

Belüftungssysteme im Ausland – besondere Anforderungen an Bemessung und Betrieb



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wagner

M.Sc. Stephan Sander

TU Darmstadt, Institut IWAR

Dr.-Ing. Jiansan Zhang

Bilfinger Water Technologies GmbH

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Statusseminar zum BMBF-Verbundprojekt **EXP**  **VAL**

**Anpassung und Validierung deutscher Standards für Kläranlagen
im Ausland**

1./2. Oktober 2015 im HCC Hannover

§ Einführung

§ durchgeführte Untersuchungen

§ besondere Anforderungen an Belüftungssysteme im Ausland

§ äußere Rahmenbedingungen

§ planerische und betriebliche Aspekte

§ Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

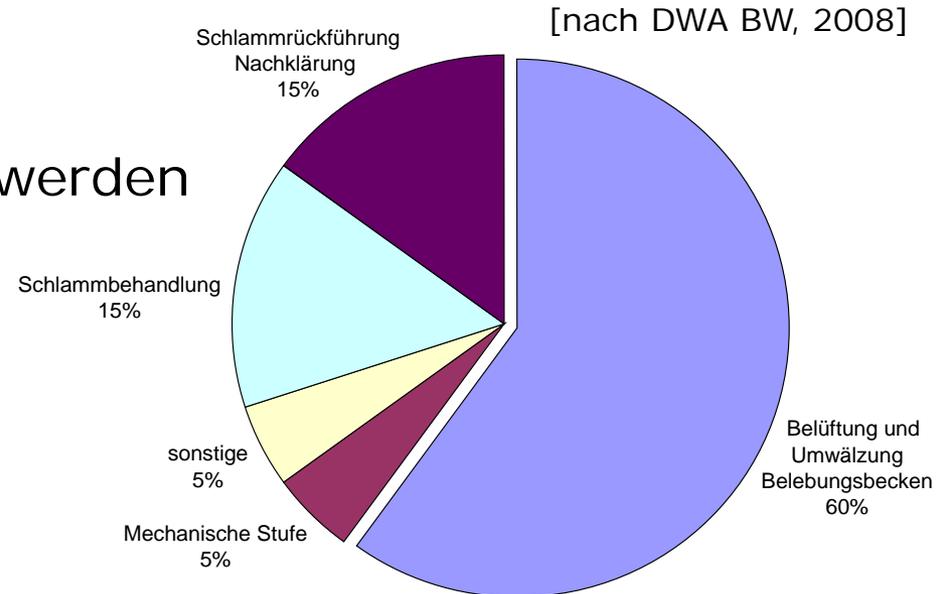
Kostenrelevanz der Belüftungstechnik

§ Stromverbrauch kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen kann um bis zu 25 % gesenkt werden

§ Belüftungssystem ist größter Energieverbraucher von Belebungsanlagen

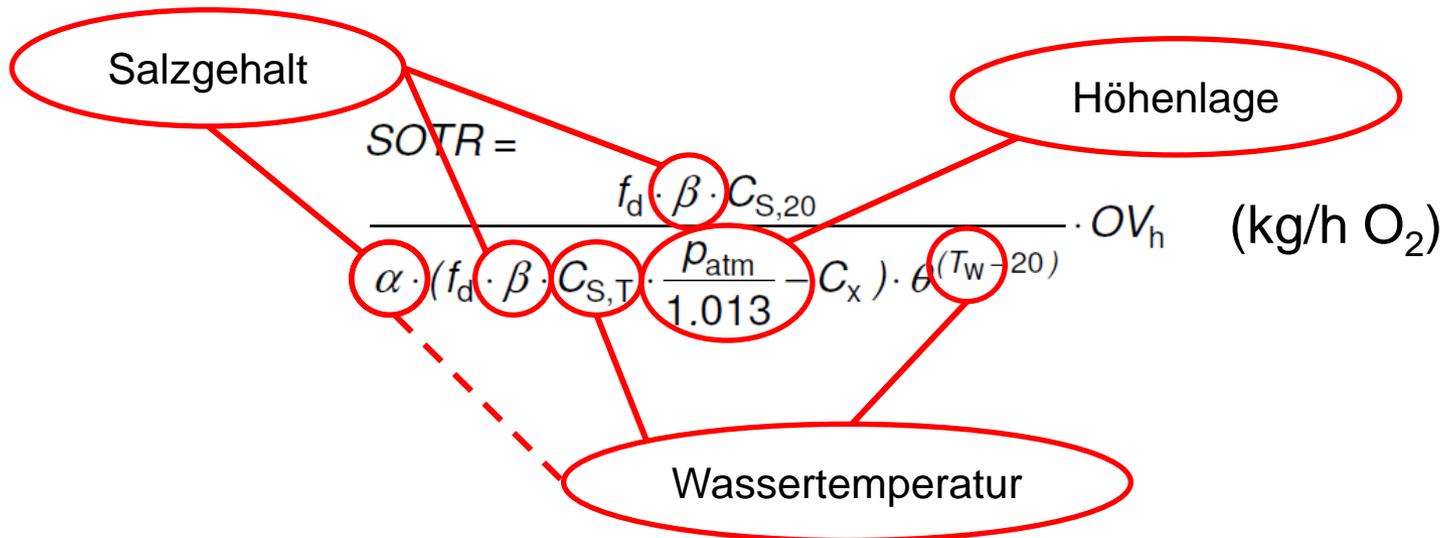
§ Praxiserfahrung zeigt: viele Belüftungssysteme laufen die meiste Zeit in energetisch ungünstigen Bereichen!

