMENTE



## ■ Sauter-Durchmesser



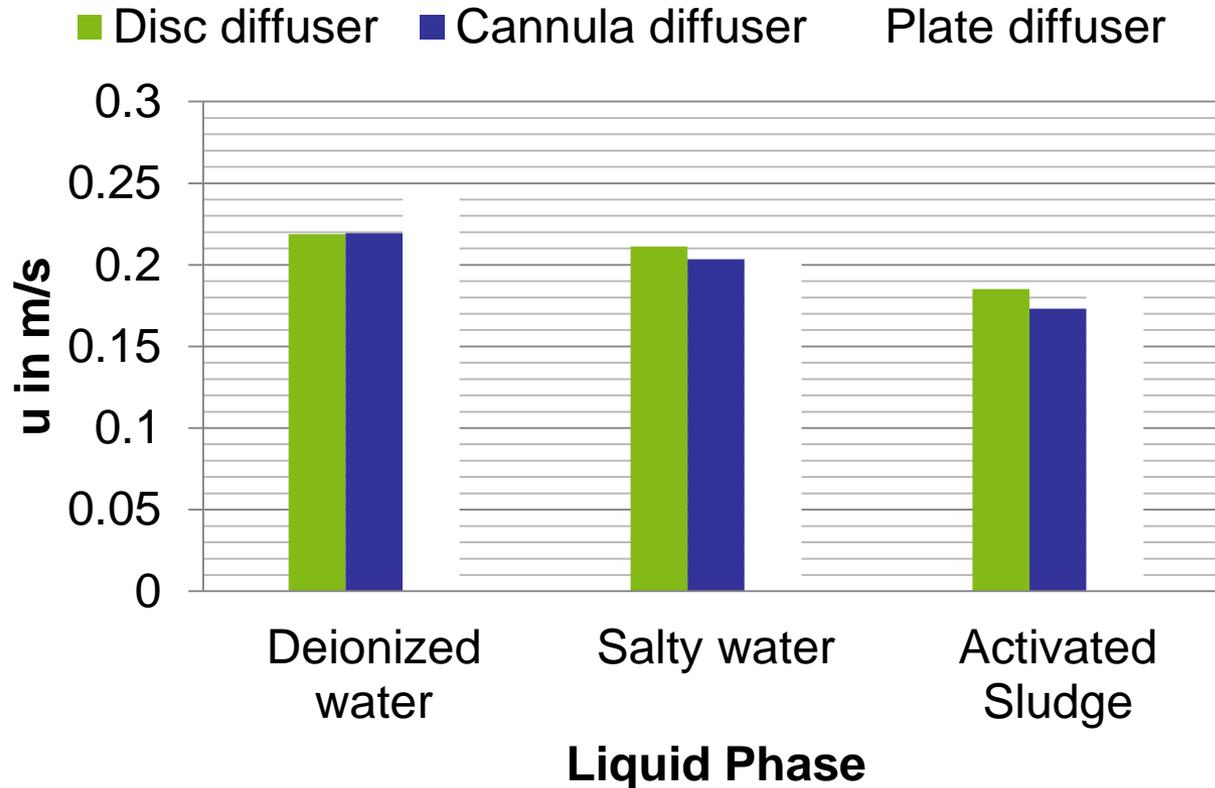
**Sauter mean diameter**  
 $d_{32}$

$$d_{32} = \frac{A_{S,ges}}{V_{ges}} = \frac{\sum_i N_i * d_i^3}{\sum_i N_i * d_i^2}$$

