

# Anpassung und Validierung deutscher Standards für Kläranlagen im Ausland

-

## Entwicklung und Validierung eines Bemessungsalgorithmus für Tropfkörper unter Berücksichtigung klimatischer Randbedingungen

Universität Stuttgart  
Institut für Siedlungswasserbau-,  
Wassergüte- und Abfallwirtschaft  
(ISWA)

Prof. Dr.-Ing. H. Steinmetz

Dipl.-Ing. RBM C. Meyer

M.Sc. M. Seeger



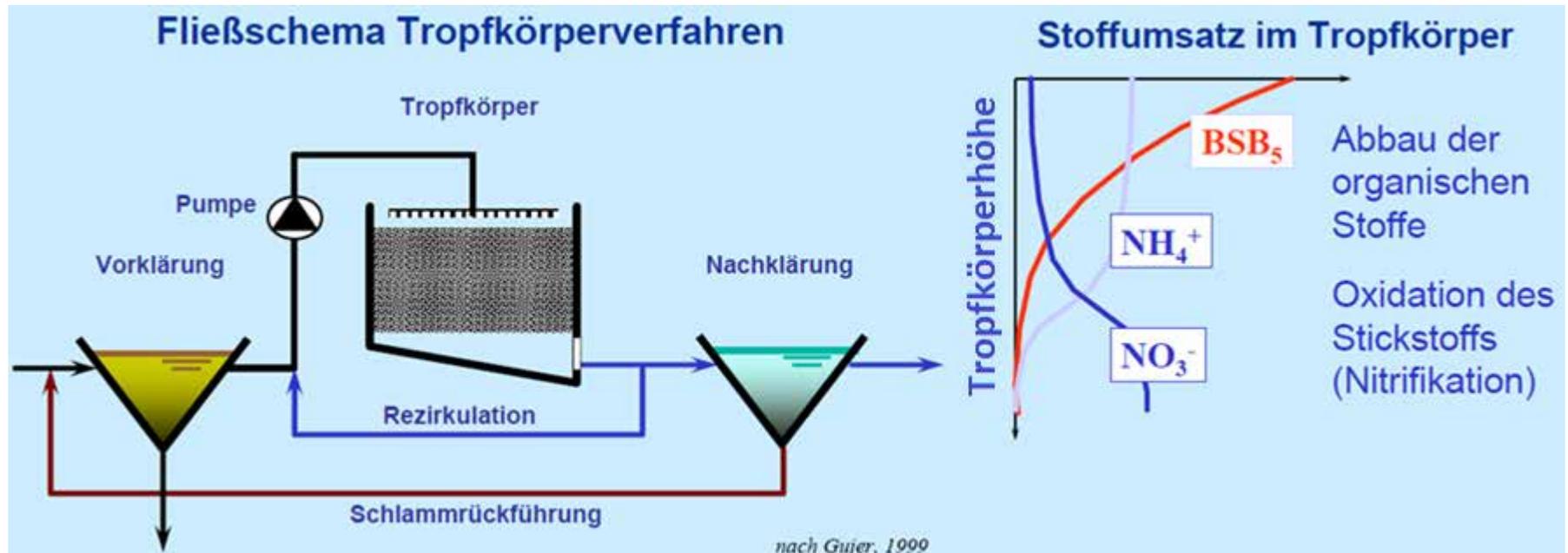
GEA 2H Water Technologies GmbH  
Büro Hürth

Dr.-Ing. C.-D. Henrich

Dipl.-Wi.-Ing. M. Marggraff

## Das Tropfkörperverfahren

- Ø Gehört zu den biologischen Reinigungsverfahren
- Ø Sessile Organismen zur Abwasserreinigung befinden sich auf dem Füllmaterial
- Ø Pfropfenströmung: fortschreitender Abbau der Schmutzstoffe in Fließrichtung
- Ø Black-Box Verfahren: Biomassekonzentration, aktive Biomasse und Zustand der Biomasse (Benetzung mit Abwasser, Verstopfung..) können nicht eingesehen werden → Führt zu empirischen Bemessungsansätzen wie z.B. dem ATV-A 281







## Dimensionierung von Tropfkörpern in Deutschland – ATV-A 281

BSB<sub>5</sub>-Raumbelastung:

$$V_{TK,C} = B_{d,BSB,ZB} / B_{R,BSB} \quad [m^3] \quad (1)$$

zuzüglich bei Nitrifikation:

$$V_{TK,N} = B_{d,TKN,ZB} / B_{R,TKN} \quad [m^3] \quad (2)$$

Das Gesamtvolumen ergibt sich damit zu:

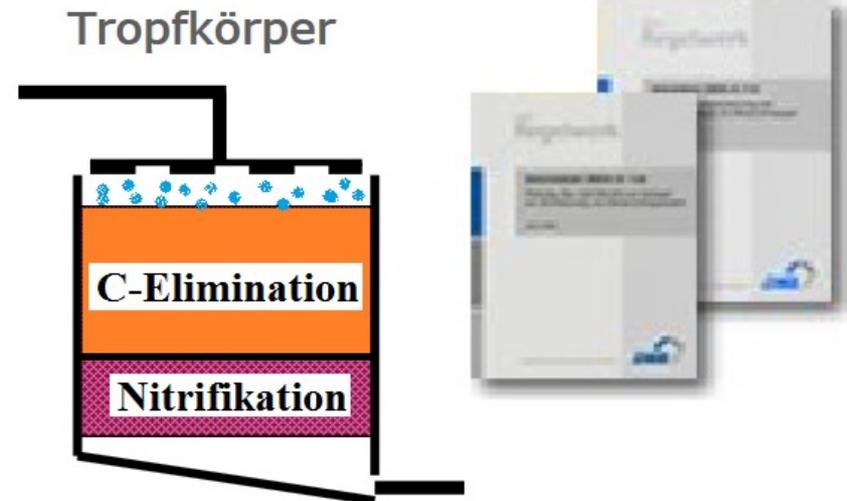
$$V_{TK} = V_{TK,C} + V_{TK,N} \quad [m^3] \quad (3)$$