à **präzise Bemessung** ist Voraussetzung für **effizienten Betrieb**



besondere Anforderungen an Belüftungssysteme im Ausland

- § Anlagen im Ausland unterscheiden sich insbesondere bzgl. äußerer Rahmenbedingungen von hiesigen
- § bei Bemessung von Belüftungssystemen von besonderer Relevanz
- § Ermittlung **erforderliche Sauerstoffzufuhr SOTR** (Standard Oxygen Transfer Rate) nach DWA-M 229-1 (2013):


$$SOTR = \frac{f_d \cdot \beta \cdot C_{S,20}}{\alpha \cdot (f_d \cdot \beta \cdot C_{S,T} \cdot \frac{p_{atm}}{1.013} - C_x) \cdot \theta^{(T_w - 20)}} \cdot OV_h \quad (\text{kg/h O}_2)$$

The diagram highlights the following variables in the equation:

- Salzgehalt** (Salt content) is linked to the coefficient α .
- Höhenlage** (Elevation) is linked to the atmospheric pressure term $\frac{p_{atm}}{1.013}$.
- Wassertemperatur** (Water temperature) is linked to the temperature correction factor $\theta^{(T_w - 20)}$.

Aktuelle Bemessungspraxis von Belüftungssystemen

§ Variable Annahme des α -Werts in Abhängigkeit von:

§ Lastfall

§ Reinigungsgrad (-ziel) des Abwassers

§ Verfahrensvariante

$$SOTR = \frac{f_d \cdot \beta \cdot C_{S,20}}{\alpha \cdot (f_d \cdot \beta \cdot C_{S,T} \cdot \frac{p_{atm}}{1.013} - C_x) \cdot \theta^{(T_w - 20)}} \cdot OV_h \quad (\text{kg/h O}_2)$$

Verfahrensvariante	α_{\min} (für maximalen Lastfall)	α_{mittel} (für mittleren Lastfall)	α_{\max} (für minimalen Lastfall)
kontinuierlich betriebene Denitrifikation (sim., intern., altern., vorg.)	0,60	0,75	0,85
SBR-Verfahren zur Stickstoffelimination	0,50	0,65	0,80
MBR-Verfahren (TS ~ 12 g/L, $t_{TS} = 25$ d)	0,50	0,60	0,70
simultane aerobe Stabilisierung	0,70	0,80	0,90
Kohlenstoffelimination	0,35	0,50	0,60

[Günkel-Lange, 2013]

durchgeführte Untersuchungen

- § Untersuchung der Sauerstoffzufuhr an zwei kommunalen Belebungsanlagen mit:
 - § hohen und tiefen Wassertemperaturen
 - § wechselnden Salzgehalten

- § (Einfluss der Höhenlage auf Sauerstoffzufuhr wurde theoretisch betrachtet)

§ **Projekt-Standorte:**

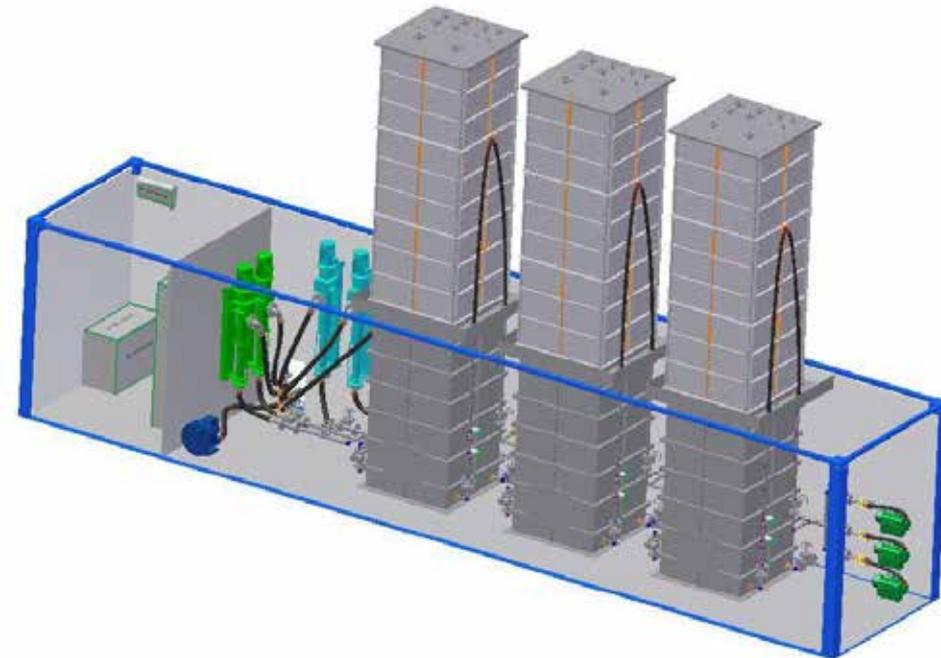
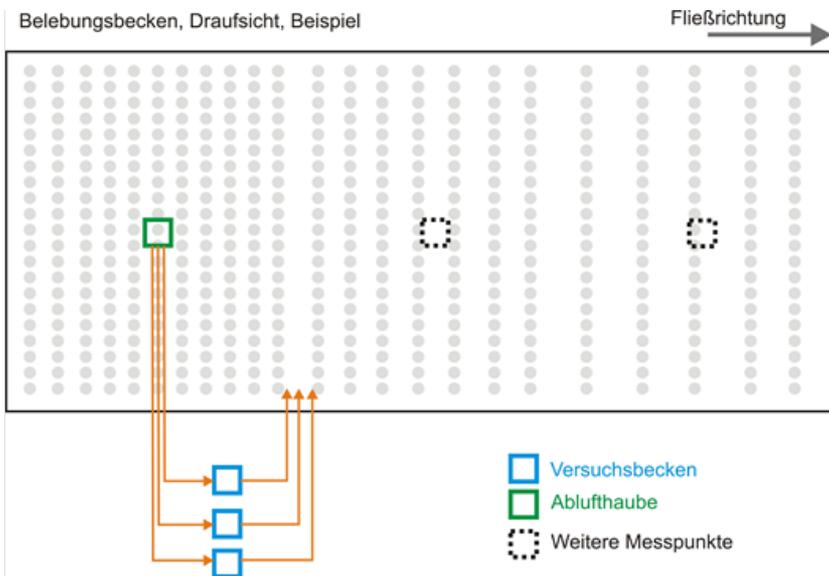
- § Qingdao (Shandong Provinz, Nordost-China)
- § Haikou (Hainan Provinz, Süd-China)