# VERIFIZIERENDE EXPERIMENTE

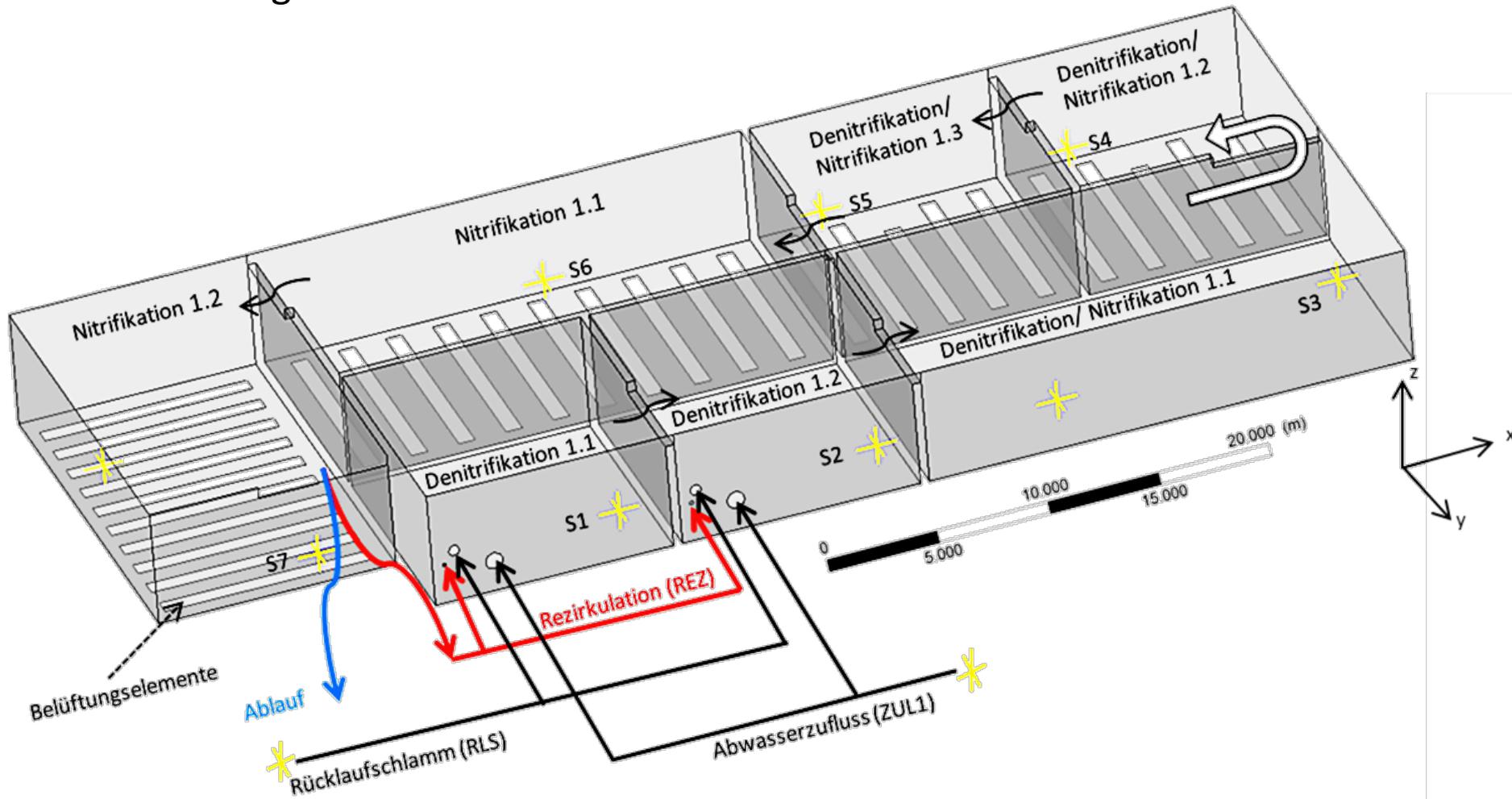


- Blasen-Aufstiegsgeschwindigkeit



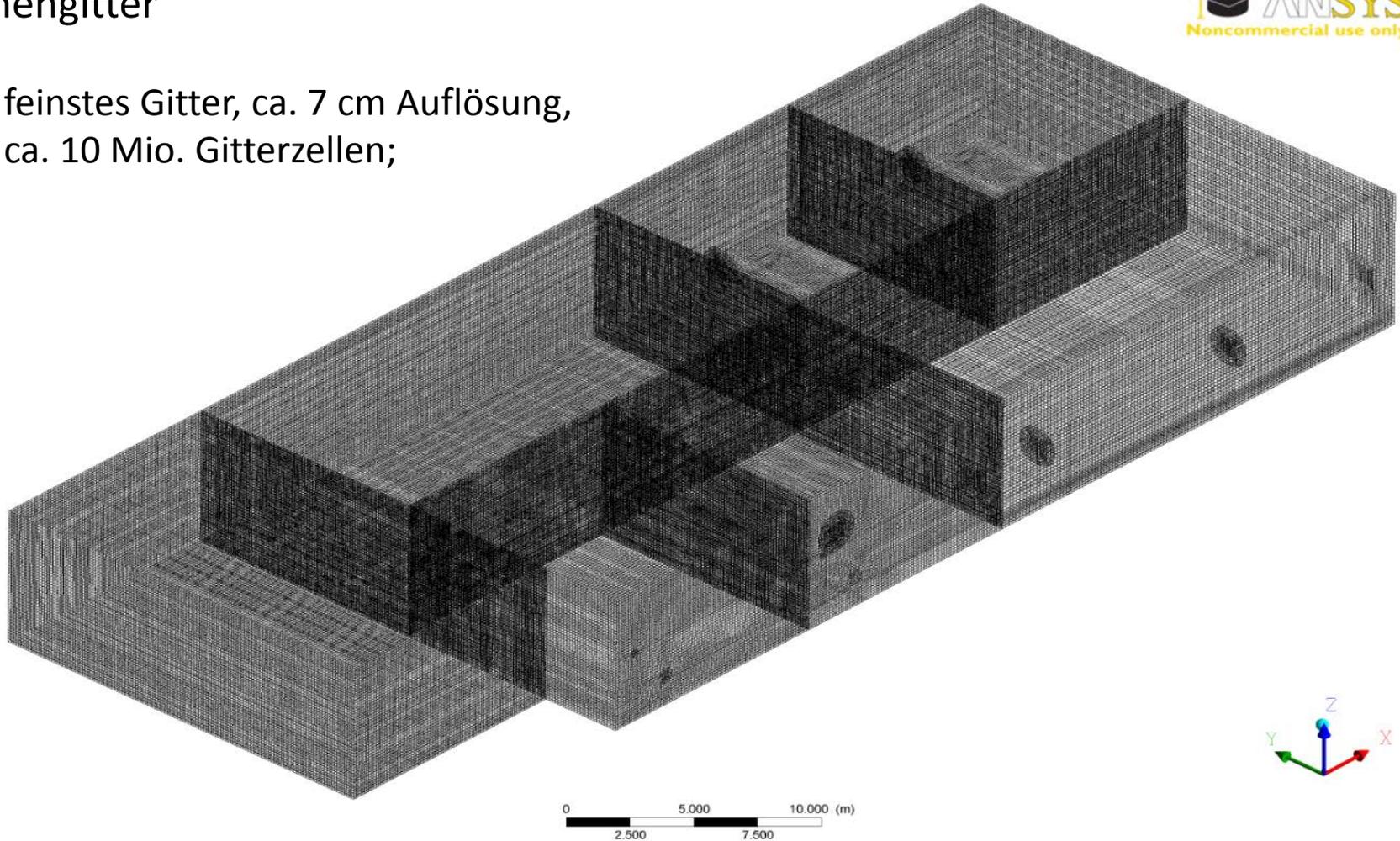
# GROßTECHNISCHE SIMULATIONEN

## ■ Belebungsbecken der KA Schwerte



# DISKRETISIERUNG

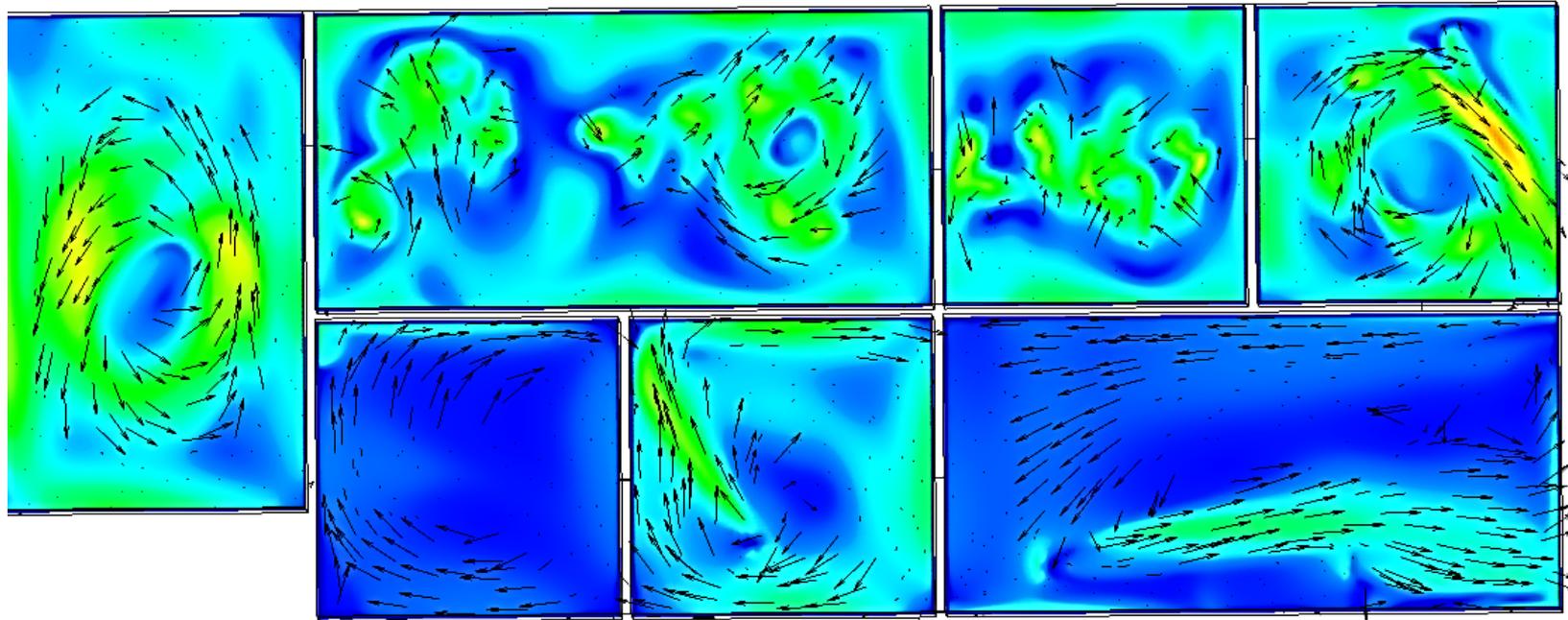
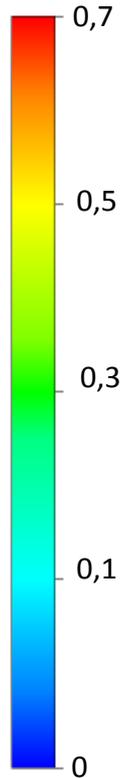
- Rechengitter
  - feinstes Gitter, ca. 7 cm Auflösung,
  - ca. 10 Mio. Gitterzellen;



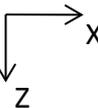
# SIMULATIONSERGEBNISSE

## ■ Simulation der Hydrodynamik

Geschwindigkeit der  
Flüssigphase  
(m/s)

