



BMBF-Verbundprojekt EXPOVAL „Anpassung und Validierung deutscher Standards für Kläranlagen im Ausland“

Anaerobe Kommunalabwasserbehandlung – Erfahrungen, Probleme, Bemessungshinweise

Prof. Dr.-Ing. K.-H. Rosenwinkel (LUH)

Klaus Nelting, M.Sc. (LUH)

München, Juni 2016

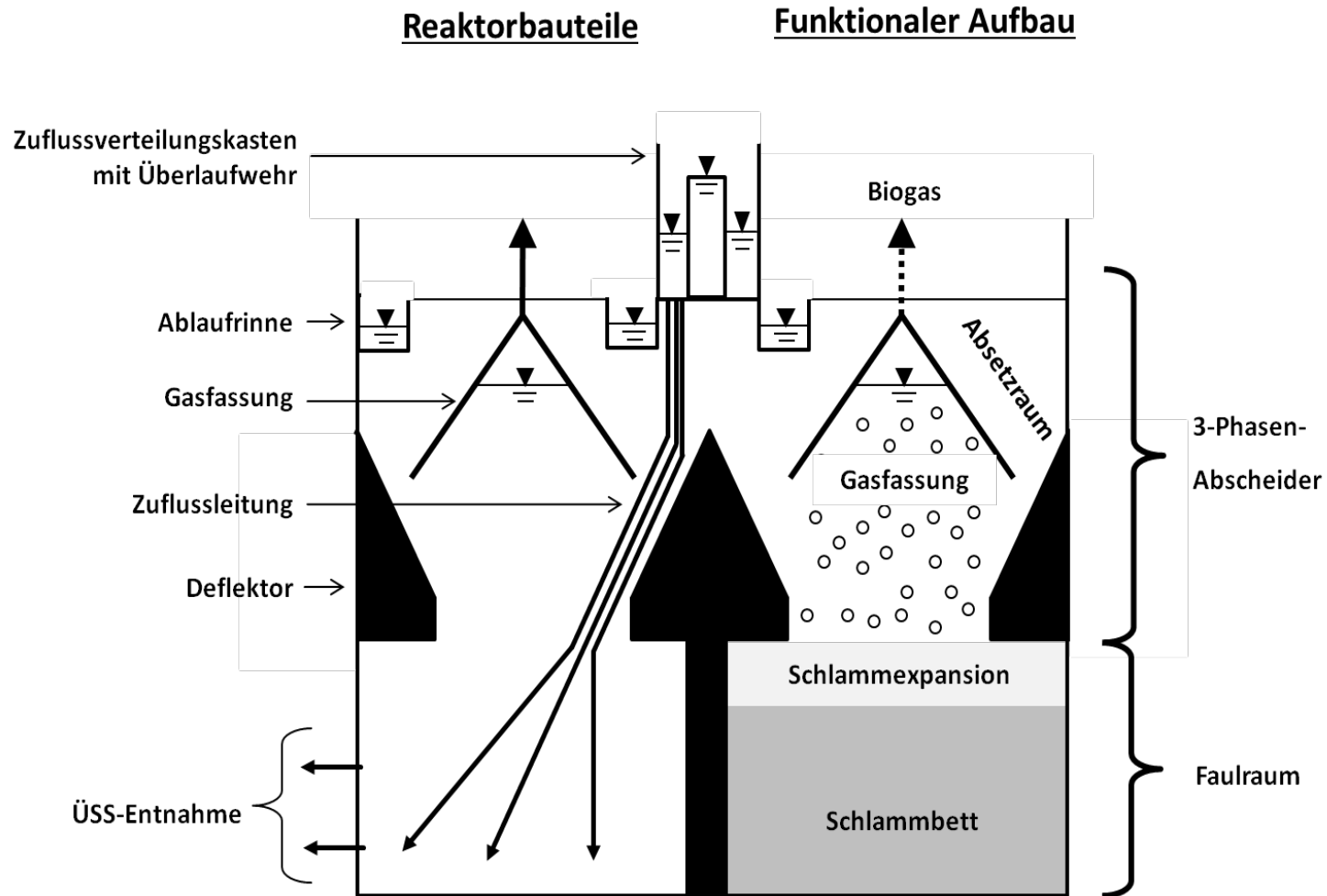


Inhalt

- **Anaerobe Kommunalabwasserbehandlung (AnaKomA)**
 - UASB Reaktoren
 - Relevanz
 - Existierende Bemessungsregelwerke und -hinweise
- **Material und Methoden**
 - Labor- und halbtechnische Versuche sowie Großtechnische Untersuchungen
- **Validierungsergebnisse (Auswahl)**
 - Abbau von gelöstem CSB
 - Rückhalt und Abbau von Feststoffen
 - Gastransfer
- **NEUER Bemessungsansatz**
- **Zusammenfassung**