Für Kohlenstoffabbau:

$$BSB_5\text{-Raumbelastung } B_{R,BSB} \leq 0,4 \text{ kg}/(m^3 \cdot d)$$

Für Nitrifikation:

$$TKN\text{-Raumbelastung } B_{R,TKN} \leq 0,1 \text{ kg}/(m^3 \cdot d)$$



**Keine Berücksichtigung der  
Abwassertemperatur und der  
Ablaufkonzentrationen**

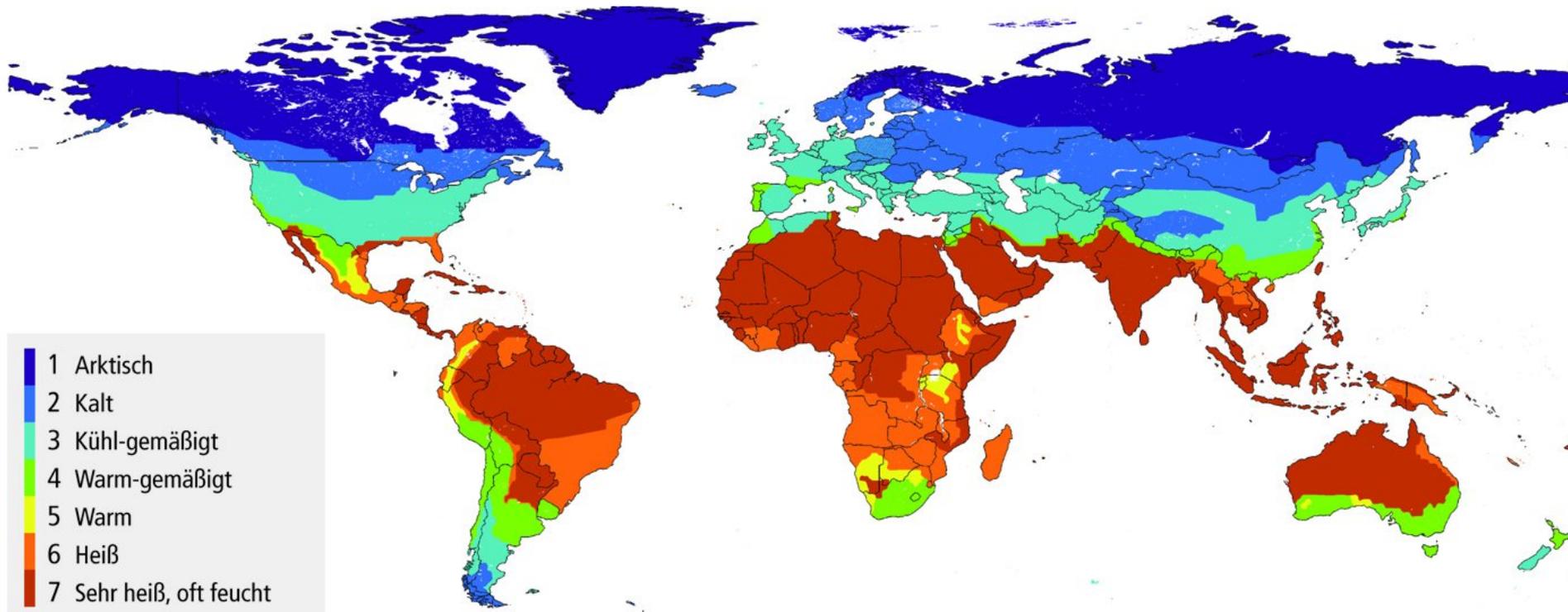


## Einsatzfähigkeit des ATV-A 281 im Ausland / in anderen Klimazonen?

Erfolgt keine Berücksichtigung der Abwassertemperatur kann das eine...

...Überdimensionierung von TK in warmen Klimazonen oder eine...