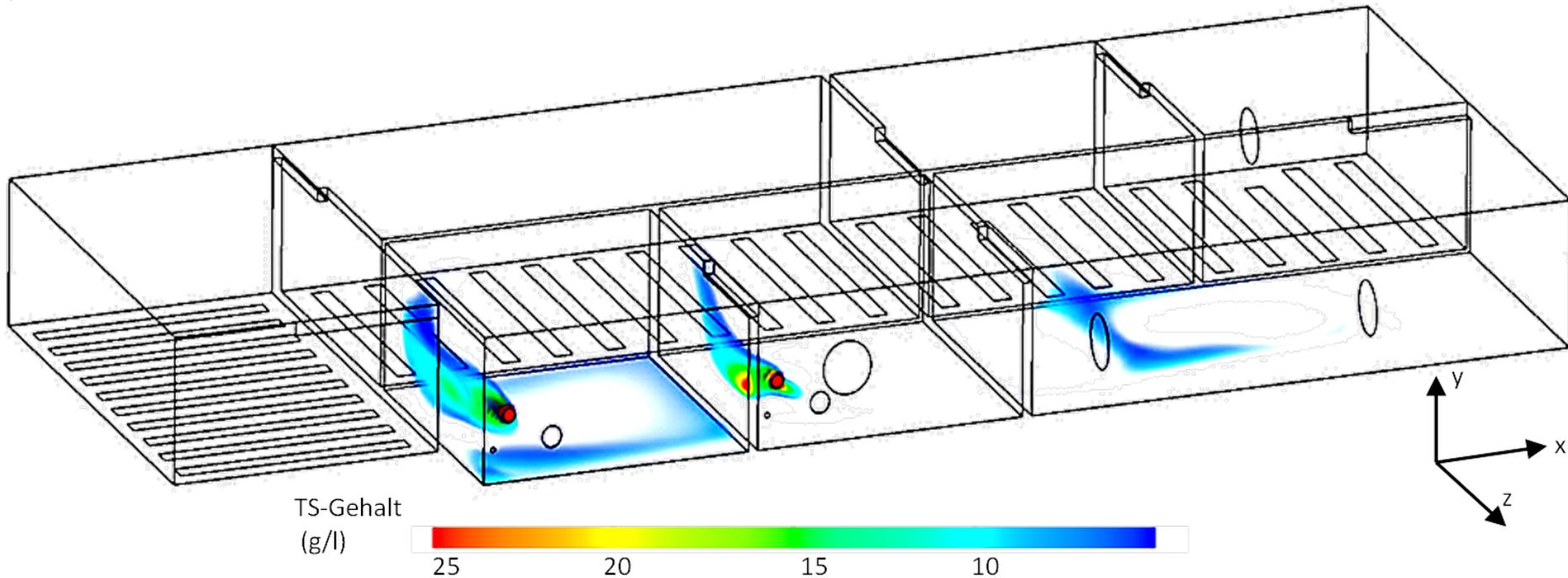


Schnitt in der x-z-Ebene in 2 m Wassertiefe (Beckendraufsicht)



# SEDIMENTATION IM