

Das BMBF-Verbundprojekt EXPOVAL: Bemessung von Kläranlagen unter länderspezifischen Randbedingungen



**Prof. Dr. Holger Scheer, Dr. Tim Fuhrmann, Peter Wulf
Emscher Wassertechnik GmbH, Essen**

in Zusammenarbeit mit den EXPOVAL-Projektpartnern

Innovationsforum Wasserwirtschaft auf der IFAT 2016, München, 31.05.2016

Inhalt

- 1. Einleitung**
- 2. Überblick über die EXPOVAL-Projektstruktur**
- 3. Einflussfaktoren auf die Auslegung von Kläranlagen**
- 4. Neue Bemessungsansätze für die biologische Abwasserbehandlung**
- 5. Neue Bemessungsansätze für die Schlammbehandlung**
- 6. Neue Bemessungsansätze für die Desinfektion**
- 7. Weitere Informationsquellen über das Projekt**

1. Einleitung

Einerseits:

- **Den Problemen mit der - weltweit gesehen - völlig unzureichenden Abwasserreinigung kommt eine immer größere Bedeutung zu.**
- **Diese Probleme können sicherlich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf selbiger Augenhöhe gesehen werden.**

=> Bedarf an abgesicherten Bemessungsgrundlagen für den internationalen Markt ist zwingend vorhanden.

Andererseits:

- **In Deutschland existiert ein umfangreiches, bewährtes Regelwerk zur Bemessung von Abwasseranlagen.**



**Anwendbarkeit des deutschen
Regelwerks weltweit?**

Situation in anderen Ländern

Lokal abweichende Randbedingungen, unter anderem:

- Temperatur (Abwasser / Luft)
- Abwasserzusammensetzung
- Salzkonzentration
- Anforderungen an die Ablaufqualität
- Überwachungspraxis des Kläranlagenablaufs
- Betriebliche Aspekte

**direkt bemessungs-
relevant!**

**Anpassungsbedarf des deutschen
Regelwerks vorhanden (z.B. neue A
131 gilt nur für 8 - 20 °C!)**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



2.1 Überblick EXPOVAL-Verbundprojekt



- 7 thematische Unterverbünde
- Schwerpunkt auf kommunalen Abwasserbehandlungsverfahren
- Gesamt-Projektteam besteht aus:
 - 6 Universitäten
 - 11 Ausrüstern und Consultants
 - DWA

2.2 Projektpartner (1/2)

Unterverbund	Partner
UV 1: Beleuchtungsanlagen	Ruhr-Universität Bochum (Prof. Dr. M. Wichern)
	Emscher Wassertechnik GmbH
	Hach-Lange GmbH
UV 2: Belüftungssysteme	Technische Universität Darmstadt (Prof. Dr. M. Wagner)
	Bilfinger Water Technologies GmbH
UV 3: Tropfkörper	Universität Stuttgart (Prof. Dr. H. Steinmetz)
	ENEXIO Water Technologies GmbH
UV 4: Anaerobanlagen (UASB)	Universität Hannover (Prof. Dr. K.-H. Rosenwinkel)
	aqua & waste International GmbH
	Hach-Lange GmbH
UV 5: Abwasserteiche	IEEM gGmbH – Institut für Umwelttechnik und Management an der Universität Witten/Herdecke (Prof. Dr. mult. K.-U. Rudolph)
	FUCHS Enprotec GmbH
	Ultrawaves Wasser- und Umwelttechnologien GmbH
	Xylem Water Solutions Herford GmbH (assoziiierter Partner)

GEFÖRDERT VOM


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

EMSCHER
EWLW WASSERTECHNIK GmbH

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Universität Stuttgart
ENEXIO

Leibniz
Universität
Hannover


aqua & waste
International GmbH


universität
Witten / Herdecke gGmbH


ULTRAWAVES
WASSER- & UMWELTECHNOLOGIEN GMBH


FUCHS
Clean Solutions

WEDECO
a xylem brand



2.2 Projektpartner (2/2)

Unterverbund	Partner
UV 6: Klärschlamm- management	Technische Universität Braunschweig (Prof. Dr. N. Dichtl)
	Huber SE
	Oswald Schulze Umwelttechnik GmbH
UV 7: Desinfektion und Wasserwieder- verwendung	Technische Universität Darmstadt (Prof. Dr. P. Cornel)
	Huber SE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

	Partner
Gesamtkoordi- nation und wissensch.- technische Begleitung	Emscher Wassertechnik GmbH (Prof. Dr. H. Scheer und Dr. T. Fuhrmann)
	Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR (Prof. Dr. P. Cornel und Prof. Dr. M. Wagner)
	Leibniz Universität Hannover, Institut ISAH (Prof. Dr. K.-H. Rosenwinkel und Frau Dr. M. Beier)
Ergebnis- verbreitung	Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