...Unterdimensionierung in kalten Klimazonen zur Folge haben



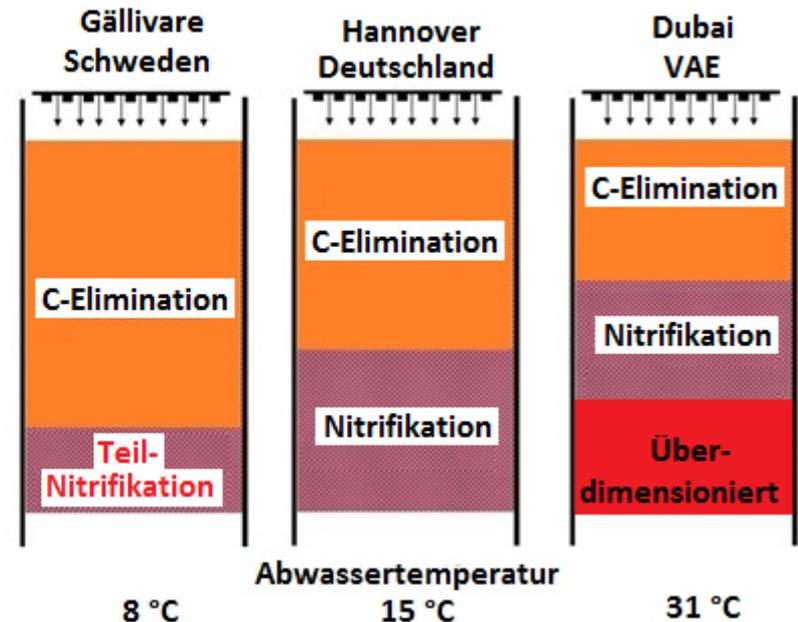
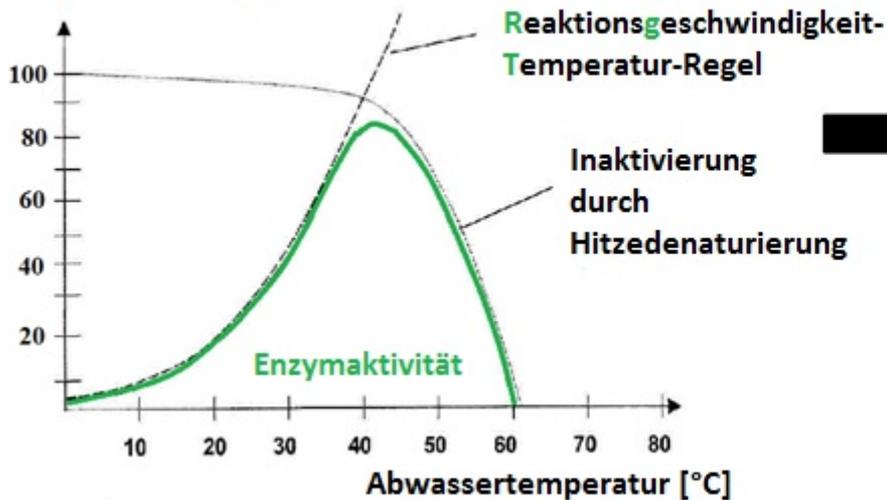
## Einsatzfähigkeit des ATV-A 281 im Ausland / in anderen Klimazonen?

Erfolgt keine Berücksichtigung der Abwassertemperatur kann das eine...

...Überdimensionierung von TK in warmen Klimazonen oder eine...

...Unterdimensionierung in kalten Klimazonen zur Folge haben

relative  
 Enzymaktivität [%]



## Wieso ist die Anpassung der TK-Bemessung an andere Klimazonen erstrebenswert?

Warme (subtropische und tropische Klimate) finden sich vorrangig in Entwicklungsländern mit einer unzureichenden Verbreitung von Abwasserbehandlungsanlagen und oftmals einem geringen technischen Know-How über deren Betrieb.

### Tropfkörper bieten...

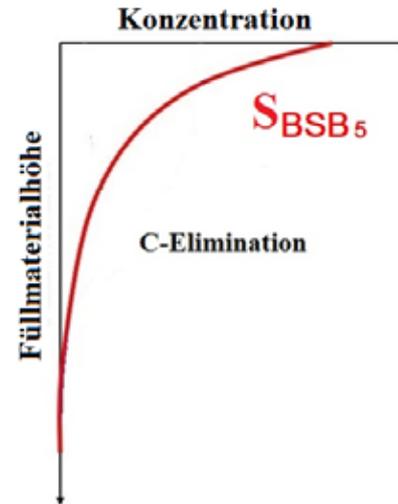
- ein stabiles Verfahren mit...
- einem niedrigen Technologisierungsgrad (kaum Messtechnik notwendig) und...
- einem geringen Energieverbrauch, dass...
- aus robusten Komponenten besteht und damit langlebig ist



## Internationale Ansätze mit Berücksichtigung der Abwassertemperatur

C-Elimination nach der  
modifizierten Velz-Gleichung:

$$S_{out} = \frac{S_{in}}{\exp\left(\frac{k_{20} \cdot A_s \cdot D \cdot \theta^{T-20}}{q_A^n}\right)}$$

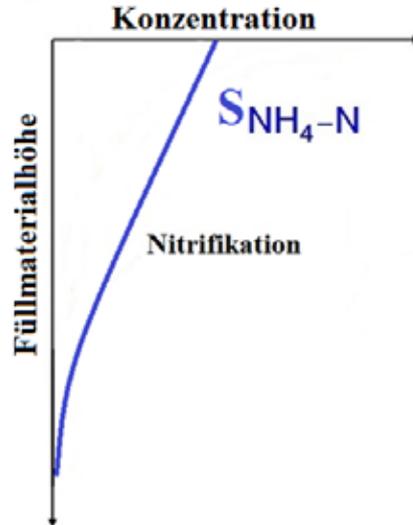


	Erforderlicher Datenumfang	Anwendung	Ablaufkonzentration	Transparenz d. Ansatzes	Berücksichtigung d. Temperatur	Kohlenstoffelimination	Nitrifikation
Mod. Velz	mittel	einfach	x	x	x	x	
Gujer & Boller	mittel	einfach	x	x	x		x
Pressinotti	mittel	mittel		x	x	x	(x)*
ATV-A 281	wenig	einfach		x	<b>NEIN</b>	x	x
Wolf	wenig	einfach		x	x (bis 20°C)	x	x
Logan	viel	schwierig	x		x	x	

\* Teilnitrifikation



## Internationale Ansätze mit Berücksichtigung der Abwassertemperatur



Nitrifikation nach  
Gujer & Boller:

$$\frac{\delta S}{\delta h} = -\frac{A_s}{q_A} \cdot j_{N,max}(T)$$

$$j_{N,max}(T) = j_{N,max}(10) \cdot e^{0,044(T-10)} \cdot \frac{S_N}{N + S_N}$$

	Erforderlicher Datenumfang	Anwendung	Ablaufkonzentration	Transparenz d. Ansatzes	Berücksichtigung d. Temperatur	Kohlenstoffelimination	Nitrifikation
Mod. Velz	mittel	einfach	x	x	x	x	
Gujer & Boller	mittel	einfach	x	x	x		x
Pressinotti	mittel	mittel		x	x	x	(x)*
ATV-A 281	wenig	einfach		x	NEIN	x	x
Wolf	wenig	einfach		x	x (bis 20°C)	x	x
Logan	viel	schwierig	x		x	x	