BELEBUNGSBECKEN

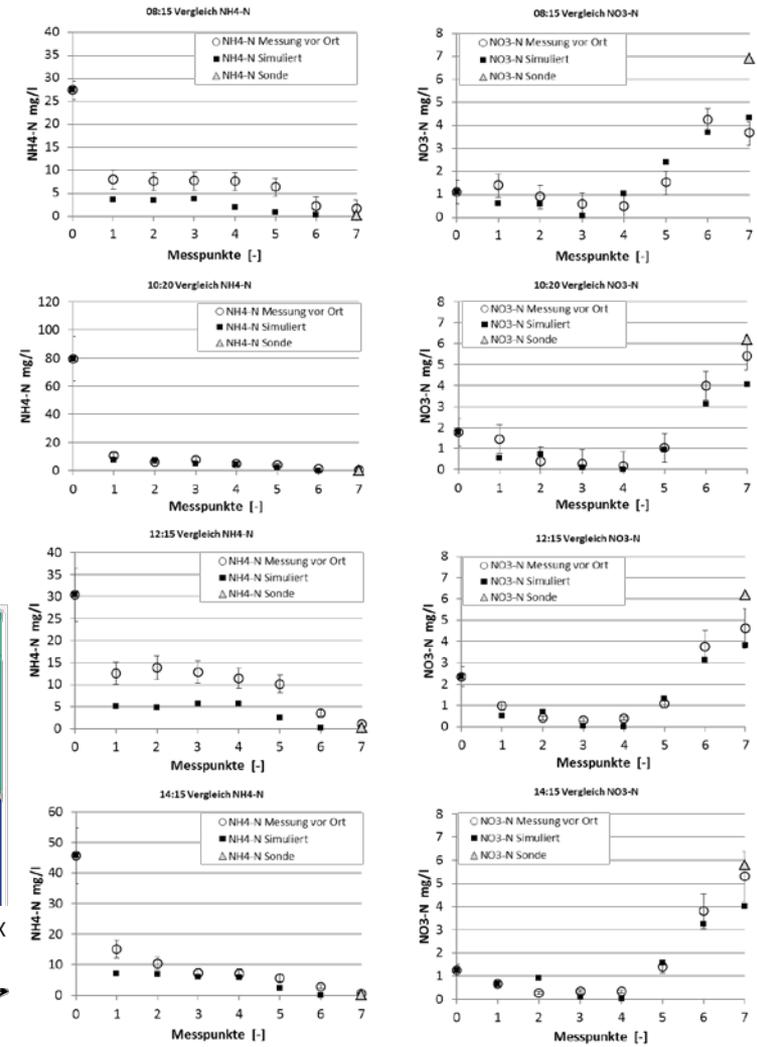
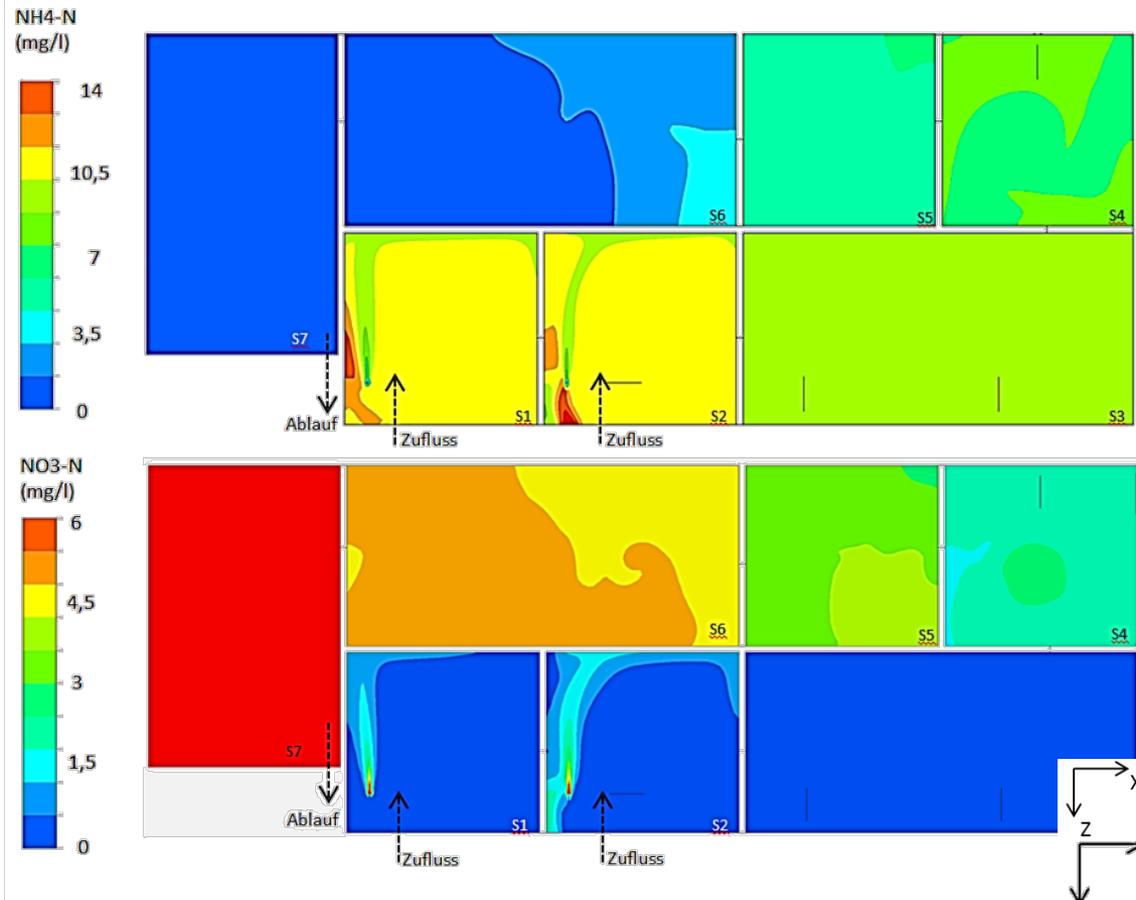
## ■ Trockensubstanz (TS)-Gehalt