[<http://www.hoeckmann.de/karten/asien/china/index.htm>]

Versuchsaufbau

- § Untersuchung des Belebtschlammes der großtechnischen Anlagen ex-situ in einer Versuchsanlage
- § Sauerstoffzufuhrmessungen mittels Desorptions- und Abluftmethode



Versuchsaufbau

- § in den 3 Reaktoren wurden variiert:
- § Arten von Belüfterelementen (Teller; Rohre)
 - § Belegungsdichten
 - § Wassertiefen
 - § etc.

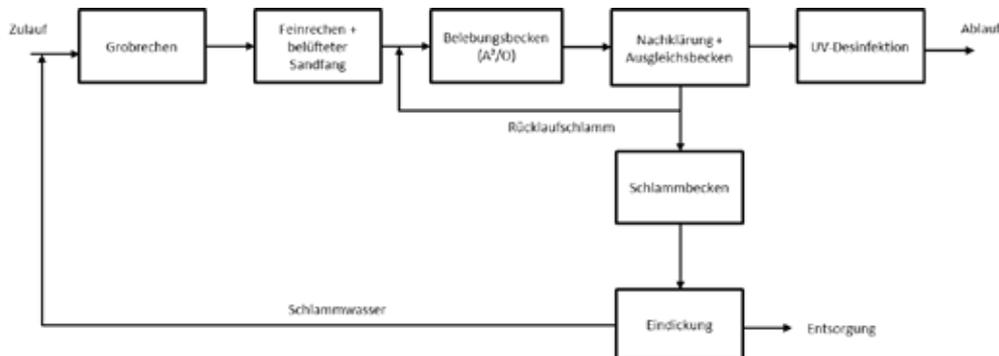


1. Standort: ABA Baishamen, Haikou

§ einstufige Belebungsanlage
§ 455.000 E
§ ohne Vorklärung und Faulung
§ Feb 2014 – Nov. 2014

§ $T_W = 25 - 35 \text{ °C}$

§ Salzgehalt $> 10 \text{ mS/cm}$ ($> 6 \text{ g/L}$)