3.1 Einflussfaktoren auf die Auslegung von Kläranlagen: Eingangsdaten für die Zulaufsituation im Ausland

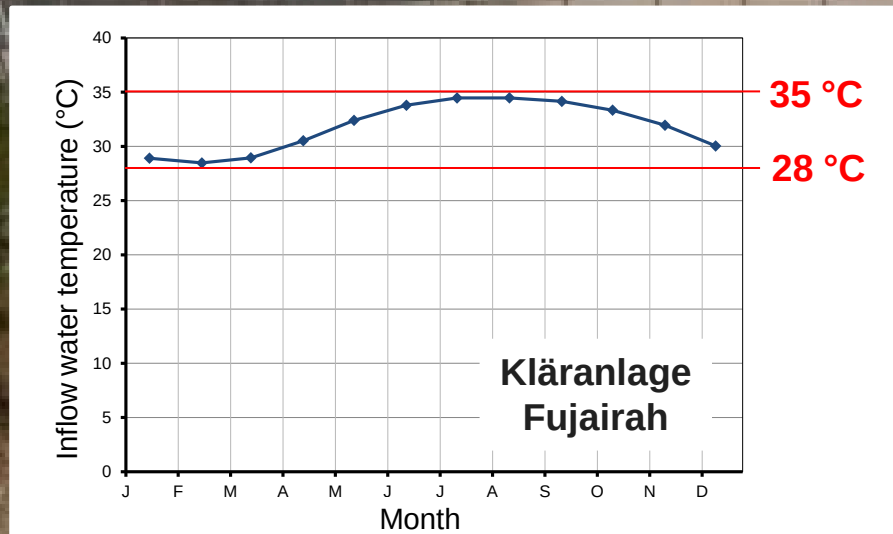
- Möglichst genaue Bestimmung / Messung von Zulaufdaten zwingend erforderlich für wirtschaftliche Anlagendimensionierung
→ grobe Schätzwerte für Frachten und Wassermengen nicht ausreichend, Literaturdaten nur ergänzend einsetzen
- Möglichst sorgfältige Analyse (Plausibilitätsprüfungen!) der vorhandenen, meist sehr eingeschränkten Datenbasis, ggf. sinnvolle Extrapolationen vornehmen
- Lokale Besonderheiten der Zuflusssituation beachten (z.B. große Frachten an Sand und abetzbaren Stoffen wie Kürbiskernspelzen)



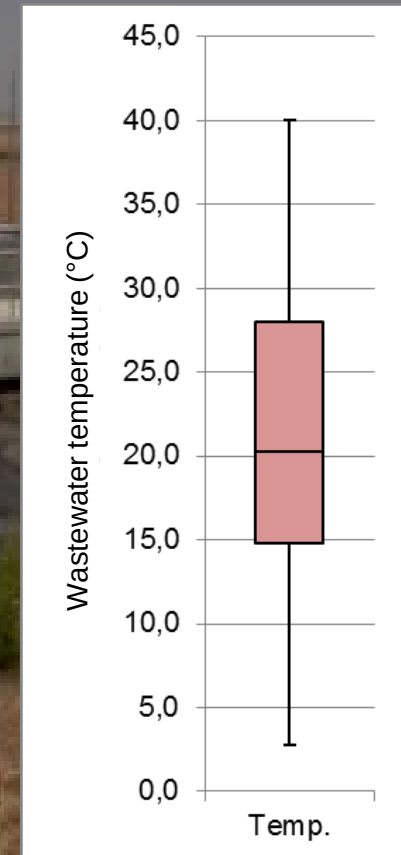
**Alle Faktoren sind unmittelbar
bemessungsrelevant!**

3.2 Eingangsdaten für die Anlagenbemessung

- Abwassertemperaturen: 5 – 30 °C
- Salzgehalte (TDS) bis zu 10 g/l
- Ablaufanf. als Tagesmittelwerte (nicht wie in D üblich als 2-h-Mischproben etc.)



Beispiel für Jahresganglinie
der Abwassertemperatur



Abwassertemperatur
an den Unter-
suchungsstandorten

gewähltes
Temperatur-
intervall

3.3 Einflussfaktoren auf die Auslegung von Kläranlagen: Auswahl des Behandlungsverfahrens

Weltweit werden völlig unterschiedliche Anforderungsniveaus in Bezug auf die C- und N-Elimination gestellt!