\* Teilnitrifikation



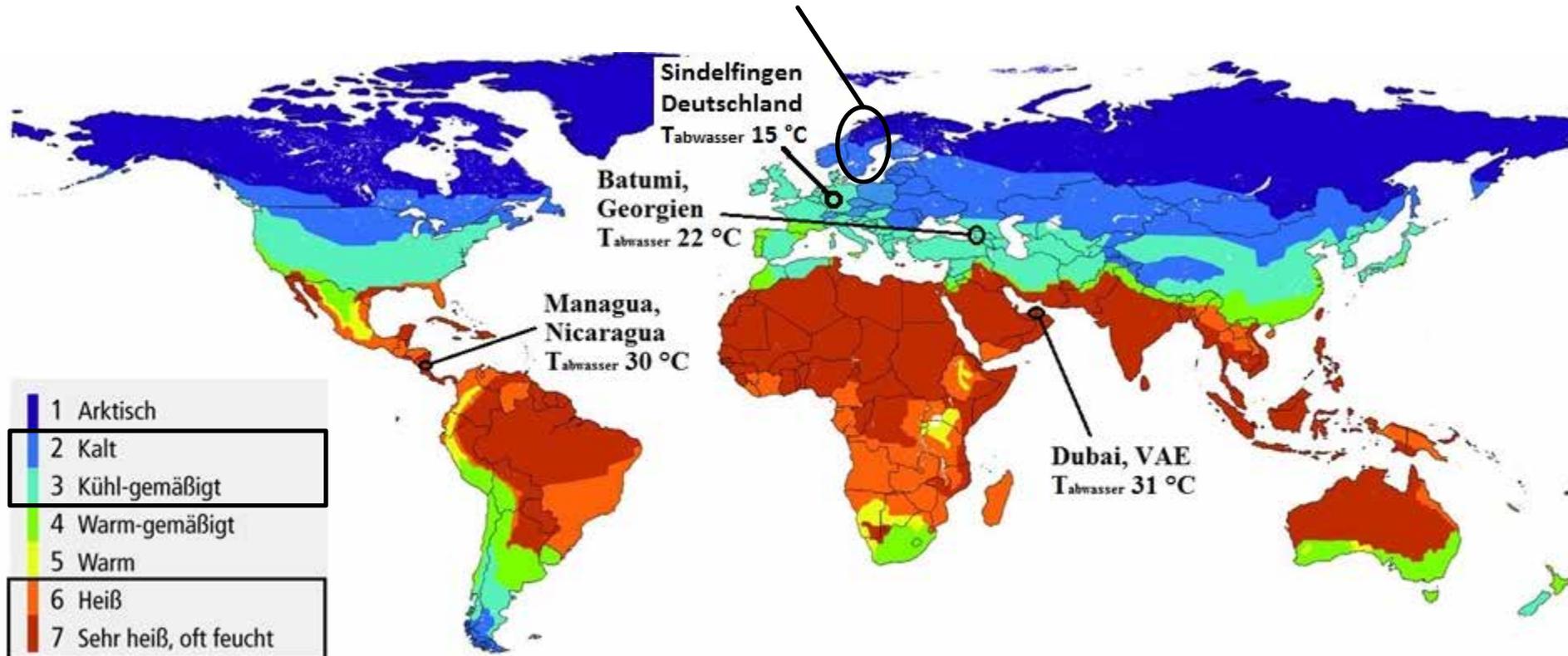
## Vorgehen bei der Kombination, Modifizierung und Validierung der Gleichungen

- 1. Erzeugung einer Datengrundlage**  
Durchführung von Messkampagnen in warmen und gemäßigten Klimazonen, Datenübernahme von Anlagen in kalten Klimazonen und Versuche im halbtechnischen Maßstab am ISWA (Universität Stuttgart)
- 2. Kombination und Modifizierung der Gleichungen**  
nach den Ergebnissen aus der Datenauswertung
- 3. Validierung der modifizierten Gleichungen**  
Nachrechnung von Anlagen mit realen Betriebsdaten



## 1. Erzeugung einer Datengrundlage (technische Anlagen)

Datenübername von TK-Anlagen in kalten Klimaten  
(Malmö, Göteborg, Kalix; alle in Schweden,  $T_{\text{abwasser}}$  häufig  $< 12\text{ °C}$ )