Anaerobe Kommunalabwasserbehandlung

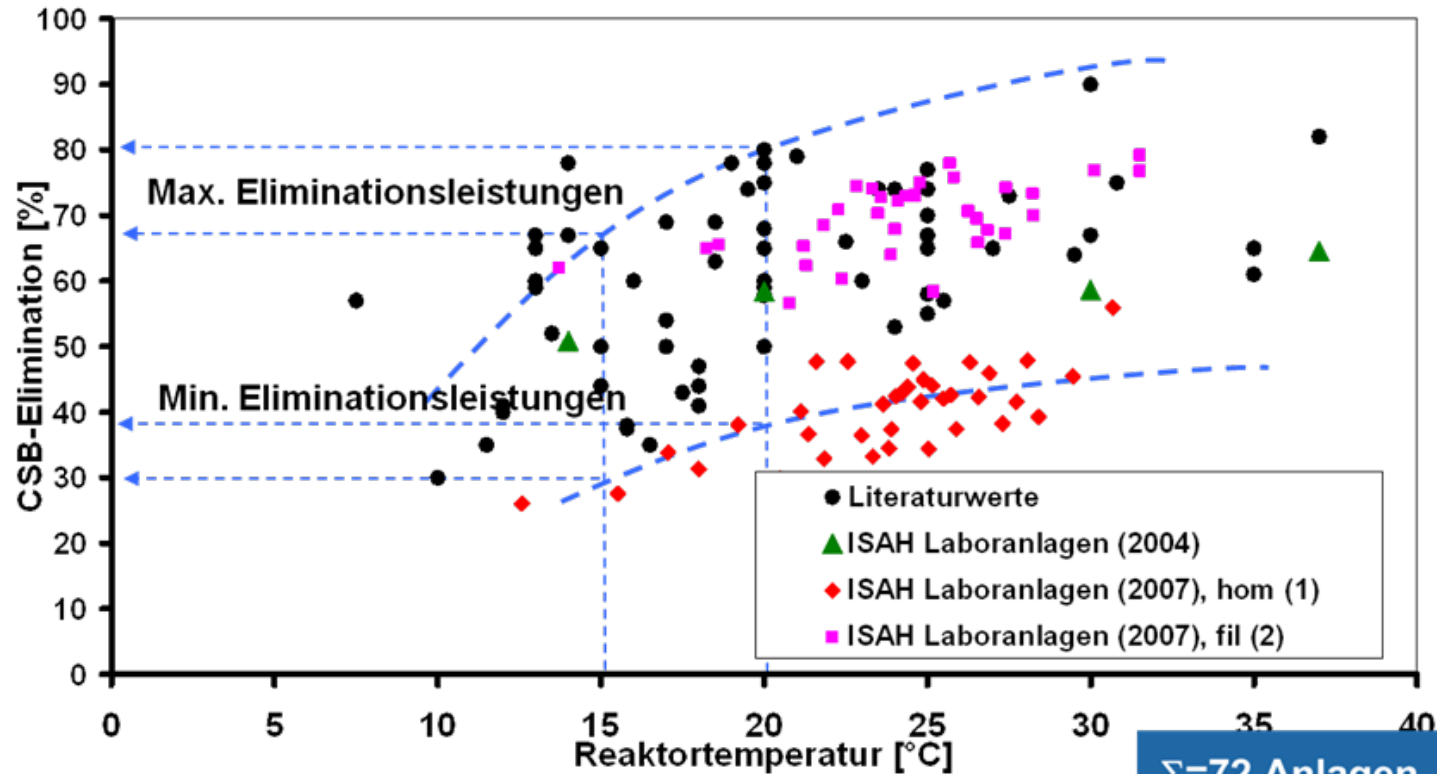
UASB Reaktor



[Nelting, 2016, angepasst nach van Lier et al., 2010]

CSB-Elimination verschiedener UASB-Reaktoren

[Quellen: Abdel-Halim(2005), Elmitwalli(1999), Seghezze(2004), Singh(1999)]



- 1) Berücksichtigung der CSB_{hom} -Ablaufwerte
- 2) Berücksichtigung der CSB_{fil} -Ablaufwerte

$\Sigma=72$ Anlagen

HRT = 2-25 h
(im Mittel 9h)

$CSB_{zu} = 300-800 \text{ mg/L}$

Validierungsergebnisse

Betriebsprobleme

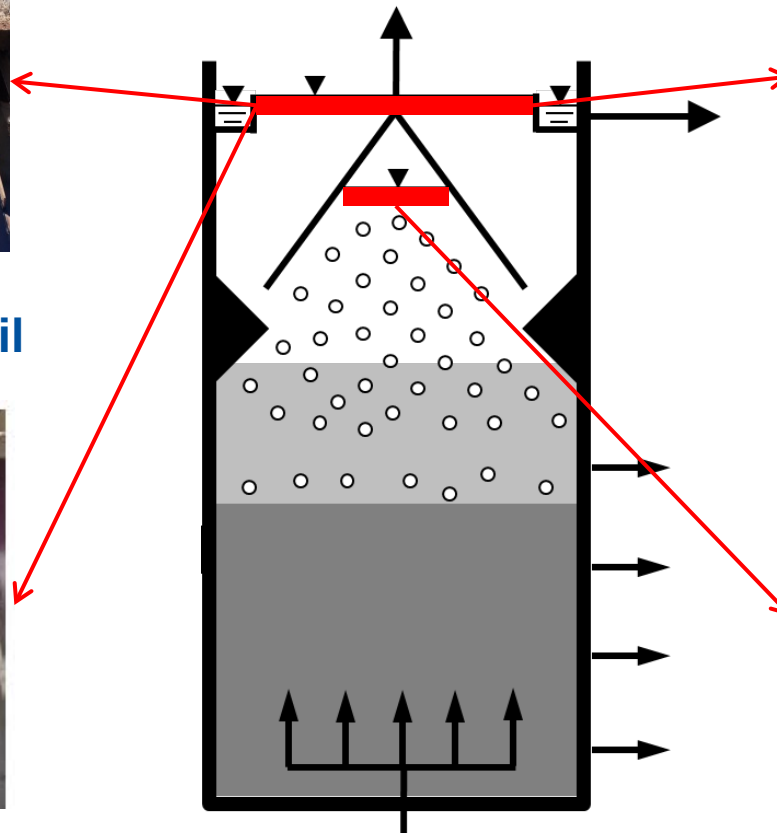
Tauchwand



Hoher Fettanteil im Abwasser



SCHWIMMSCHLAMM



Tief gelegter Abfluss



Ansammlung Unterhalb des 3PA





Existierende Bemessungsregelwerke und -hinweise

Internationale Fachliteratur:

- Lettinga et al. (1991): UASB-Process Design for Various Types of Wastewaters
- DECOM Manual (1994): Design, construction, operation and maintenance of UASB reactors for domestic wastewater
- von Sperling, M.; Chernicharo, C. A. de L. (2005): Biological wastewater treatment in warm climate regions
- Van Lier et al. (2010): Anaerobic sewage treatment using UASB reactors: engineering and operational aspects
- **ABNT-NBR (2011):Hydraulic and sanitary engineering design for wastewater treatment plants – Brasilianische Norm**
- Rosenwinkel, K.-H.; et al. (2015): Anaerobtechnik