2. Standort: ABA Licunhe, Qingdao

§ einstufige Belebungsanlage

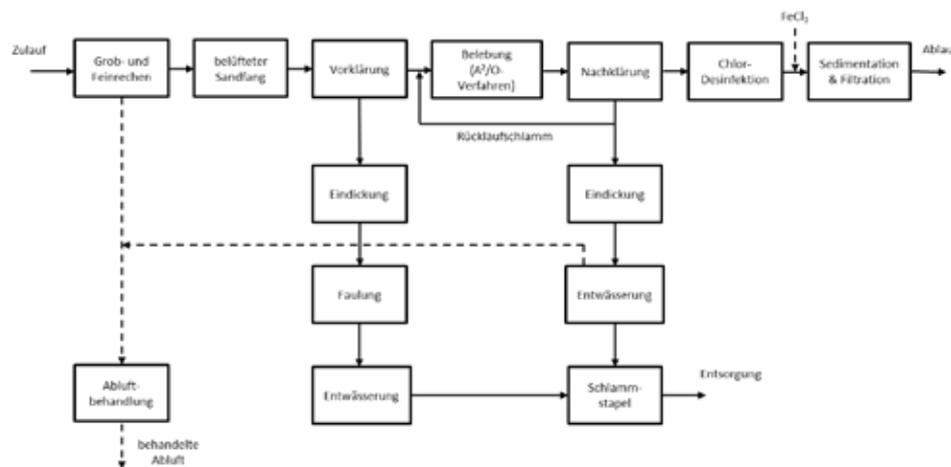
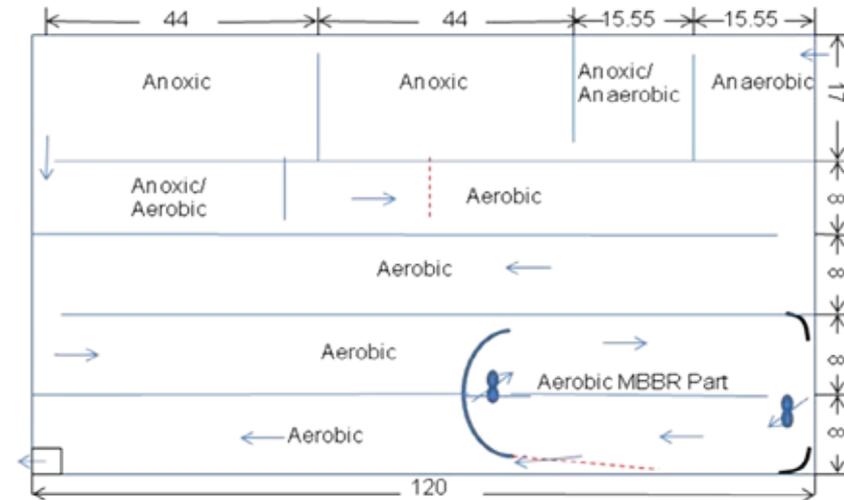
§ 850.000 E