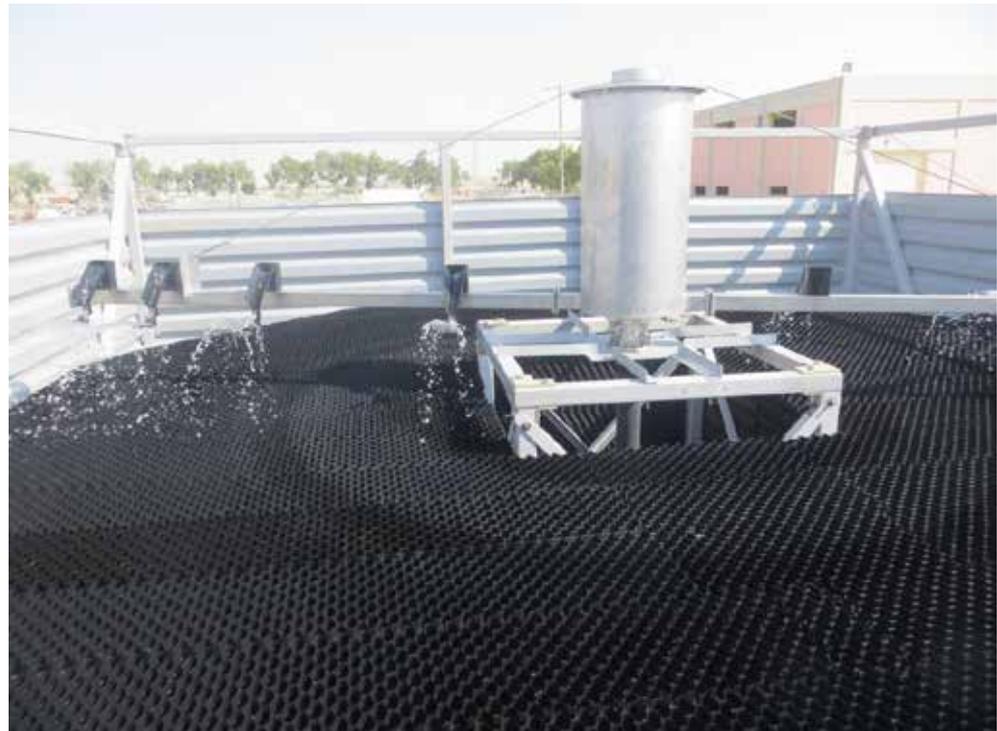


## 1. Erzeugung einer Datengrundlage (halbtechnische Anlagen)



### Zwei baugleiche halbtechnische TK

- TK 1 zur C-Elimination (29.10.2013 – 19.08.2014)
- TK 2 zur Nitrifikation (24.11.2013 – 14.08.2014)



### Technische Daten:

Füllmaterialhöhe: 2,40 m

Durchmesser: 5,8 m

Füllmat.: Crossflow von GEA 2H

TK 1: 125 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> und 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

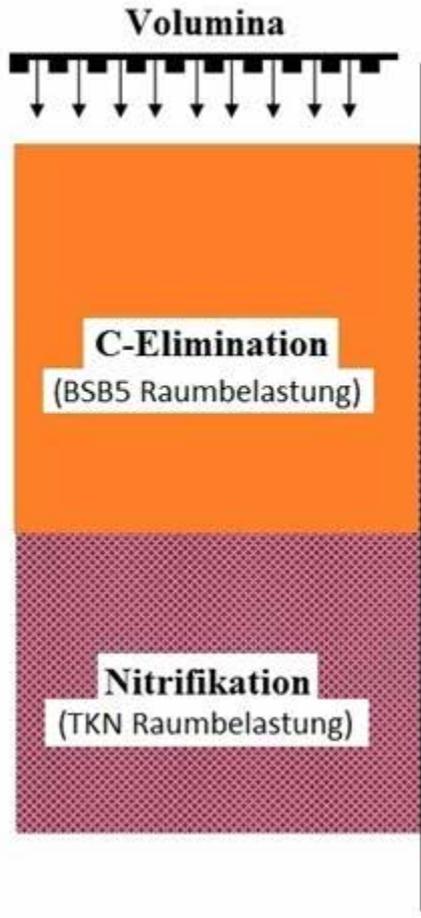
TK 2: 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> und 240 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>



## 2. Gewählte Gleichungen und deren Kombination

ATV-A 281

Gewählter Ansatz



Konzentration

$S_{BSB5}$

$S_{NH_4-N}$

modifizierte Velz Gleichung

$$S_{out} = \frac{S_{in}}{\exp\left(\frac{k_{20} \cdot A_s \cdot D \cdot \theta^{T-20}}{q_A^n}\right)}$$

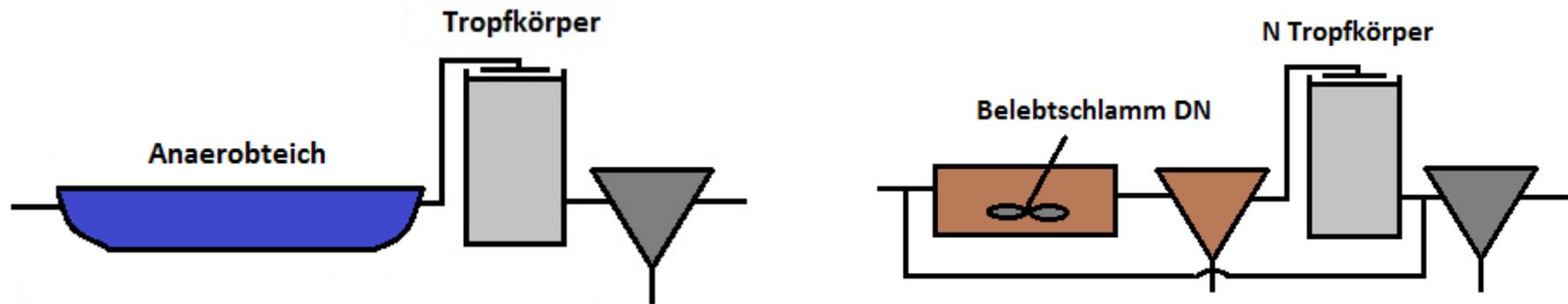
+ ( Beginn der Nitrifikation ab  
20 - 30 mg/l BSB5,gelöst )

Gujer & Boller Gleichung

$$\frac{\delta S}{\delta h} = -\frac{A_s}{q_A} \cdot j_{N,max}(T) \quad j_{N,max} = j_{N,max}(10) \cdot e^{0,044(T-10)} \cdot \frac{S_N}{N + S_N}$$