→ Grundlage für die Auswahl und Kombination von biologischen Abwasserbehandlungsverfahren

	C-Elimination	Nitrifikation	Denitrifikation
Belebungsanlage	X	X	X
Tropfkörper	X	X	(X)
Abwasserteiche	X	(X)	
Anaerobanlagen (z.B. UASB)	(X)		

4. Bemessungsansätze für die biologische Abwasserbehandlung

Neue und erweiterte Bemessungsansätze für die biologische Abwasserbehandlung:

4.1 Belebungsanlagen

4.2 Belüftungssystem

4.3 Tropfkörper

4.4 Anaerobanlagen

4.5 Abwasserteiche



Belebungsanlage



Tropfkörper (Foto: GEA 2H)



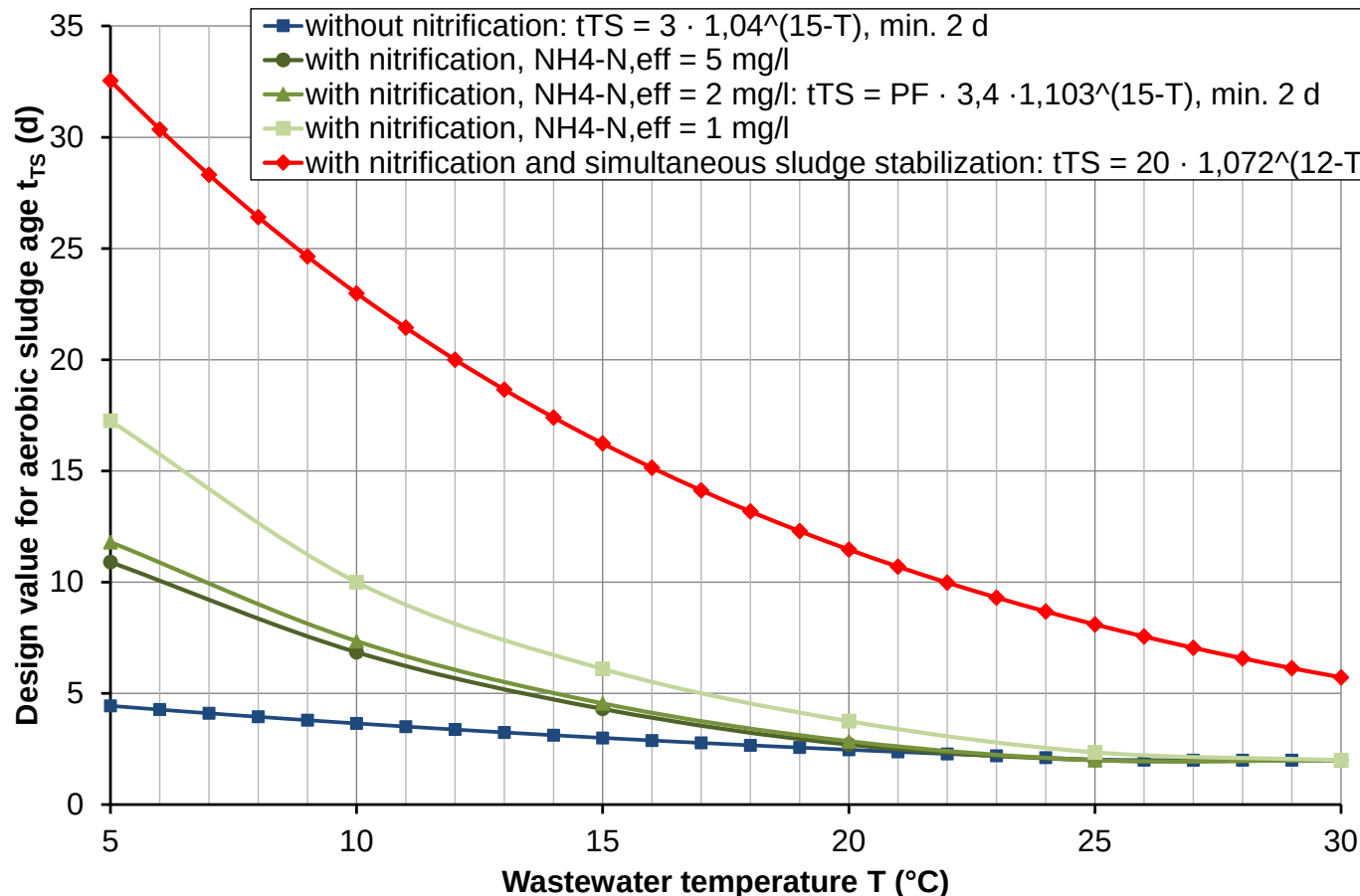
Abwasserteich

4.1 Belebungsanlagen



Erweiterter Ansatz für die Dimensionierung von Belebungsbecken

- Bemessung des Schlammalters (t_{TS}) in Abhängigkeit der Abwassertemperatur



Beispiel: KA in Fujairah, VAE,
Durchn. Abwassertemp.: 31°C

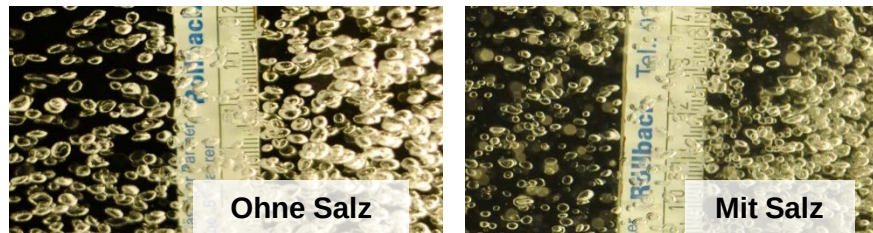