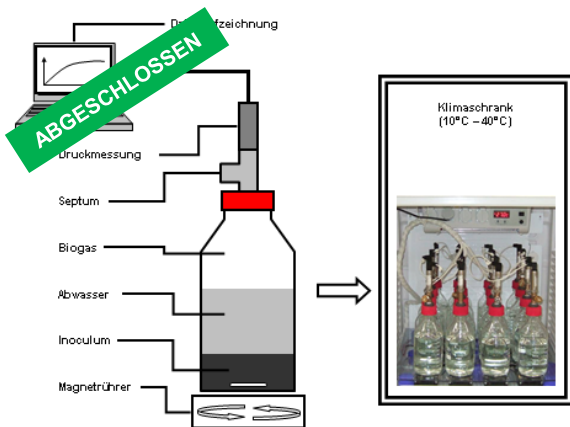
Bemessungsparameter:

- B_R , t_R , V_{auf} , konstruktive Hinweise (Geometrie, 3PA, etc.)
- Pauschaler CSB-Abbau ohne "Ablaufkonzentration" $\eta_{COD} \approx 50$ bis 80%
- Keine Unterscheidung zwischen gelöstem und partikulärem CSB

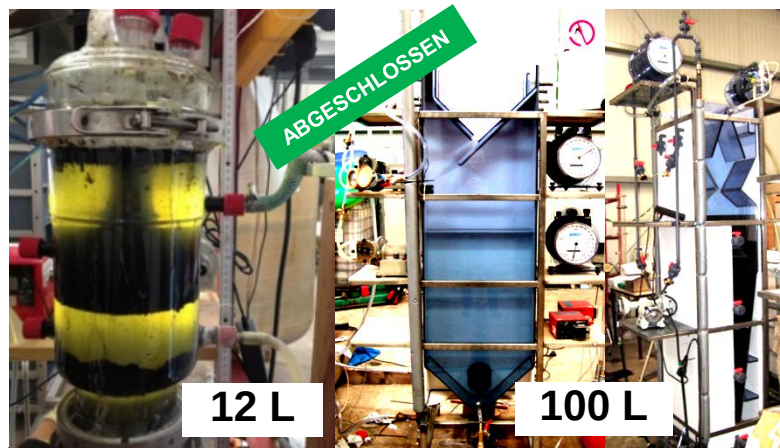


Material und Methoden

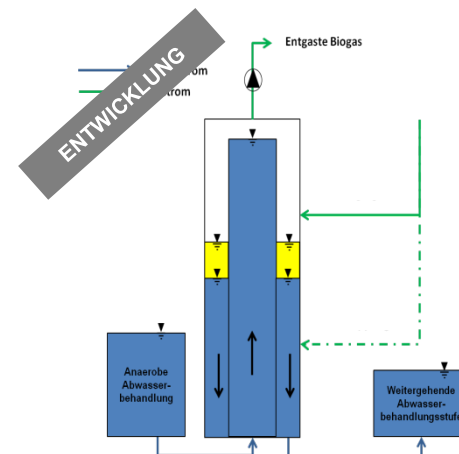
Hannover (Anaerobe Batch Tests)



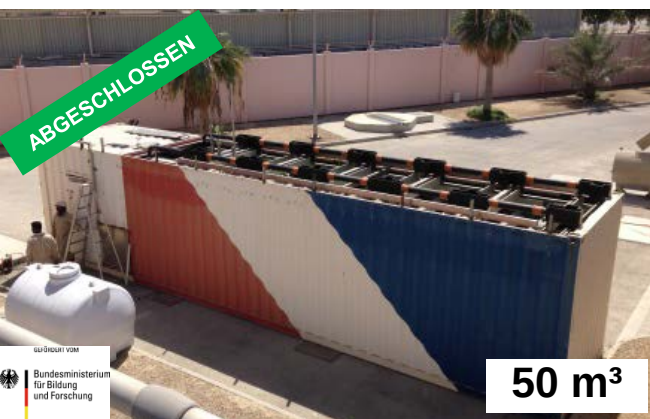
Hannover (UASB Labor)



DiMeR Dissolved Methane Recovery



Bahrain (UASB Pilot)



Brasilien - Minas Gerais (UASB Großtechnik)



Indien - Maharashtra (UASB Großtechnik)