## 2. Anpassung der Gleichungen: Umstellung von $S_{BSB_5}$ auf $S_{CSBbio}$

- Ø **Wieso:** 1) Kombination mit anderen Reinigungsverfahren  
(Schnittstelle CSB und nicht  $BSB_5$ )



- 2)  $BSB_5$  ist aufwendig in der Messung und hat folgende Probleme:
- Verdünnung der Probe und damit abweichende kinetische Abläufe während der Messung im Vergleich zu denen im Reaktor
  - Der Abbau des organischen Materials ist unvollständig und die Wahl von 5 Tagen ist willkürlich im Hinblick auf die ablaufenden Reaktionen
- [Logan & Wagenseller, 2000]

- Ø **Wie:** Fraktionierung von CSB nach den Vorgaben des novellierten ATV-A 131 Berücksichtigung der Fraktionen:  $S_{CSBbio}$ ,  $S_{CSBinert}$ ,  $X_{CSB}$



## 2. Anpassung der Gleichungen: Umstellung von $S_{BSB5}$ auf $S_{CSBbio}$

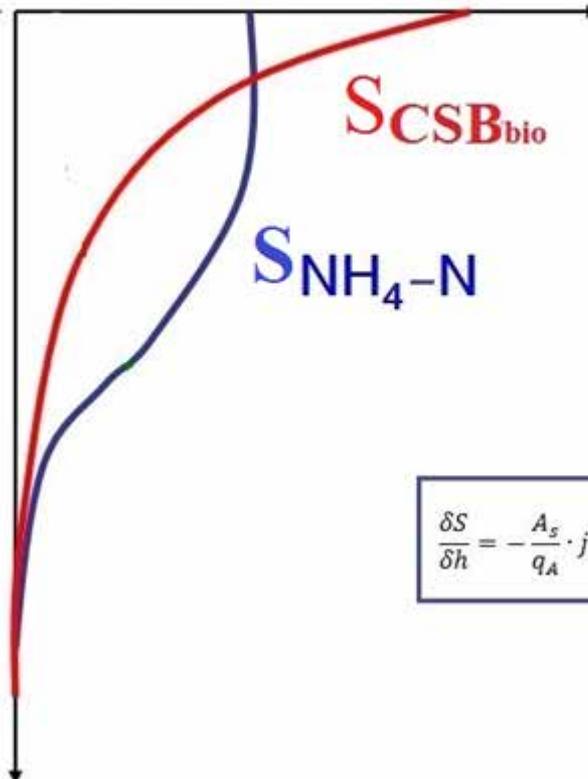
ATV-A 281

Gewählter Ansatz

Volumina



Konzentration



modifizierte Velz Gleichung

$$S_{out} = \frac{S_{in}}{\exp\left(\frac{k_{20} \cdot A_s \cdot D \cdot \theta^{T-20}}{q_A^n}\right)}$$

+ ( Beginn der Nitrifikation ab  
Grenzkonz. mg/l  $S_{CSBbio}$  )

Gujer & Boller Gleichung

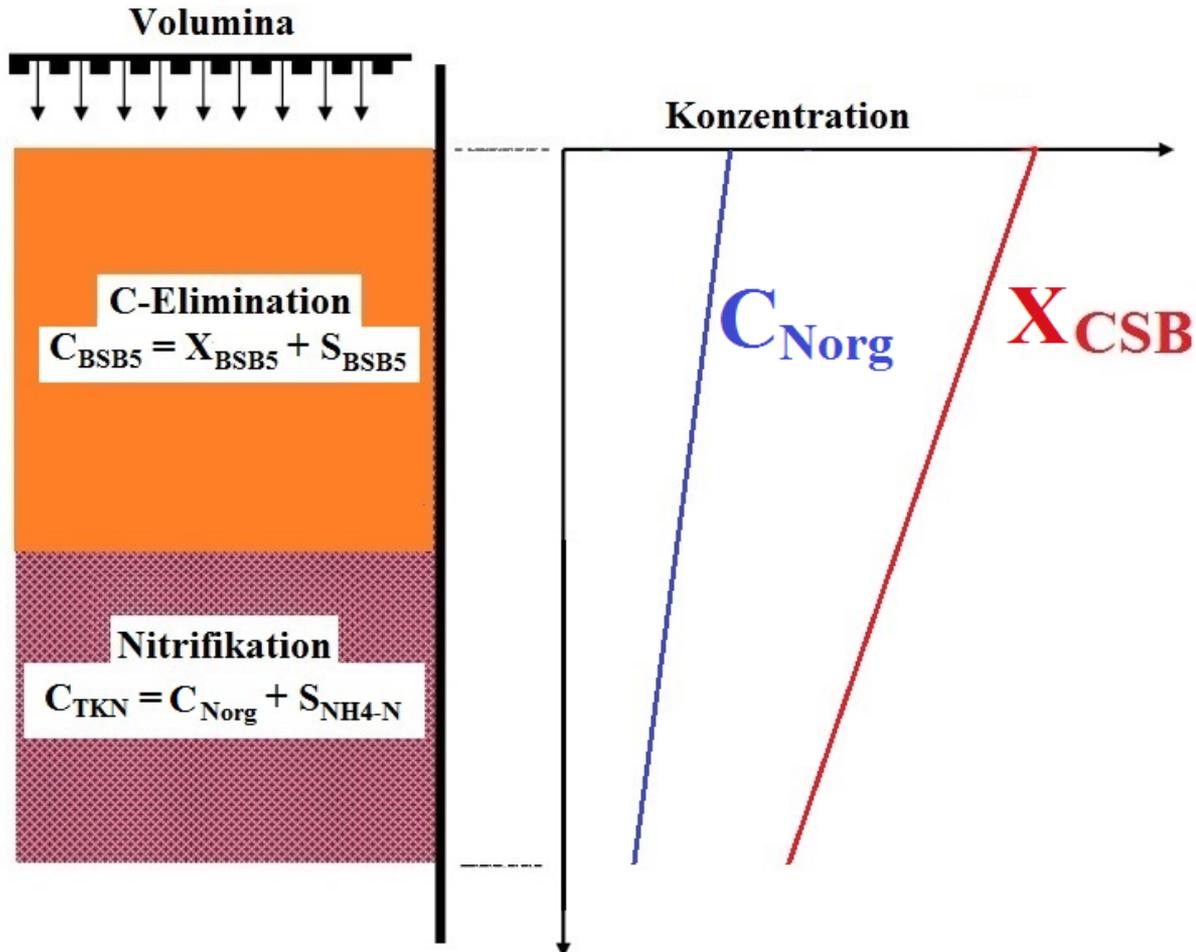
$$\frac{\delta S}{\delta h} = -\frac{A_s}{q_A} \cdot j_{N,max}(T) \quad j_{N,max} = j_{N,max}(10) \cdot e^{0,044(T-10)} \cdot \frac{S_N}{N + S_N}$$