Beispiel: KA in Tehran, Iran,
Durchn. Abwassertemp.: 25°C

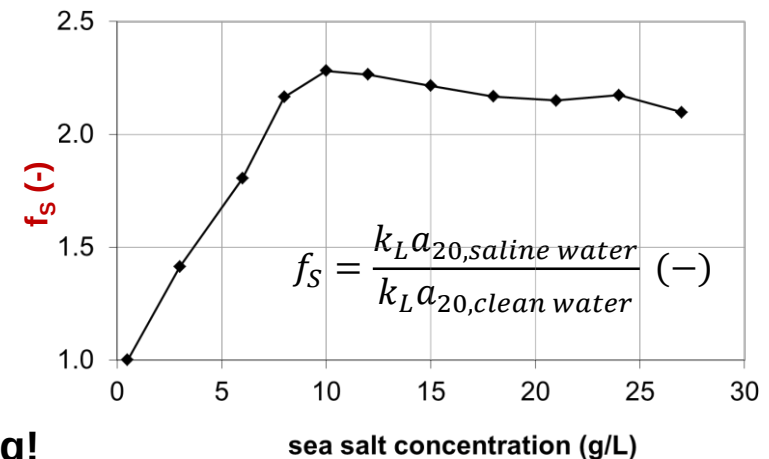
4.2 Belüftungssysteme

Auslegung von Belüftungssystemen **bei erhöhten Salzgehalten**

- Verringerung der Blasendurchmesser bei steigender Salzkonzentration



- Bei feinblasigen Systemen Anstieg des Belüftungskoeffizients ($k_L a_{20}$) bis > 2
- Geringerer Energieverbrauch für die Belüftung!
- => Einführung von **neuen Salz-Korrekturfaktoren (f_s)** für Salzgehalte von 2 - 10 g/l in die DWA-Bemessungsregeln für die Standard-Sauerstoffzufuhr (SOTR):



$$SOTR = \frac{f_d \cdot \beta_{st} \cdot C_{S,20} \cdot f_{s,st}}{(\alpha \cdot f_{s,\alpha}) \cdot \left(f_d \cdot \beta_{\alpha} \cdot C_{S,T} \cdot \frac{p_{atm}}{1.013} - C_X \right) \cdot \theta^{(T_W - 20)}} \cdot OV_h \quad \left(\frac{kg O_2}{h} \right)$$