§ mit Vorklärung und Faulung

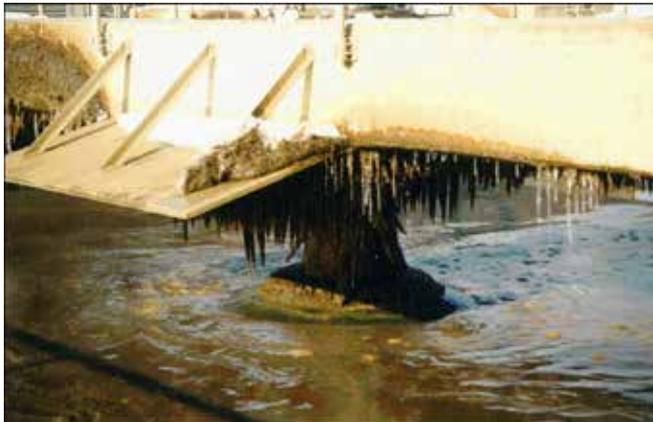
§ Dez. 2014 – Dez. 2015

§ $T_W = 11 - 28 \text{ } ^\circ\text{C}$

§ moderater Salzgehalt

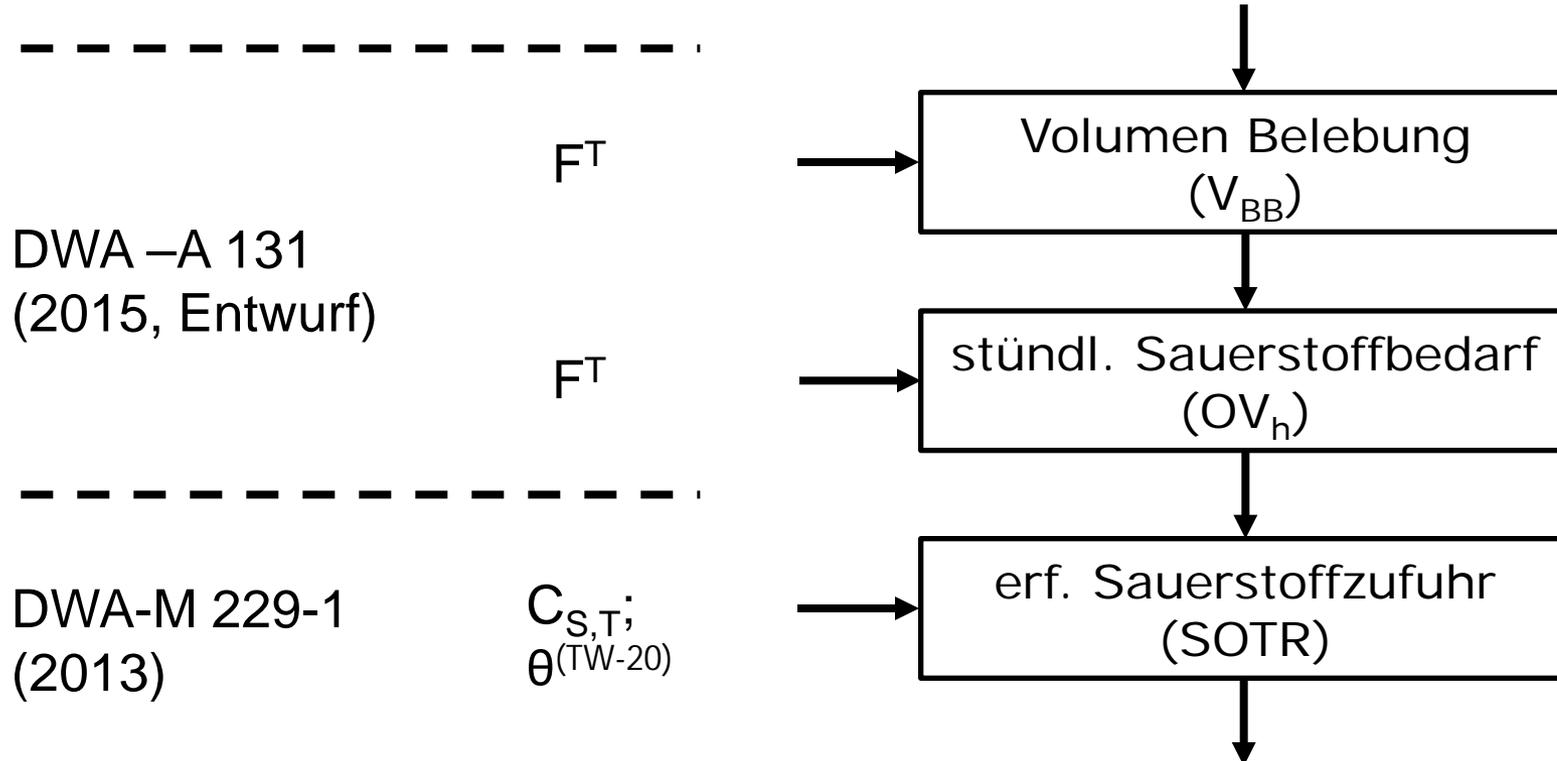


Belüftungssysteme bei extremen äußeren Rahmenbedingungen



Bemessung bei besonderen Rahmenbedingungen - Wassertemperatur

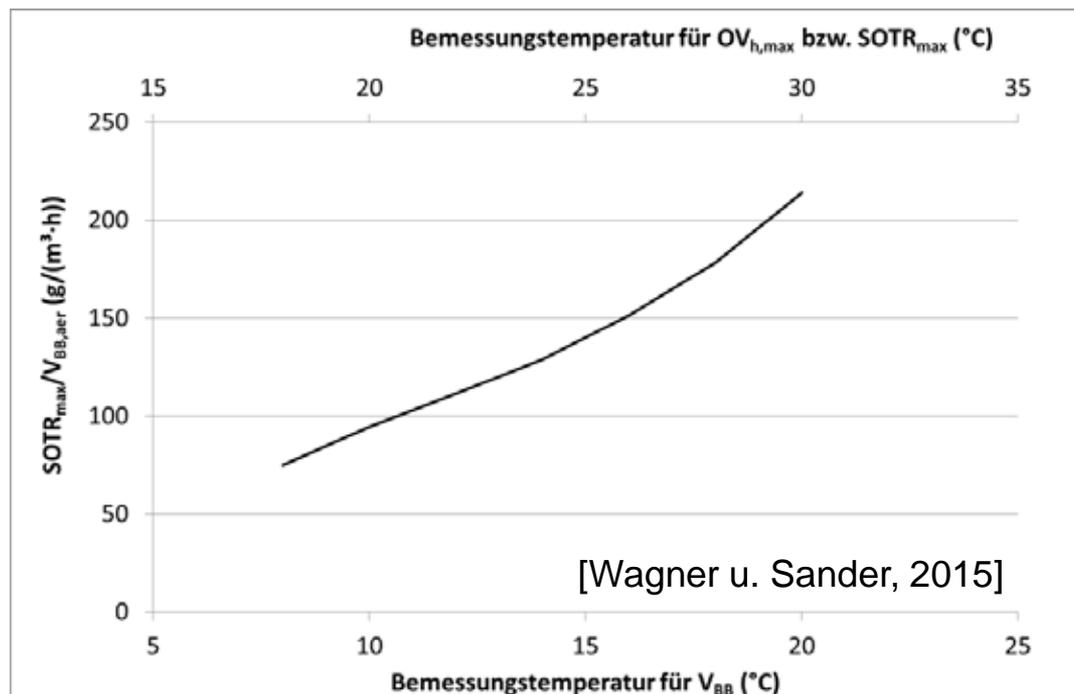
§ direkter und indirekter Einfluss der Wassertemperatur auf die Bemessung des Belüftungssystems