## 2. Anpassung der Gleichungen: Hydrolyse $AFZ_{ZU,TK}$ im Tropfkörper

ATV-A 281

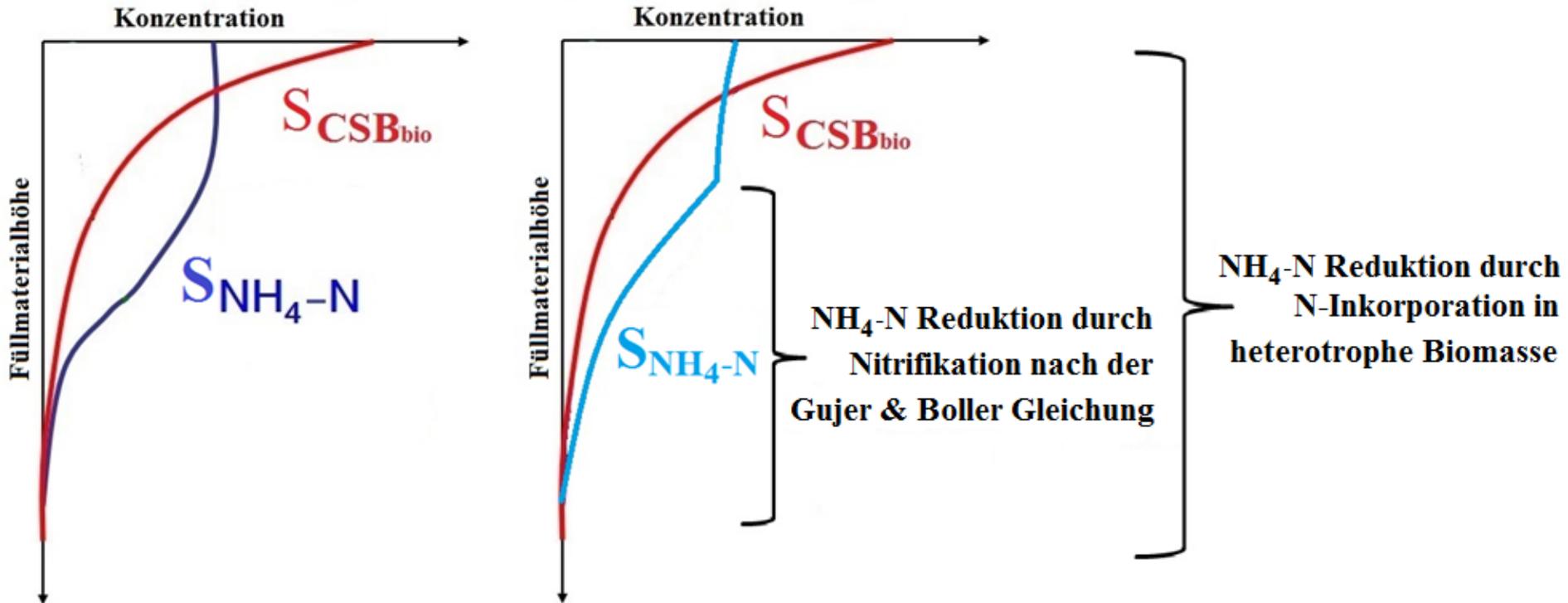
Gewählter Ansatz



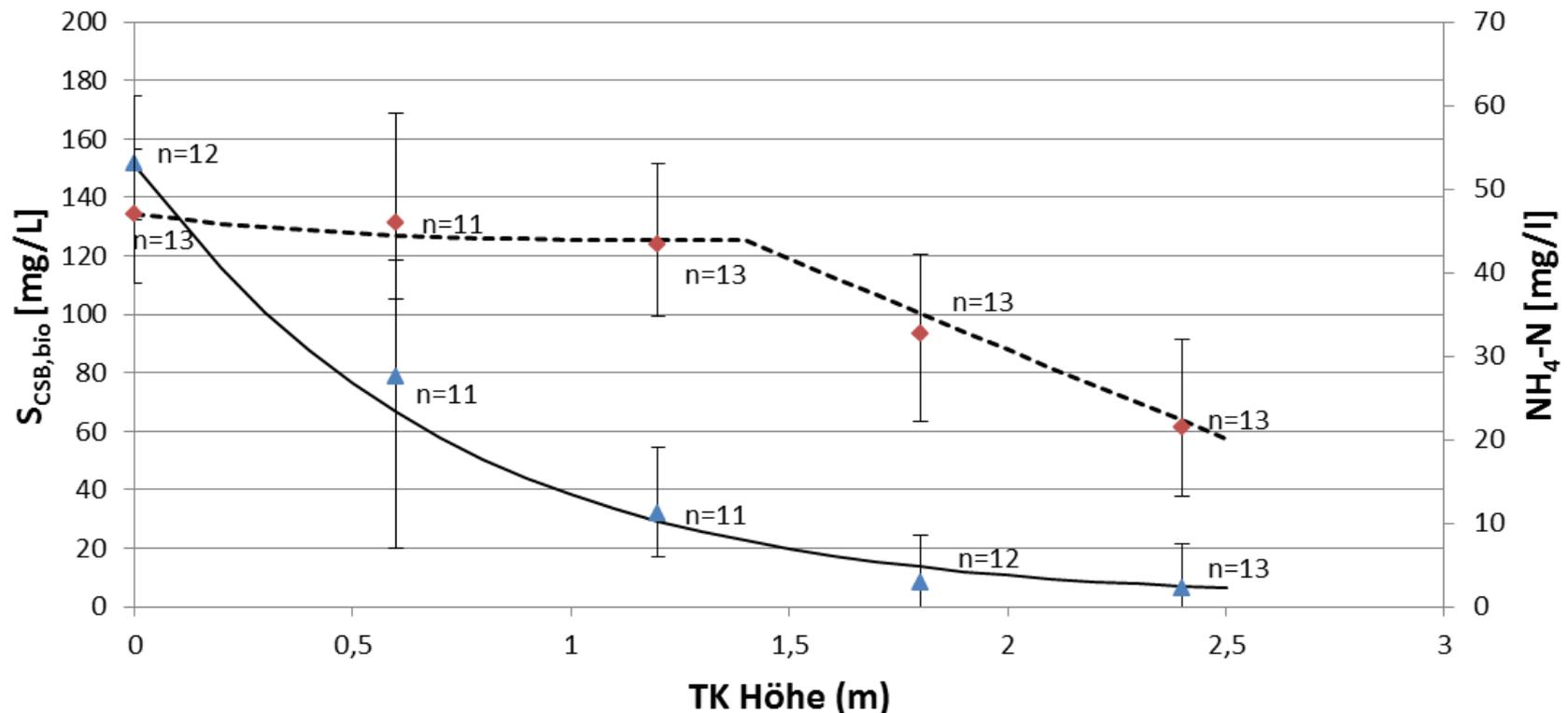
Hydrolyse von  $X_{CSB}$  und  $C_{Norg}$   
zu  $S_{CSBbio}$  und  $S_{NH4-N}$   
linear über die Tropfkörperhöhe



## 2. Anpassung der Gleichungen: N-Inkorporation in heterotrophe BM



## 2. Nachrechnung des Höhenprofils einer Pilotanlage in Dubai mit dem erarbeiteten Algorithmus



▲ SCSB,bio gemessen (SCSB - SCSB,inert)

◆ NH<sub>4</sub>-N gemessen

— SCSB,bio berechnet (Algorithmus nach Velz)

- - - - NH<sub>4</sub>-N berechnet (Algorithmus nach G&B)

## Beispiel: Auslegung der Anlage in Managua (Kunststoff Cross-Flow, 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

### Nach ATV-A 281

BSB<sub>5</sub>: 20.200 kg/d  
B<sub>R,BSB</sub>: 0,5 kg/(m<sup>3</sup>·d)  
Max. Raumbelastung  
für das Reinigungsziel  
Kohlenstoffelimination

### Algorithmus

X<sub>CSB</sub>: 218 mg/l  
S<sub>CSB</sub>: 111 mg/l  
S<sub>CSBinert</sub>: 30 mg/l  
S<sub>CSBbio</sub>: 81 mg/l

### Vorhandene Anlage



### Berechnetes Volumen:

40.400 m<sup>3</sup>

### Aktives Volumen:

23.062 m<sup>3</sup>

19.628 m<sup>3</sup>