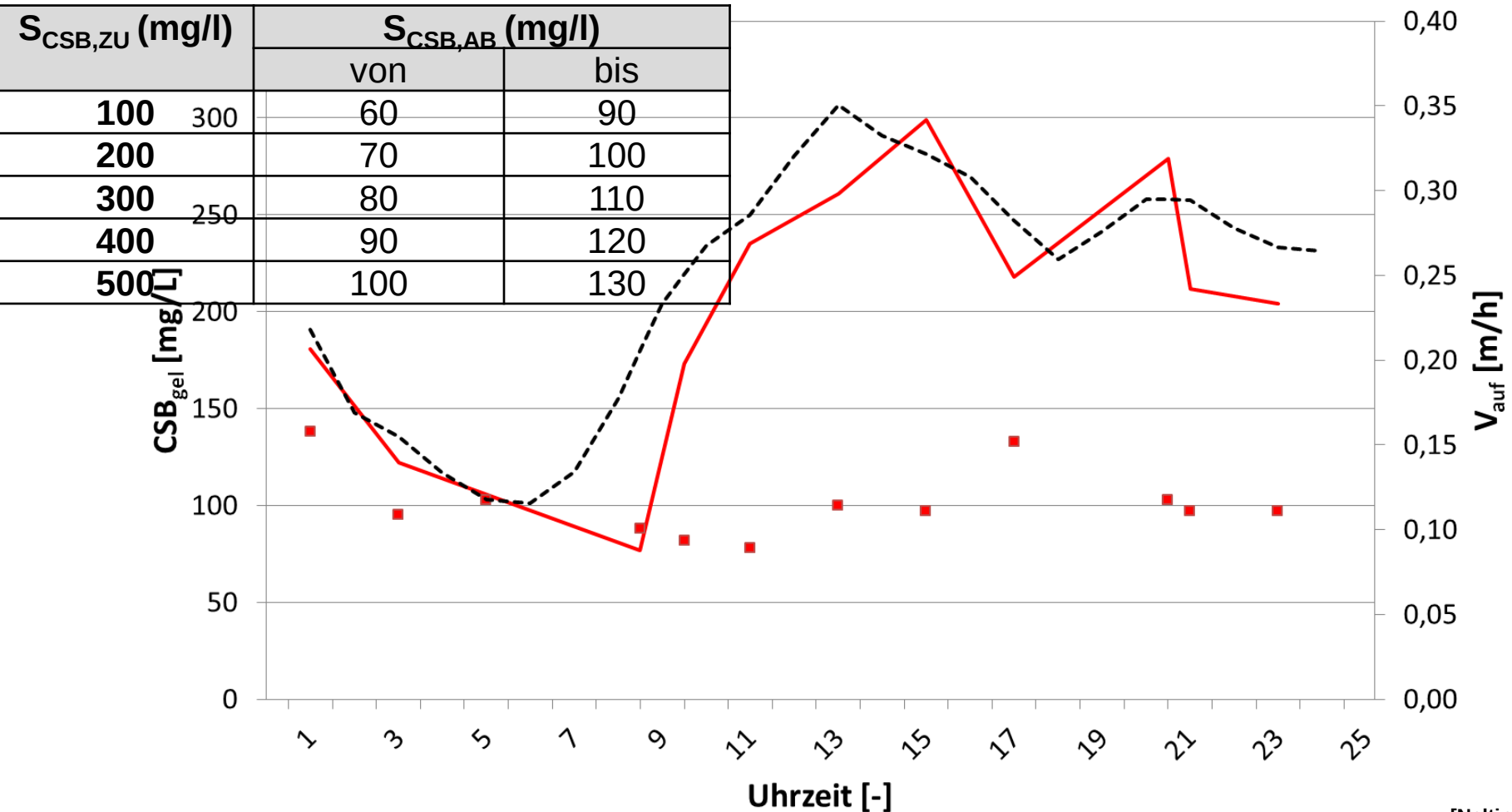




Validierungsergebnisse

Abbau CSB gelöst

— Zufluss CSB gel ■ Abfluss CSB gel ----Vauf



[Nelting, 2016]



Validierungsergebnisse

a) Rückhalt CSB partikulär

b) Hydrolyse bzw. Abbau X CSB Soll ca. 35 %

c) dazu wird min tTS festgelegt als f(T)

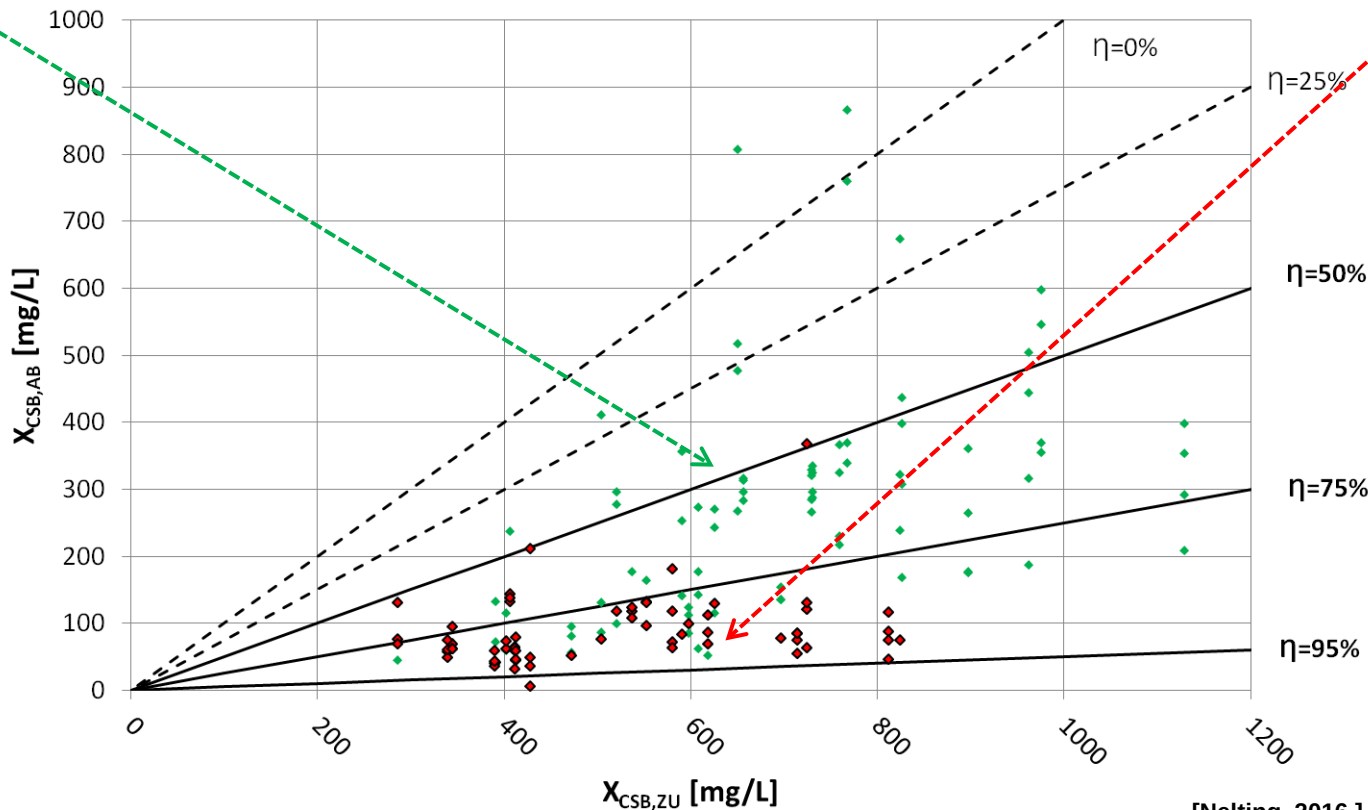
Umrechnung oTS/CSB über fCSB ca 1,6 roh, 1,45 Schlamm