Mit: $f_{s,\alpha}$: unter Betriebsbedingungen; $f_{s,st}$: in Leitungswasser

4.3 Tropfkörper

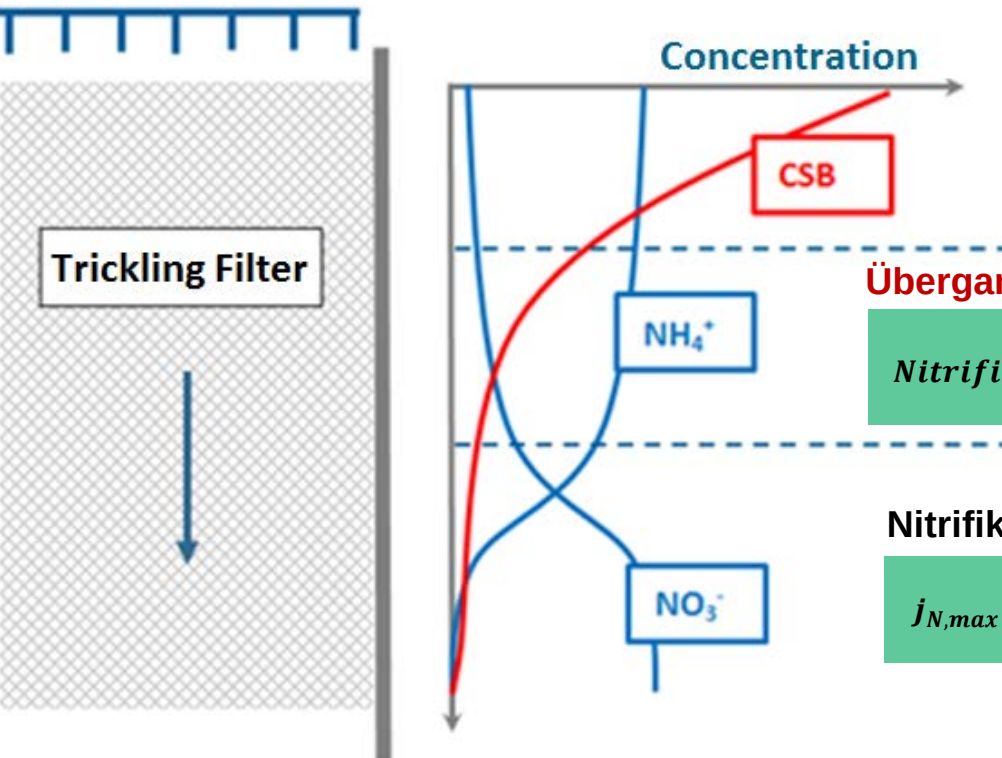


Universität Stuttgart

ENEXIO

Anpassung und Validierung von bestehenden Bemessungsansätzen nach Velz und nach Gujer & Boller

Einführung eines Übergangsbereichs für die einsetzende Nitrifikation



C-Abbau: **Modifizierte Velz-Gleichung**

$$S_{COD,bio,e} = \frac{S_{COD,bio,in}}{\exp\left(\frac{k_{20,COD,bio} \cdot A_s \cdot D \cdot \theta^{T-20}}{q_A^n}\right)} \quad \left(\frac{mg}{l}\right)$$

Übergangsbereich (Einsetzende Nitrifikation)

$$\text{Nitrification rate} = (\text{Gujer \& Boller eg.}) \cdot \left(\frac{100 - S_{COD,bio}}{80}\right)^3 \quad (-)$$

Nitrifikation: Gujer-und-Boller-Gleichung

$$j_{N,max}(T) = -\frac{A_s}{q_A} \cdot j_{N,max}(10) \cdot 1,02^{(T-10)} \cdot \frac{S_N}{N + S_N} \cdot e^{(-k \cdot D)} \quad \left(\frac{gN}{m^2 \cdot d}\right)$$

4.4 Anaerobe Abwasserbehandlung mittels UASB-Reaktoren

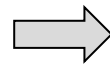


Internationale Bemessungsansätze

Brazilian standard ABNT (2011), DECOM Manual (1987), DECOTEC (1991), etc.

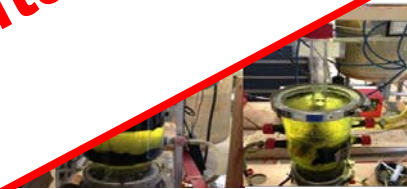
$$t_R \rightarrow f(T)$$

$$v_{auf} \rightarrow f(Q_d \text{ and } Q_{h,max})$$



A, H, V

80%
90%



Weiterentwicklung
Maßnahmen

Siehe separate Präsentation

Bemessungsansatzes im großtechnischen
der Parameter:

- Differenzierung zwischen gelöstem und partikulärem CSB
- Abschätzung der Hydrolyse und Schlammmentnahme
- $f(\eta_{CSB,gesamt}, \eta_{SO_4}, Q_{CH_4,gelöst})$

Rückgewinnung von gelöstem Methan **im UASB-Ablauf** zur Energiegewinnung
Entwicklung des Konzepts des "DiMeR-Reaktor" (Dissolved Methane Recovery)