- intransparente Bereiche: TS-Gehalte  $> 7\text{ g/l}$ ,
- keine Sedimentation in belüfteten Bereichen feststellbar,
- Sedimentation setzt bei Bodengeschwindigkeiten  $< 5\text{ cm/s}$  ein;

# KONZENTRATIONSPROFILE IM BELEBUNGSBECKEN

- Amonium und Nitrat in horizontalem Schnitt in 2 m Beckentiefe



gute Wiedergabe der gemessener Konzentrationsprofile !



- ✓ Kopplung von CFD (ANSYS CFX) und biochemischen Prozessen (ASM1),
- ✓ Modelle für Belebtschlamm-Sedimentation und Belebtschlamm-Viskosität erscheinen verifiziert,
- ✓ Modelle für Blasenanstieg und Sauerstoffeintrag im Belebtschlamm werden derzeit verifiziert und gegebenenfalls verbessert,
- ✓ großtechnische Simulationen zeigen gute Übereinstimmung mit Sondenmessung und Online-Messungen an KA Schwerte,
- ✓ Vergleich mit SIMBA-Simulationsergebnissen zeigt deutlich bessere Übereinstimmung bei Ablaufwerten;



- erweiterte mikrobiologische Untersuchungen zur Kalibrierung des ASM1,
- CO<sub>2</sub>-Entstehung berücksichtigen (→ Inhibition),
- Aufzeigen von Optimierungsmaßnahmen.

ENDE



vielen Dank für die Aufmerksamkeit  
und für die Förderung durch die