Hoher

Schlamm Spiegel

◆ Alle Messwerte

◆ Schlamm Spiegelbegrenzung auf oTR < 5g/L (0,5m u.3PA)

Kontrollierter
Schlamm Spiegel

[Nelting, 2016,]

Rückhalt CSB partikulär; Hydrolyse X CSB

$X_{\text{CSB,AB}}$ [mg/L] als $f(\text{VA})$ (NELTING 2016)

$X_{\text{CSB,AB}}$ (mg/L)	V_{Auf}					
	0,2 (m/h)	0,3 (m/h)	0,4 (m/h)	0,5 (m/h)	0,6 (m/h)	0,7 (m/h)
Median	70	75	80	85	90	95
0,75-Quartil	110	115	120	125	130	135

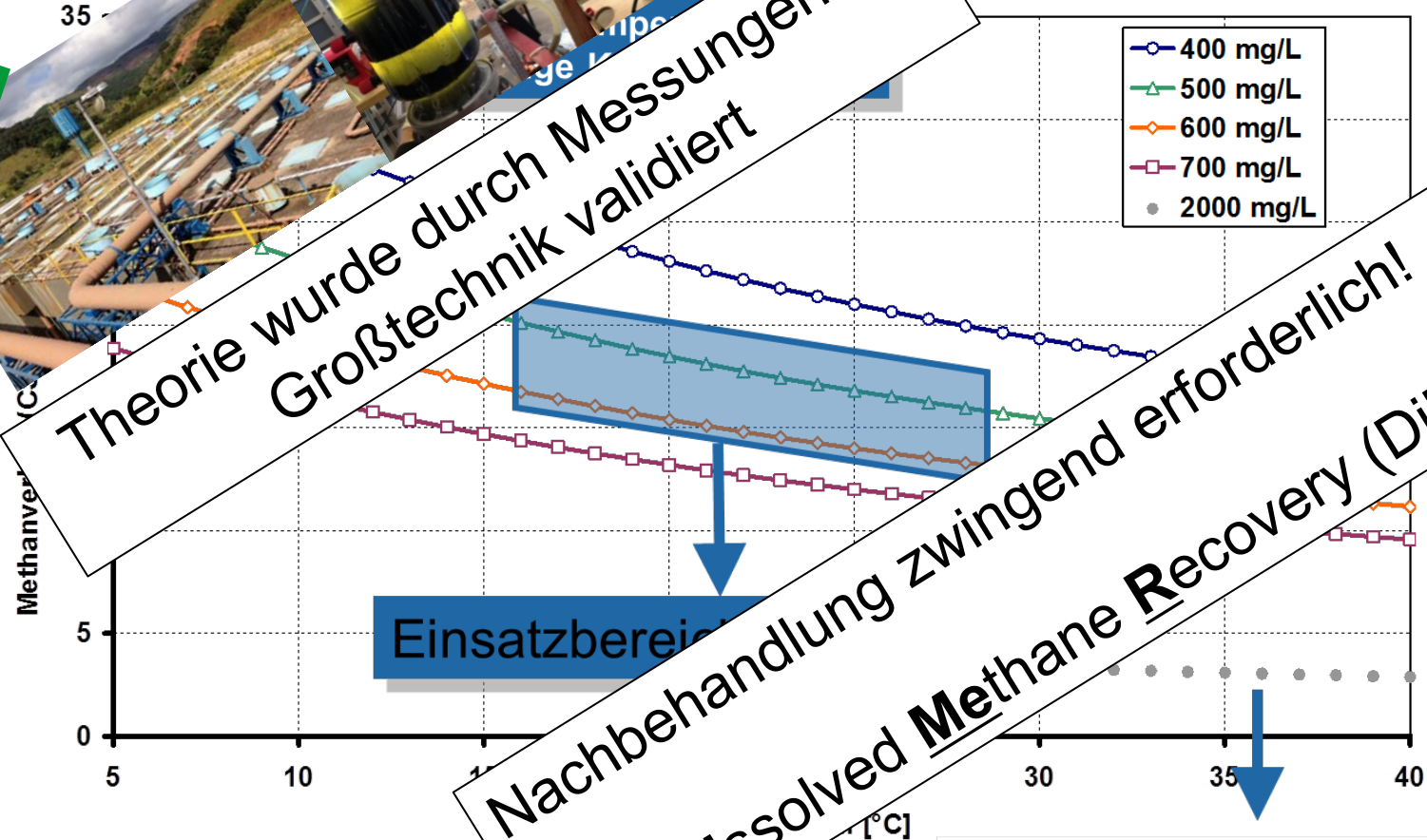
- **Schlamm Spiegelbegrenzung:** $\text{oTS} < 5 \text{ g/L}$ bei 0,5m unterhalb von Gasfassung
- **Aufstromgeschwindigkeit:** V_{auf} bei $Q_{\text{T,d}} < 0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ und $Q_{\text{T,h,max}} < 1,1$
- **Überfallkantenbeschickung:** Einseitig zwischen 0,4 und 0,6 $\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$
- **Schwimmschlamm:** Kontrollieren
- **Hydrolyse ca 35 %, erf. $t_{\text{TS}} = f(T)$**