Bemessung bei besonderen Rahmenbedingungen - Wassertemperatur

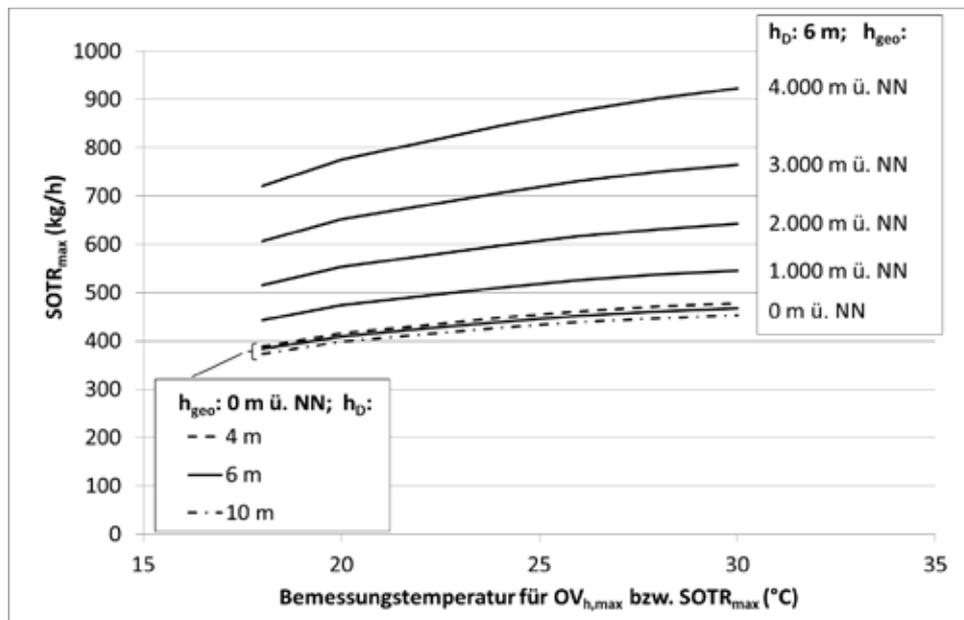
§ (Bemessungsbeispiel für Anlage mit 50.000 E)

§ mit steigender Wassertemperatur erhöht sich die erforderliche raumspezifische Sauerstoffzufuhr ($SOTR_{\max}/V_{BB}$ in $g/(m^3 \cdot h)$) erheblich!



Bemessung bei besonderen Rahmenbedingungen - Höhenlage

§ Druck beeinflusst O_2 -Sättigungskonzentration bei der Bemessung insbesondere über geodätische Höhe der Anlage h_{geo} (m ü. NN)



[Wagner u. Sander, 2015]

Stadt	Höhe m ü. NN	Einwohner Mio. EW
Lhasa	3.650	0,5
La Paz	3.600	0,9
Quito	2.850	1,4
Bogota	2.640	6,8
Mexico-City	2.310	8,8
Sana'a	2.250	2,5
Johannesburg	1.753	3,9
Nairobi	1.650	2,7
Ulaanbaatar	1.350	1,0
Teheran	1.191	8,8

§ (Einblastiefe h_D weitaus geringeren Einfluss auf Bemessung)

Bemessung bei besonderen Rahmenbedingungen - Salzgehalt

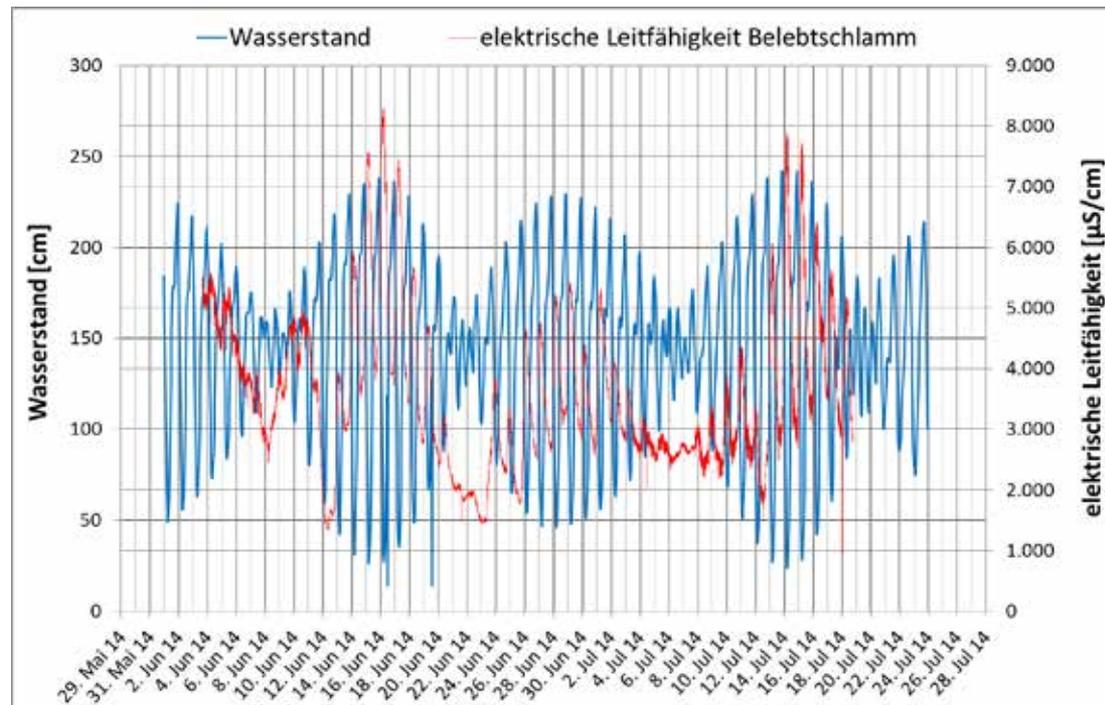
§ Salzkonzentrationen von mehreren g/L in kommunalen Abwässern sind bekannt bei:

§ Industrieeinleitern

[Sander et al., 2015]

§ Verwendung Meerwasser zur Toilettenspülung (etwa Hong Kong; TDS > 11 g/L)