Bei 5,1 m Höhe und 35 m Durchmesser (*vorhandene Abmessungen*) entspricht dies:

8,2 Tropfkörper

(S<sub>CSB,Ablauf</sub> = unbekannt)

4,7 Tropfkörper

(S<sub>CSB,Ablauf</sub> = 47 mg/l)

4 Tropfkörper

(S<sub>CSB,Ablauf</sub> = 48,4 mg/l)



## Fazit:

- 1) Verwendung etablierter Bemessungsansätze mit Berücksichtigung der Abwassertemperatur
- 2) Kombination der Bemessungsansätze für Kohlenstoffelimination und Nitrifikation
- 3) **Umstellung** des organischen Summenparameters à  $BSB_5$  auf CSB
- 4) Berücksichtigung der Hydrolyse von Zulauf-AFS im Tropfkörper
- 5) N-Inkorporation in heterotrophe Biomasse
- 6) **Validierung des neuen Algorithmus:**
  - ∅ Berechnungen stimmten gut mit realen Datensätzen überein

Bsp. Managua:	ATV-A 281:	8,7 TK
	Algorithmus:	4,7 TK
	Aktuell in Betrieb:	4 TK

Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit  
und

einen besonderen Dank an das BMBF für die Förderung  
des EXPOVAL Projekts

Universität Stuttgart  
Institut für Siedlungswasserbau-,  
Wassergüte- und Abfallwirtschaft  
(ISWA)

Prof. Dr.-Ing. H. Steinmetz  
Dipl.-Ing. RBM C. Meyer  
M.Sc. M. Seeger



GEA 2H Water Technologies GmbH  
Büro Hürth

Dr.-Ing. C.-D. Henrich  
Dipl.-Wi.-Ing. M. Marggraff