T	(° C)	30	25	20
t_{TS}	(d)	25 - 35	36 - 46	47 - 63

Validierungsergebnisse

Methanogenese: Ablauf von UASB's

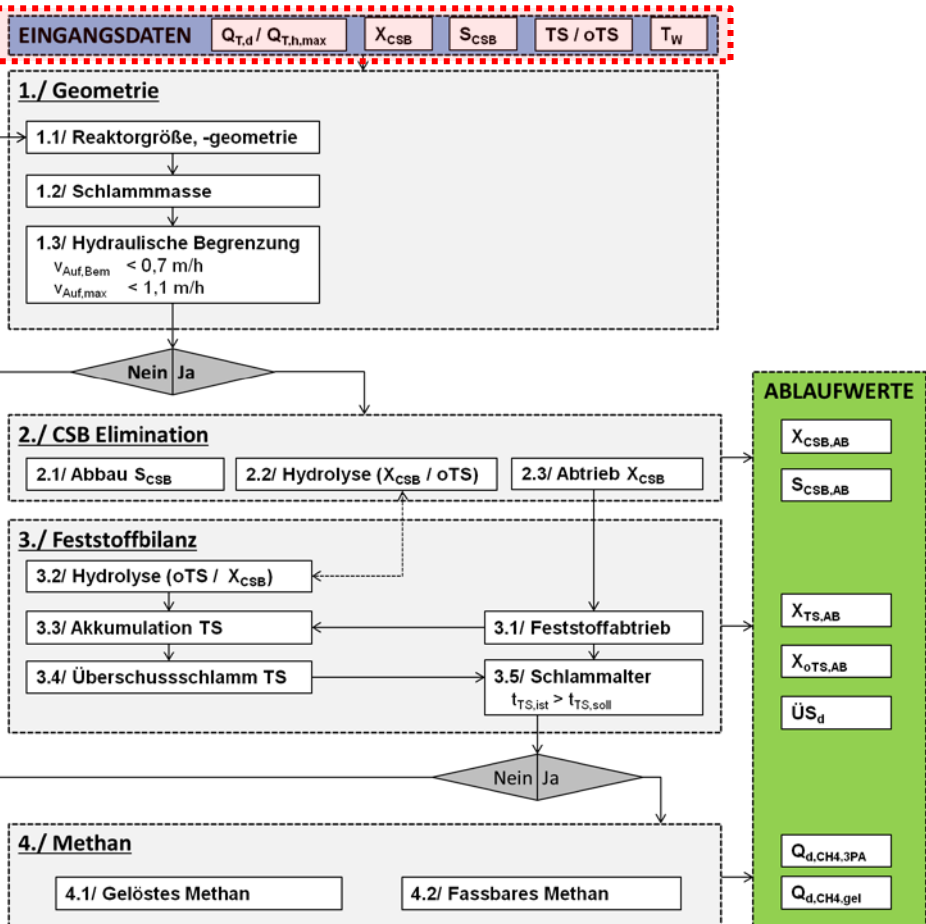
Theorie wurde durch Messungen in
Großtechnik validiert



Industrieabwasserbehandlung



NEUER Bemessungsansatz

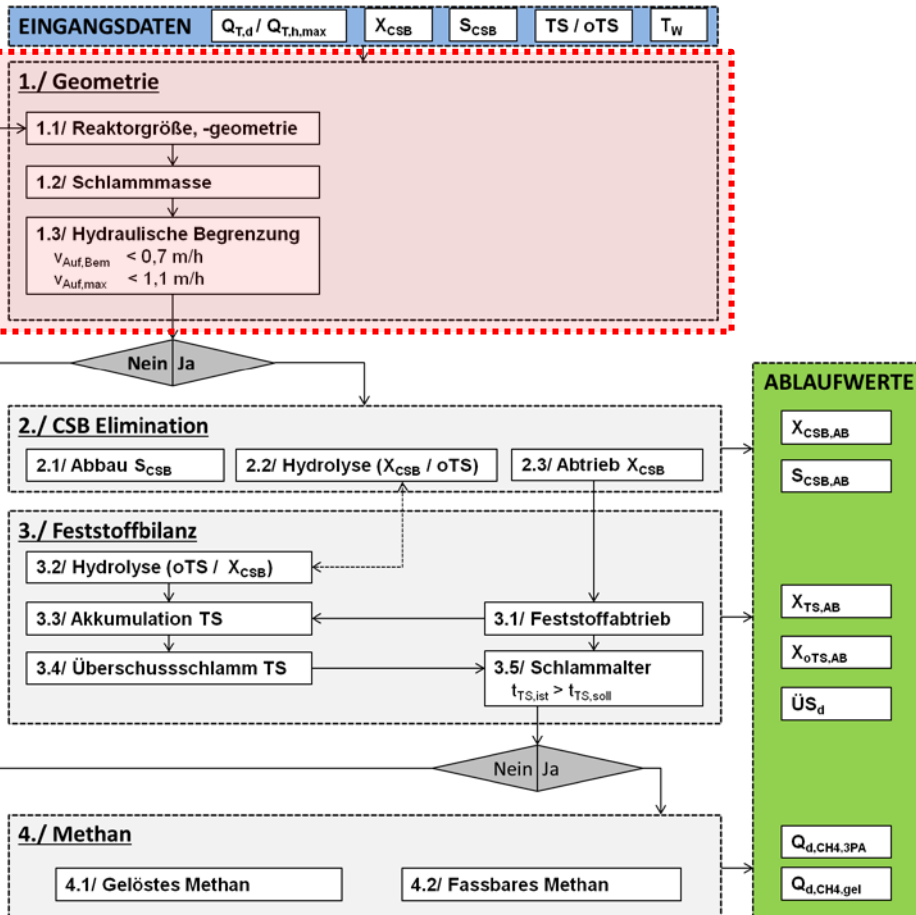


[Nelting, 2016,]

Eingangsparameter	Einheit	Wert
T_W	° C	30
$Q_{T,d,aM}$	m³/d	20.000
$Q_{T,h,max}$	m³/h	1.060
$B_{d,CSB}$	kg/d	12.000
C_{CSB}	mg/l	600
$B_{d,SCSB}$	kg/d	4.160
S_{CSB}	mg/l	208
$B_{d,XCSB}$	kg/d	7.840
X_{CSB}	mg/l	392
$B_{d,TS}$	kg/d	7.000
X_{TS}	mg/l	350
GV_{TS}	-	0,7
$B_{d,oTS}$	kg/d	4.900
X_{oTS}	mg/l	245
f_{CSB}	kg/kg	1,6
$B_{d,SO4}$	kg/d	3.000
S_{SO4}	mg/l	150



NEUER Bemessungsansatz

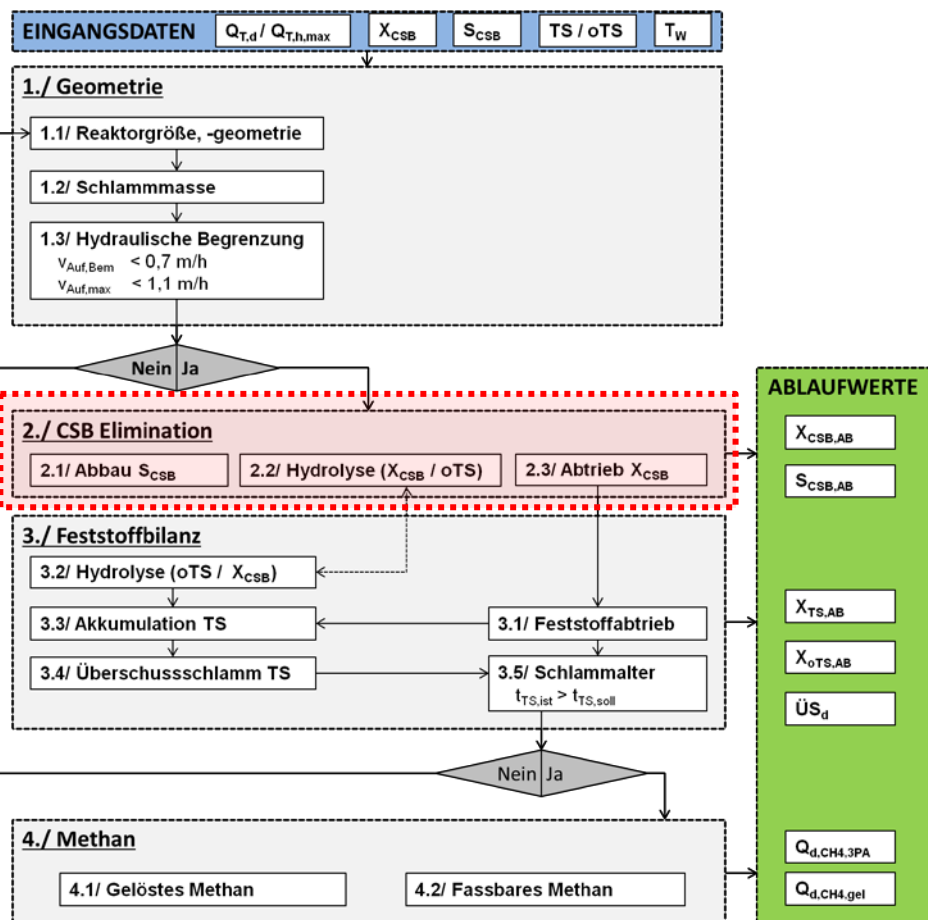


[Nelting, 2016,]

	Parameter	Einheit	Ergebnis
1.1	H_{Faulraum}	(m)	3,0
	$H_{\text{Absetzraum}}$	(m)	1,5
	H_{Reaktor}	(m)	4,5
	A_{Reaktor}	(m ²)	1.528
	V_{Faulraum}	(m ³)	4.584
	V_{Reaktor}	(m ³)	6.876
2.2	$X_{oTS, \text{Faulraum}}$	(kg/m ³)	21
	M_{TS}	(kg)	160.440
1.3	$V_{\text{Auf,Bem}}$	(m/h)	0,5 < 0,7 o.k.
	$V_{\text{Auf,max}}$	(m/h)	0,7 < 1,1 o.k.



NEUER Bemessungsansatz



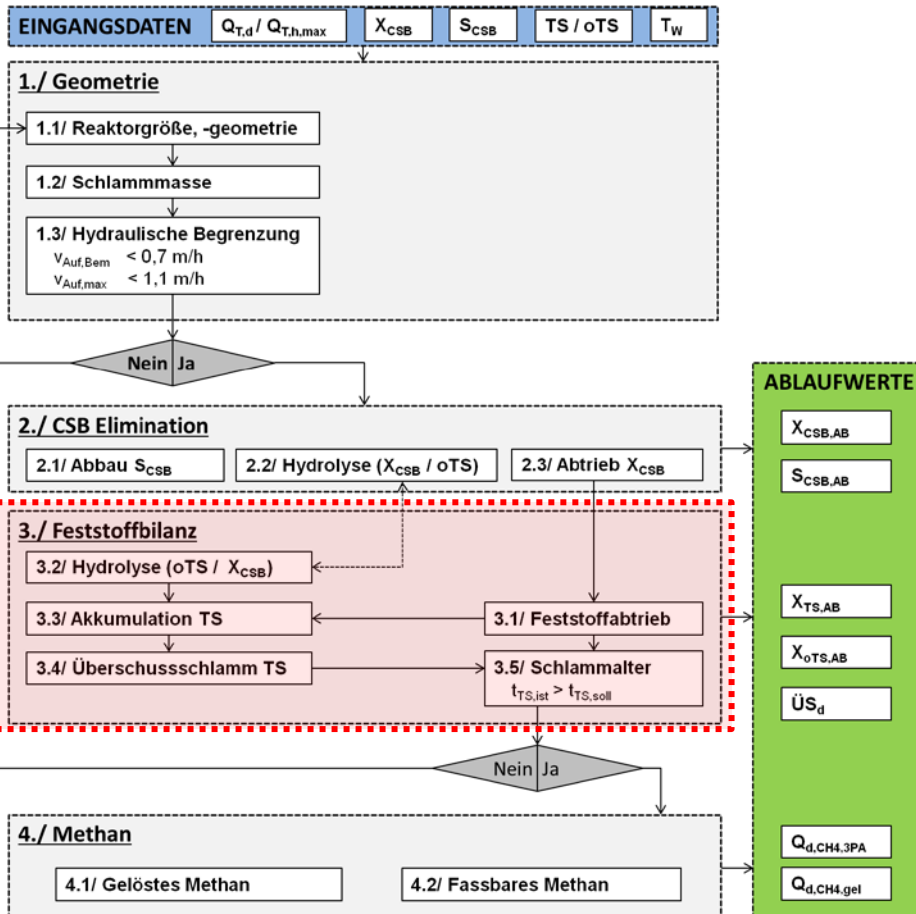
[Nelting, 2016,]