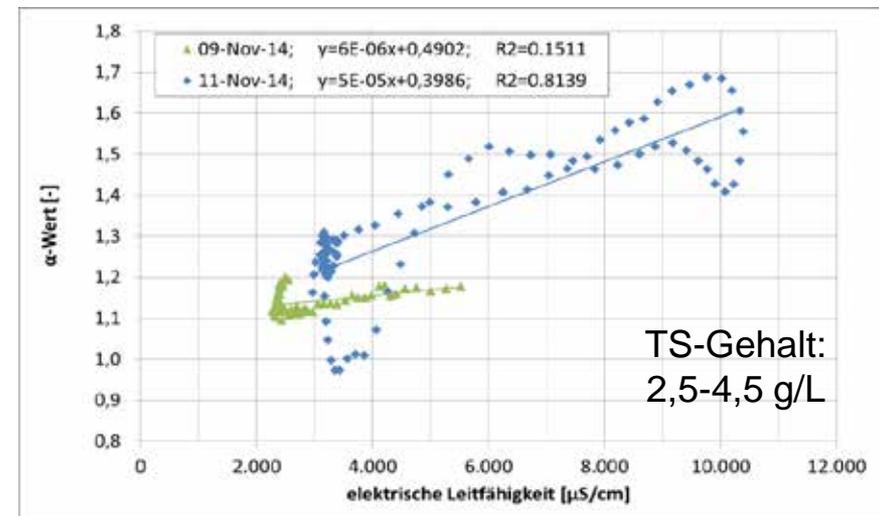
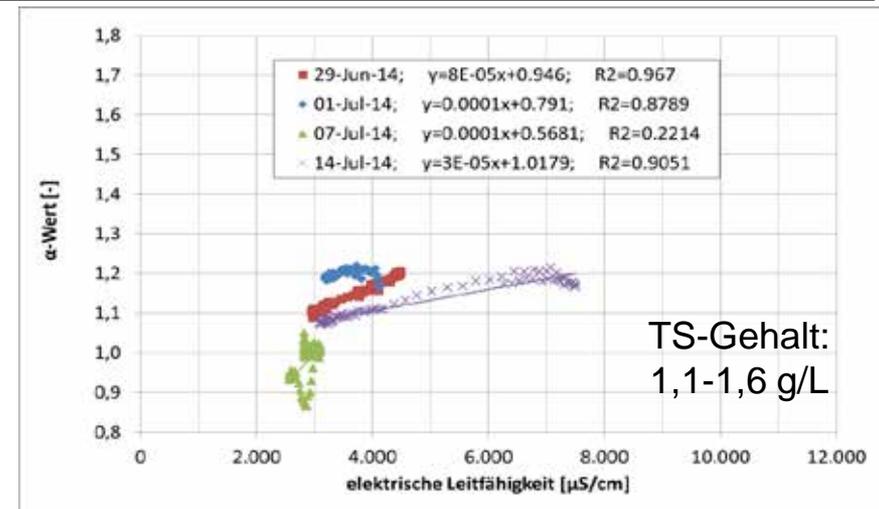
§ **Meerwassereinträge in undichte Kanäle** (s. Zusammenhang Tide und Leitfähigkeit in Haikou rechts; TDS > 6 g/L)



Bemessung bei besonderen Rahmenbedingungen - Salzgehalt

- § Sauerstoffzufuhrmessungen in Belebtschlamm bei erhöhten Salzgehalten
- § gemessene α -Werte meist deutlich über 1! [Sander et al., 2015]
- § deutlich höhere α -Werte als nach Bemessungsempfehlungen anzunehmen!

Verfahrensvariante	α_{min} (für maximalen Lastfall)	α_{mittel} (für mittleren Lastfall)	α_{max} (für minimalen Lastfall)
kontinuierlich betriebene Denitrifikation (sim., intern., altern., vorg.)	0,60	0,75	0,85
SBR-Verfahren zur Stickstoffelimination	0,50	0,65	0,80
MBR-Verfahren (TS ~ 12 g/L, τ_{TS} = 25 d)	0,50	0,60	0,70
simultane aerobe Stabilisierung	0,70	0,80	0,90
Kohlenstoffelimination	0,35	0,50 </td <td>0,60</td>	0,60



Bemessung bei besonderen Rahmenbedingungen - Salzgehalt

§ Beschreibung des Einflusses von Salzen (Meersalz, bzw. NaCl) auf Belüftungskoeffizienten über f_S :

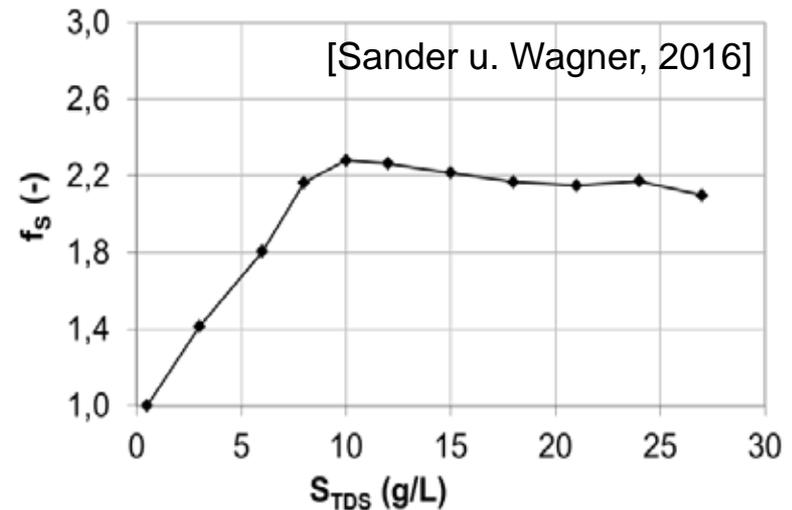
$$f_S = 1 + 0,08 \cdot S_{TDS} \quad [-]$$