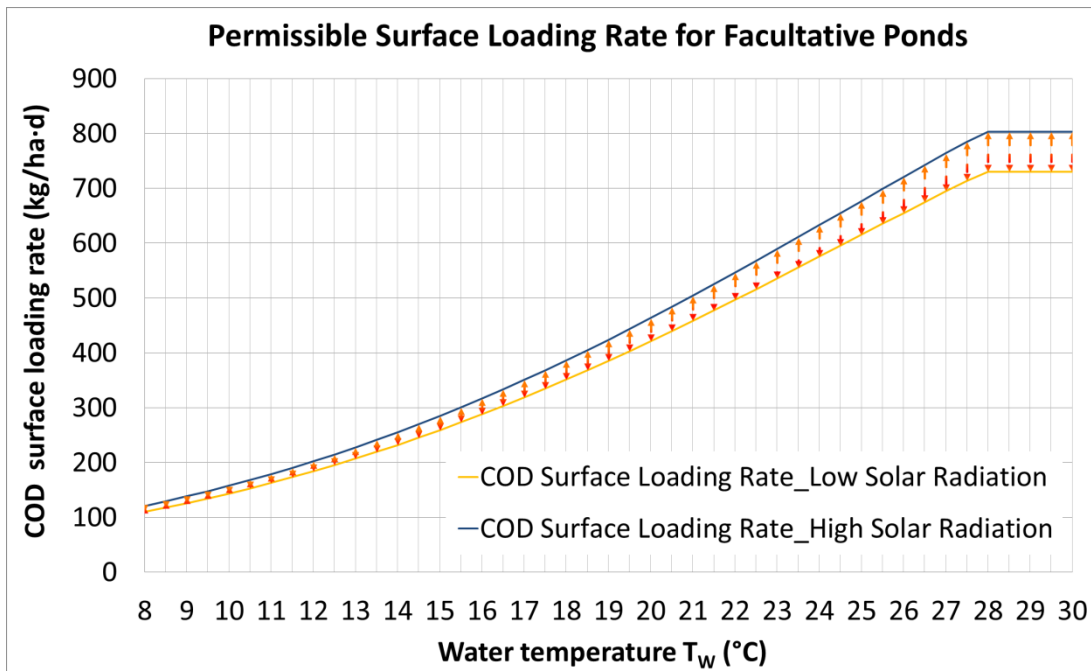
4.5 Abwasserteiche: Fakultativteiche

Neue Gleichung für die zulässige CSB-Flächenbelastung $L_{A,CSB}$
als Grundlage für die Berechnung der erforderlichen Teichoberfläche

$$L_{A,CSB} = 615 \cdot (1,125 - 0,0023 \cdot T_w)^{(T_w-25)} \cdot f_{Sol} \quad (\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{d}))$$

Umstellung
auf den **CSB**

Neuer Faktor f_{Sol} zur Berücksichtigung der
Solareinstrahlung (Größenordnung: 1.0 – 1.1)



IEEM-Pilotanlage, Sevilla, in Zusammenarbeit
mit Fuchs Enprotec GmbH (Foto: CENTA)

4.5 Abwasserteiche: Belüftete Teiche

Neuer Bemessungsansatz für die zulässige CSB-Raumbelastung $L_{V,CSB}$
als Grundlage für die Berechnung des Teichvolumens

$$L_{V,CSB} = 33,6 \cdot 1,0353^{Tw} \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (g/(m^3 \cdot d))$$

Neue Faktoren zur Berücksichtigung der **Anzahl der Teiche** (k_1) und der **Oberflächenrauheit der Böschung** (k_2)

Faktor	Wert (-)
k_1 zur Berücksichtigung der Anzahl der belüfteten Stufen (in Reihe)	0,75 für eine Stufe 1,0 für zwei Stufen 1,2 für drei Stufen
k_2 zur Berücksichtigung der Rauigkeit der Böschung	0,8 für Foliendichtung 1,0 für natürliche Dichtung 1,2 für rauen Belag wie Schotter oder Vlies



Abwasserteich in Algerien, 275.000 E (Foto: FUCHS)

4.6 Zusammenfassung bzgl. der Bemessungsansätze für die biologische Abwasserbehandlung

- Weiterentwicklung und Validierung von deutschen und internationalen Bemessungsansätzen
- Umstellung von BSB_5 auf CSB als Standard-Bemessungsgröße
- Einfügen von Temperaturtermen in die Bemessungsgleichungen
→ kosteneffiziente Verringerung der Baugröße von biologischen Reaktoren bei höheren Abwassertemperaturen
- Hohe Salzkonzentrationen (bis 10 g/l) haben keinen negativen Einfluss auf die biologischen Prozesse, wenn
 - die Konzentrationen dauerhaft erhöht sind (keine Schwankungen) und
 - ausreichend Adaptionzeit zur Verfügung steht

5. Bemessungsansätze für die Schlammbehandlung

Neue und erweiterte Bemessungsansätze
im Bereich der Schlammbehandlung:

5.1 Anaerobe Schlammstabilisierung

5.2 Solare Klärschlamm Trocknung



Kläranlage Kłodzko (Foto: TU Braunschweig)



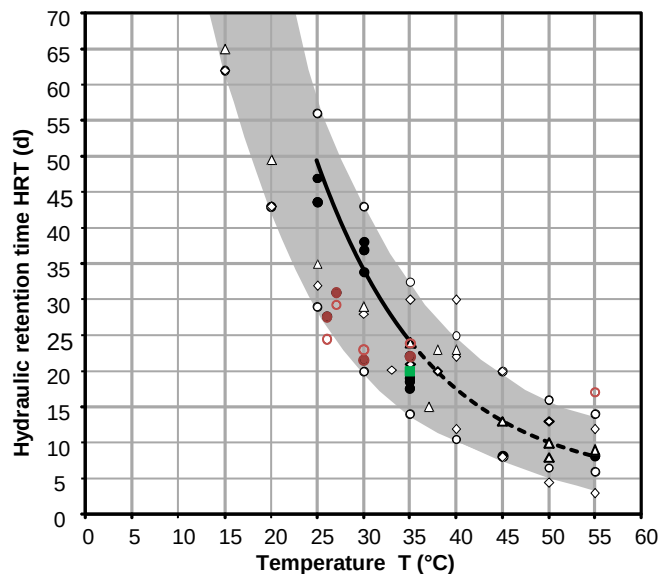
Kläranlage Bottrop (Foto: TU Braunschweig)

5.1 Anaerobe Schlammstabilisierung



Erweiterung der Bemessung für Faulbehälter:

- Angabe von Schlammaltern für Faultemperaturen von **20 – 35 °C**
- Abschätzung der Biogasproduktion
- Empfehlungen für Betriebsweisen in Abhängigkeit der Faultemperatur



- EXPO data: batch test
- Literature data: not indicated method of operation
- ◇ Literature data: discontinuous operation
- △ Literature data: batch test
- EXPOVAL data: nearly continuous operation PS
- EXPOVAL data: nearly continuous operation PS+ES
- EXPOVAL data: nearly continuous operation PS+ES

Anlagengröße (E)	< 50.000	50.000 – 100.000	> 100.000	
DWA-M 368				Faultemperatur (°C)
Sicherheitsfaktor (-)	1,25	1,15	1,0	
t_R (d)	20 - 28	18 - 25	16 - 22	35 – 40
Erweiterung				Faultemperatur (°C)
Sicherheitsfaktor (-)	1,5	1,2	1,0	
t_R (d)	32 - 37	25 - 30	21 - 25	30 - 34
	40 - 49	32 - 40	27 - 33	25 - 29
	53 - 73	42 - 58	nicht empfohlen	20 - 24

5.2 Solare Klärschlamm-trocknung



Erweiterung von Verdunstungsformeln aus der Landwirtschaft (Verdunstung von Böden und Pflanzen) für die Klärschlamm-trocknung

- Einschl. Transmission durch Deckmaterial, externe Energiezufuhr und Feuchtigkeit

$$E_{p,SKT} = \frac{(\alpha R_G + R_H) \cdot (T^* + 22)}{30 \cdot (T^* + 123)} \cdot \left(1 - \frac{\Phi}{100}\right) \quad \left[\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}\right]$$

Mit: α Transmissionskoeffizient des Eindeckungsmaterials (-)

R_G Energieinput der Solarstrahlung (J/m^2)

R_H Energieinput der Zusatzheizung (J/m^2)

T^* Temperatur im Glashaus ($^{\circ}\text{C}$)

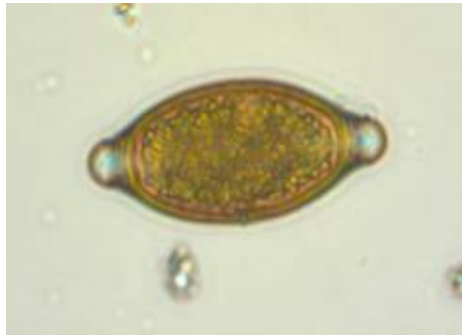
- Dimensionierung der Trocknungsfläche aus dem Verhältnis der **erforderlichen** Verdunstung (Schlamm) zur **potentiellen** Verdunstung (Klima)
- Betriebliche Aspekte:
 - Zusatzheizung (R_H)
 - Wendeintervall
 - Belüftung