	Parameter	Einheit	Ergebnis
2.1	$S_{CSB,AB}$	(mg/L)	85
	$B_{d,SCSB,abgebaut}$	(kg/d)	2.460
	$\eta_{Abgebaut}$	(%)	59
2.2	$B_{d,XCSB,hyd}$	(kg/d)	2.744
	$\eta_{Hydrolyse}$	(%)	35
2.3	$X_{CSB,AB}$	(mg/L)	85
	$B_{d,XCSB,AB}$	(kg/d)	1.700
	$\eta_{Rückhalt}$	(%)	78

$\eta_{CSB} = 72 \%$ idealer Betriebszustand!



NEUER Bemessungsansatz



[Nelting, 2016,]

	Parameter	Einheit	Ergebnis
3.1	$B_{d,oTS,AB}$	(kg/d)	1.180
	$B_{d,TS,AB}$	(kg/d)	2.140
	$X_{TS,AB,UASB}$	(mg/L)	107
3.2	$B_{d,oTS,hyd}$	(kg/d)	1.715
3.3	$B_{d,oTS,akkumuliert,d}$	(kg/d)	2.005
	$B_{d,anorgTS,akkumuliert}$	(kg/d)	1.140
3.4	$B_{d,TS,akkumuliert} = \dot{U}S_{d,TS}$	(kg/d)	3.145
3.5	t_{TS}	(d)	30 = $t_{TS,Soll,30^\circ C}$

NEUER Bemessungsansatz

EINGANGSDATEN $Q_{T,d} / Q_{T,h,max}$ X_{CSB} S_{CSB} TS / oTS T_W

1./ Geometrie

1.1/ Reaktorgröße, -geometrie

1.2/ Schlammmasse

1.3/ Hydraulische Begrenzung

$V_{Auf,Bem} < 0,7 \text{ m}^3/\text{h}$

$V_{Auf,max} < 1,1 \text{ m}^3/\text{h}$

Nein Ja

2./ CSB Elimination

2.1/ Abbau S_{CSB}

2.2/ Hydrolyse (X_{CSB} / oTS)

2.3/ Abtrieb X_{CSB}

3./ Feststoffbilanz

3.2/ Hydrolyse (oTS / X_{CSB})

3.3/ Akkumulation TS

3.4/ Überschussschlamm TS

3.1/ Feststoffabtrieb

3.5/ Schlammalter

$t_{TS,ist} > t_{TS,soll}$

Nein Ja

4./ Methan

4.1/ Gelöstes Methan

4.2/ Fassbares Methan

ABLAUFWERTE

$X_{CSB,AB}$

$S_{CSB,AB}$

$X_{TS,AB}$

$X_{oTS,AB}$

$\dot{U}_S$

$Q_{d,CH4,3PA}$

$Q_{d,CH4,gel}$

$$Q_{d,CH4} = CSB_{\text{Abbau}} - SO_4 \text{ Reduktion} = 1.215 \text{ Nm}^3/\text{d}$$



	Parameter	Einheit	Ergebnis
4.1	$Q_{d,CH4,gel} = f(T)$	Nm ³ /d	440
	Anteil	%	36
4.2	$Q_{d,CH4,3PA}$	Nm ³ /d	775
	Anteil	%	64

[Nelting, 2016,]

Zusammenfassung 1 von 2

- **Anaerobe Kommunale Abwasserbehandlung (AnaKomA)**
 - Die UASB Technologie gehört zu den am häufigsten eingesetzten Technologien in warmen Klimaten (Bsp. Mittel- und Südamerika).
 - Bisher liegen nur begrenzt Bemessungshinweise für kommunale UASB Reaktoren vor:
 - t_R , V_{auf} , konstruktive Hinweise (Geometrie, 3PA, etc.)
- **Validierungsergebnisse**
 - Der Abbau von gelöstem CSB ist $f = (t_{hyd}, T_w)$
 - Ablaufkonzentration wird maßgeblich von ananerob nicht abbaubarem CSB-Anteil vorgegeben
 - Der Rückhalt von partikulärem CSB ist $f = (V_{auf})$ und wird maßgeblich durch **ÜSS-Management** beeinflusst (Schlamm Spiegelbegrenzung)
 - Der Abbau von oTR (Hydrolyse) ist $f = (t_{TR}, T)$
 - $\eta_{Hydrolyse, oTR}$ 20 bis 40% bei $t_{TR} > 15$ d und T_w 20 bis 35° C



Zusammenfassung 2 von 2

Validierungsergebnisse

- Der theoretische CH₄-“Verlust“ ist $f = (T, t_{hyd}, C_{CSB})$
 - Gemessen 5 bis >40%
- Der Anteil an gelöstem CH₄ ist $f = (T, t_{hyd})$
 - Sinkt mit zunehmender T
 - Steigt mit zunehmender t_{hyd}
- Fassbares CH₄ pro CSB_{abgebaut} in 3PA ist $f = (CH_4_{gelöst})$
 - steigt mit zunehmender Temperatur (Reduktion Löslichkeit)
- Kontrollierte Rückgewinnung des gelösten CH₄ zwingen erforderlich
 - **Dissolved Methane Recovery (DiMeR)**
 - Proof of Concept in Labormaßstab nachgewiesen ($\eta > 80\%$)
 - Patent angemeldeverfahren eingeleitet
 - Pilotbetrieb (250m³/d) in Brasilien geplant



Danksagung:

Die Realisierung des EXPOVAL-Verbundvorhabens wurde Dank der Förderung durch das BMBF möglich.



Danke für
Ihre Aufmerk-
samkeit

Prof. Dr.-Ing. K.-H. Rosenwinkel
Klaus Nelting, M.Sc.