§ S_{TDS} = Gehalt gelöster Salze [g/L]

§ Anwendungsbereich: $S_{TDS} < 10$ g/L

§ Bei $S_{TDS} > 10$ g/L; $f_S = 1,8$

§ (Ansatz mit benötigten Sicherheiten)



$$SOTR = \frac{f_d \cdot \beta \cdot C_{S,20}}{(\alpha \cdot f_S) \cdot \left(f_d \cdot \beta \cdot C_{S,T} \cdot \frac{p_{atm}}{1.013} - C_X \right) \cdot \theta^{(T_W-20)}} \cdot OV_h \quad (\text{kg/h O}_2)$$

Planerische und betriebliche Aspekte von Belüftungssystemen im Ausland



- § üblichen Empfehlungen bzgl. Wartung und Instandhalten des Belüftungssystems (s. DWA-M 229-2, 2015, Entwurf) sind zu berücksichtigen

- § zudem gilt **in kalten und warmen klimatischen Regionen** [Wagner u. Günkel, 2010]:
- § α -Wert nicht von Wassertemperatur abhängig (Arbeitshypothese wurde im Rahmen des Projekts falsifiziert; Ergebnisse hier nicht dargestellt)
- § Kondenswasserablässe bei Druckluftbelüftungssystemen vorgesehen, da Druckluft in Leitungen im Wasser abkühlt
- § Druckluftgebläse in einem Gebläsehaus aufstellen und Oberflächenbelüftungssysteme einhausen.

Planerische und betriebliche Aspekte von Belüftungssystemen im Ausland

§ **in kalten klimatischen Regionen** gilt:

- § Oberflächenbelüftungssysteme: Gefahr der Entstehung von Unwuchten durch Eisbildung
- § Druckbelüftungssysteme: Bei Außenaufstellung der Gebläse Heizung unter Schallhauben vorsehen

§ **in warmen klimatischen Regionen** gilt:

- § Nitrifikation kann u.U. stattfinden auch wenn nur auf C-Elimination bemessen wird (erhöhter Sauerstoffverbrauch!)
- § Gebläse nur innen aufstellen oder zumindest Wetterdach vorsehen (Gefahr Sonneneinstrahlung)
- § Sandfallen in Ansaugschächten der Gebläsehäuser wenn Gefahr von Sandstürmen vorhanden
- § Temperatur der Druckluft an Belüftern $< 60^{\circ}\text{C}$ halten

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- § Belüftungssysteme sind der größte Energieverbraucher bei der Abwasserbehandlung → **hohes Optimierungspotenzial**
- § **präzise Bemessung** ist Voraussetzung für energieeffizienten Betrieb
- § Berücksichtigung **äußerer Rahmenbedingungen** gerade bei Anlagen im Ausland relevant, etwa:
 - § Wassertemperatur
 - § Geodätische Höhe Anlage
 - § Salzgehalt
- § α -Wert nicht von Wassertemperatur abhängig
- § in kalten und warmen klimatischen Regionen sind bei Belüftungssystemen **weitere planerische und betriebliche Aspekte** zu berücksichtigen

Veröffentlichungen

- § DWA-M 229-1 (2013, zurzeit in Überarbeitung): DWA-Merkblatt M 229, Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen, Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V, Hennef
- § Sander, S.; Günkel-Lange, T.; Wagner, M. (2015): New Developments in the Design of Aeration Systems for Activated Sludge Plants, in: 12th IWA Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, IWA-Konferenz, 6.–9.09.2015, Prag
- § Sander, S.; Wagner, M. (2016, zurzeit im review Prozess): Energy Saving Potentials of Aeration Systems for WWTPs treating Highly Saline Wastewater, auf: Singapore International Water Week, IWA-Konferenz, 10.–14.07.2016, Singapur
- § Wagner, M.; Günkel, T. (2010): Belüftungssysteme in kalten und warmen Klimaten, in: Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und –entsorgung, Teil II: Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung Band 2, Leitfaden zur Abwassertechnologie in anderen Ländern; Ruhr-Universität Bochum (Hrsg.)
- § Wagner, M.; Sander, S. (2015): Belüften unter besonderen Rahmenbedingungen, in: Belüftung auf Abwasserreinigungsanlagen, ÖWAV-Seminar, 19.05.2015, Wien

Wir danken dem BMBF für die finanzielle Unterstützung!



Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wagner
M.Sc. Stephan Sander

TU Darmstadt, Institut IWAR
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt
m.wagner@iwar.tu-darmstadt.de
s.sander@iwar.tu-darmstadt.de
www.iwar.tu-darmstadt.de

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Dr.-Ing. Jiansan Zhang
Bilfinger Water Technologies GmbH