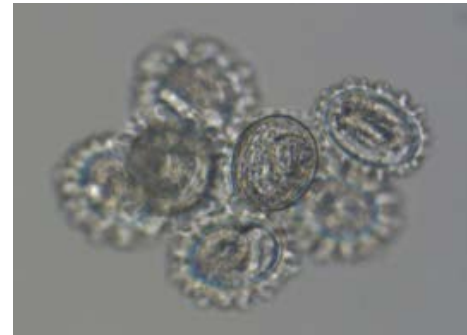
Kläranlage Kłodzko (Foto: TU Braunschweig)

6. Bemessungsansätze für die Desinfektion

hier: Auslegungshinweise für die Entfernung von Helminthen-Eiern mittels Mikrosiebung



Helminthen-Ei
Trichuris trichiura
(Größe: 22-27 μm x 50-58 μm)



Ascaris lumbricoides
(Größe: 35-50 μm x 45-75 μm)

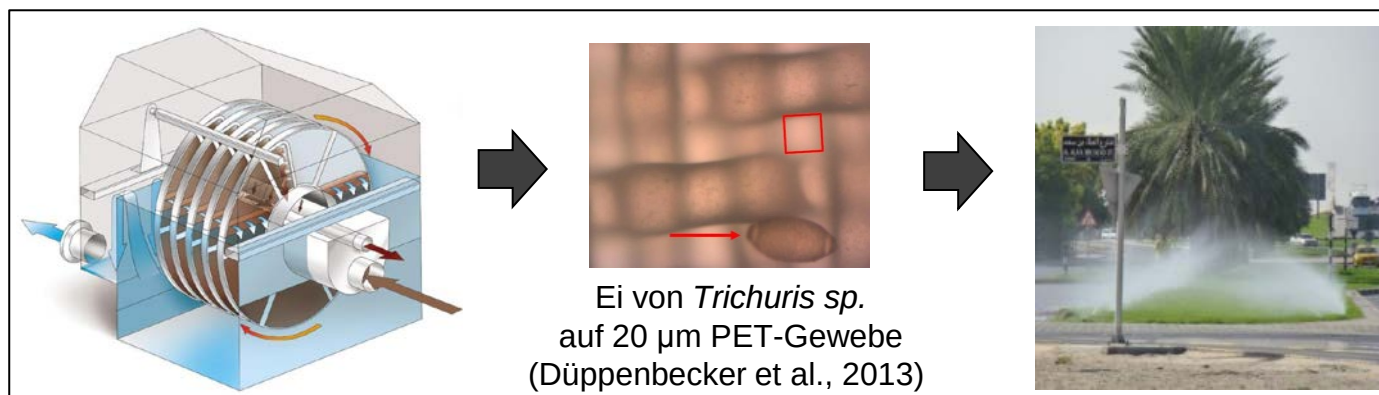
6. Bemessungsansätze für die Entfernung von Helminthen-Eiern

Randbedingungen:

- 10 – 100 (1000) Eier/l in Rohabwasser in endemischen Gebieten,
- ≤ 10 (100) Eier/l im Ablauf z.B. einer Belebungsanlage
→ keine ausreichende Reduzierung auf geforderte Werte von 1 Ei/l (WHO, 2006)
- Fast kein Effekt durch konvent. Desinfektionsverfahren (mit UV, Ozon, Chlor)
→ Filtration und/oder Sedimentation notwendig zur Entfernung der Eier
→ Reduzierung der Zahl der Helminthen-Eier über Größe bzw. spez. Dichte

Untersuchungen zur **Mikrosiebung mit unterschiedlichen** Maschenweiten

- **Maschenweite $\leq 15 \mu\text{m}$ (PET, gewoben): Reduzierung um $> 1 - 2$ Logstufen**
- **Maschenweite von $10 \mu\text{m}$ (PET, gewoben): Nahezu kein Ei in großtechn. Anlagen**
- Abdichtung der Siebelemente und **Vermeidung von Leckagen** zwingend notwendig



7. Weitere Informationsquellen über das Projekt

Projekt-Website:

www.expoval.de

DWA-Themenband (in Vorbereitung):

Aufbereitung der Ergebnisse in einem neuen DWA-Themenband und Veröffentlichung im Oktober 2016



Abschlussveranstaltung:

05./06. Oktober 2016 in Essen

Informationen über die Projektwebsite www.expoval.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt über Gesamtkoordination:



- Prof. Dr.-Ing. habil. Holger Scheer: scheer@ewlw.de
- Dr.-Ing. Tim Fuhrmann: fuhrmann@ewlw.de
- Dipl.-Ing. Peter Wulf: wulf@ewlw.de

Danksagung:

Die Realisierung des EXPOVAL-Verbundvorhabens wurde Dank der Förderung durch das BMBF (FKZ 02WA1252A ff.) möglich.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung