



Technische  
Universität  
Braunschweig

**HUBER**  
TECHNOLOGY



OSWALD SCHULZE  
Umwelttechnik GmbH



**EXPOVAL**

## Angepasste Lösungen für die Schlammbehandlung weltweit

### Statusseminar zum BMBF-Verbundprojekt EXPOVAL

Prof. Dr.-Ing. N. Dichtl, Dipl.-Ing. R. Dellbrügge, M. Eng. R. Mieske, Dr.-Ing. K. Bauerfeld (TU Braunschweig), Dr.-Ing. J. Oles (Oswald Schulze Umwelttechnik GmbH), Dr.-Ing. S. Paris, Dr.-Ing. A. Heindl (Huber SE)

Hannover, 02. Oktober 2015

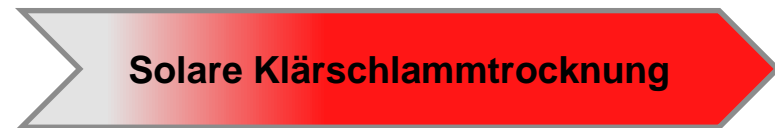
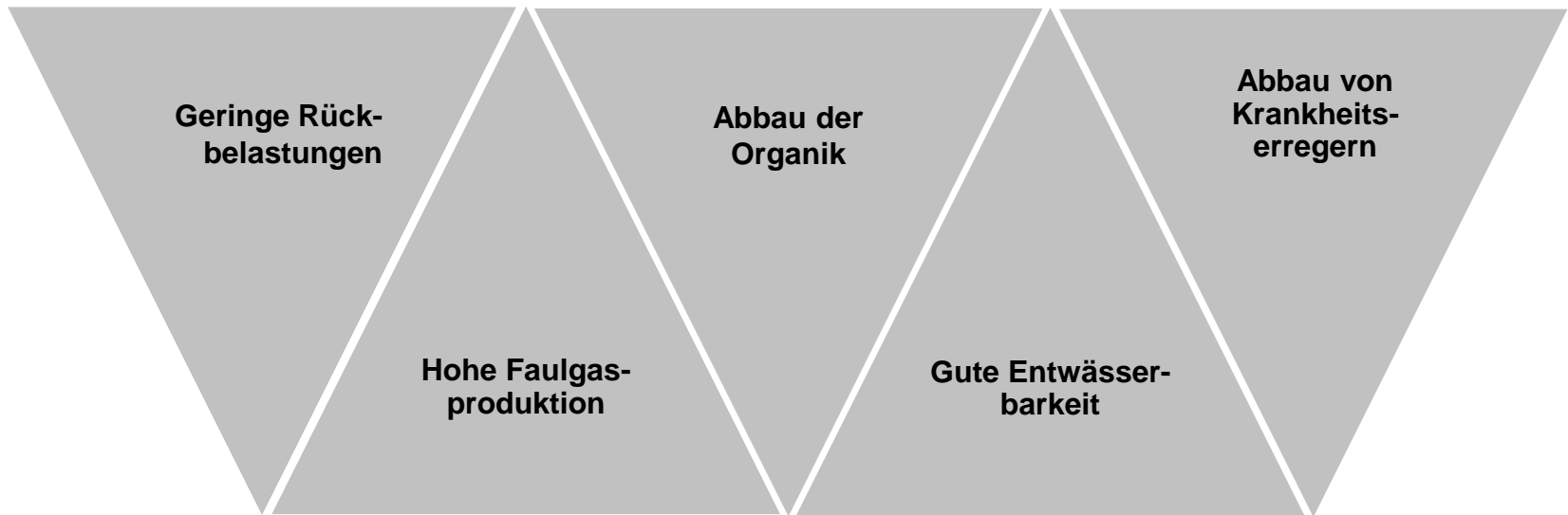
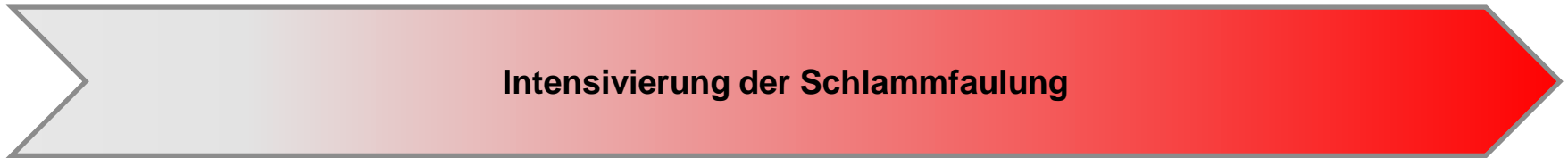


# Inhalt

- § Ziele der Schlammbehandlung
- § Übersicht zum Unterverbund 6
  
- § AP 1: Anaerobe Schlammstabilisierung
  - § Aktueller Stand der Bemessung
  - § Ergänzungen der Bemessung
  - § Validierung des Modells
  
- § AP 2: Solare Trocknung und Desinfektion
  - § Aktueller Stand der Bemessung
  - § Hinweise zur Bemessung
  - § Betriebshinweise
  - § Validierung des Modells
  
- § Schlussfolgerung und Ausblick



# Ziele der Schlammbehandlung



# UV 6: Klärschlammmanagement

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

- In warmen und kalten Klimaregionen
- Unter Einfluss erhöhter Salzgehalte

## AP 1:

### Anaerobe Schlammstabilisierung

- Anlagenvalidierung im Betriebsbereich 25°C +
- Bemessungsempfehlung für Faulanlagen

## AP 2:

### Solare Trocknung und Desinfektion

- Validierung klimahydrologischer Bemessungsgrundlagen
- Entwicklung einer Pilotanlage zur Desinfektion



# UV 6: Standorte

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

	Konya, Türkei	Kayseri, Türkei*	Cali, Kolumbien	Klodzko, Polen
Klima	Warmgemäßigt, sommertrocken	Warmgemäßigt, sommertrocken	Wintertrockenes tropisches Regenwaldklima	Feuchttemperiertes Klima mit langem Winter
Ausbaugröße Kläranlage	1.000.000 EW $Q_d = 200.000 \text{ m}^3/\text{d}$	800.000 EW $Q_d = 110.000 \text{ m}^3/\text{d}$ (2. Ausbaustufe auf 1.4 Mio EW)	2.000.000 EW $Q_d = 656.600 \text{ m}^3/\text{d}$	$Q_d = 12.500 \text{ m}^3/\text{d}$
Verfahrenstechnik Abwasserreinigung	Belebtschlamm- verfahren (C- Abbau, Nitrifikation), UV- Desinfektion des Ablaufs	Belebtschlammver- fahren mit Bio-P, Nitrifikation und Denitrifikation	Chem.-Physikal. (Erweiterung geplant)	Belebtschlammver- fahren (C-Abbau, Nitrifikation)
Verfahrenstechnik Schlammbehandlung	Eindickung PS+ÜSS, Faulung bei 35°C, Entwässerung FS (Zentrifuge)	Simultan aerobe Stabilisierung des ÜSS, Eindickung PS, Faulung PS bei 37 °C, Entwässerung FS (Bandfilterpresse)	Faulung PS, Entwässerung FS (Bandfilterpresse), SKT mit Fußbodenheizung	Simultan aerobe Stabilisierung, stat. Eindickung, Entwässerung (Zentrifuge), SKT mit Fußbodenheizung

\* Teilweise KfW-gefördert



Technische  
Universität  
Braunschweig



OSWALD SCHULZE  
Umwelttechnik GmbH

AP 1:

# Anaerobe Schlammstabilisierung

### Schlammmanfall und Charakteristik

*DWA-M 368 (2014):*

- Mindest-Stabilisierungsziel: technische Faulgrenze  $\eta_{\text{abb}} \approx 85 \% (\equiv \eta_{\text{oTR}} \approx 40 \%)$
- Beschickung mit einem  $\text{TR}_{\text{RS}}$  von 4 ... 8 %
- Bemessungsschlammalter in Abhängigkeit von Anlagengröße und organischen Schlammbelastung
- Empfehlungen: zweistufige Betriebsweise bei  $T_{\text{Faul}} \approx 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Möglichst detailreiche Datengrundlage zum täglichen Schlammmanfall, Feststoffgehalt erforderlich
- Zeitlich auftretende Schwankungen der Schlammfrachten?
- Bemessungsschlammmanfall über das Maximum des gleitenden 2-Wochen-Mittelwertes

# AP 1: Anaerobe Schlammstabilisierung

## Ergänzende Hinweise zur Bemessung

Ergänzende Hinweise aus EXPOVAL für internationale Standorte:

**! Anaerobe Stabilisierung bei  $T < 35 \text{ °C}$  möglich !**

- Faulbehälter ohne Wärmedämmung?
- Angepasster Sommer-Winterbetrieb an den Energiebedarf der KA

Festlegung des Stabilisierungsziels in Abhängigkeit von:

- klimatische Rahmenbedingungen ( $T_{\text{Luft}}$ , Windstärke)
- Monetäre Leistungsfähigkeit des Investors (Hightech oder Lowtech)

Auswertung für  $T_{\text{Faul}} < 35 \text{ °C}$  durch:

- Energiebilanz mittels Klimadaten  $T_{\text{Luft}}$  (durchschnittlicher Tages- und Nachtwert)
- Sicherheitsfaktoren für (Kläranlagengröße und Windeinfluss)

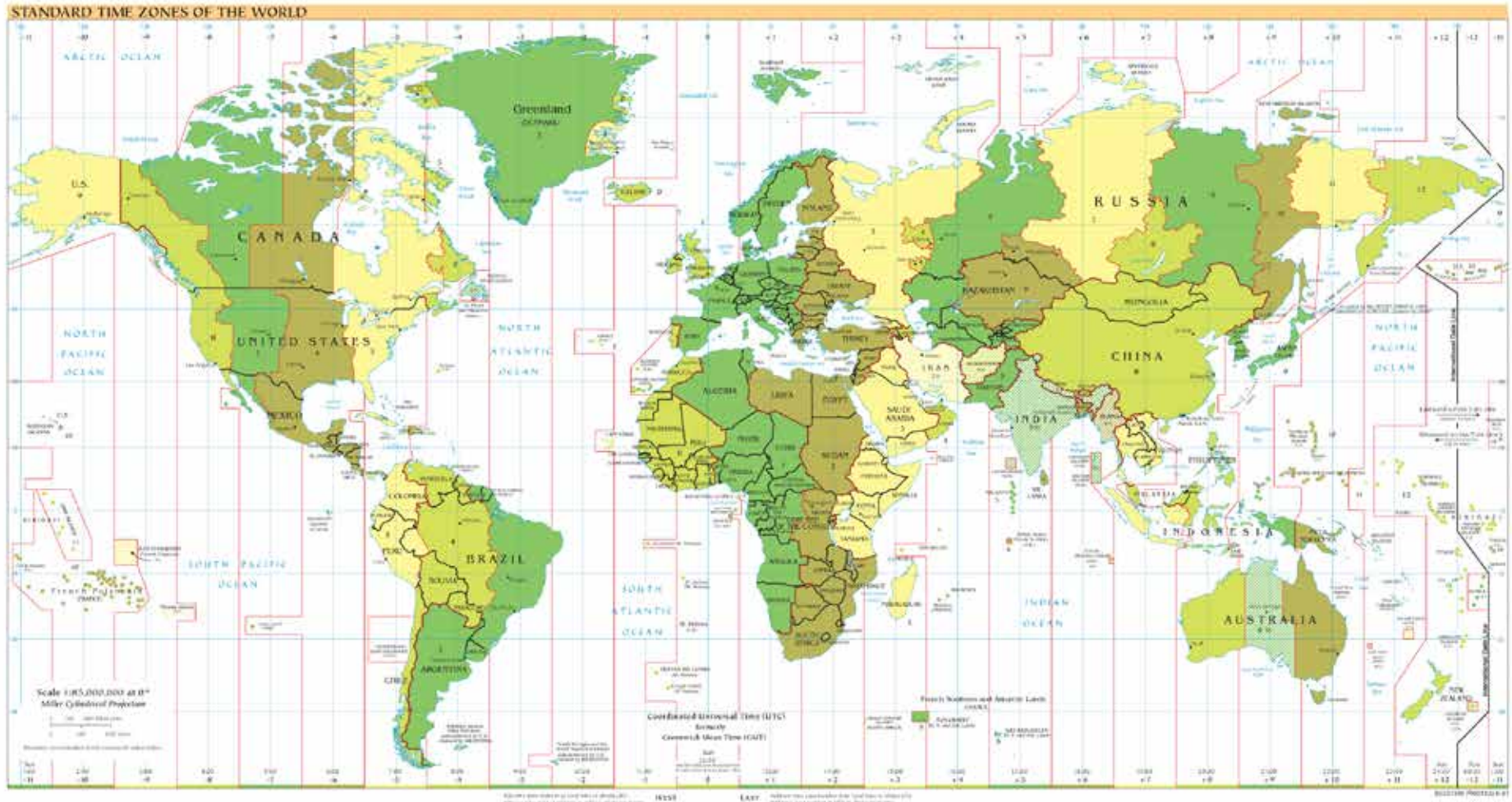


# AP 1: Anaerobe Schlammstabilisierung Bau von Faulstufen ohne Wärmedämmung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Quelle: [http://www.mygeo.info/karten/zeitzonen\\_weltkarte\\_cia\\_2007.png](http://www.mygeo.info/karten/zeitzonen_weltkarte_cia_2007.png)



Technische  
Universität  
Braunschweig



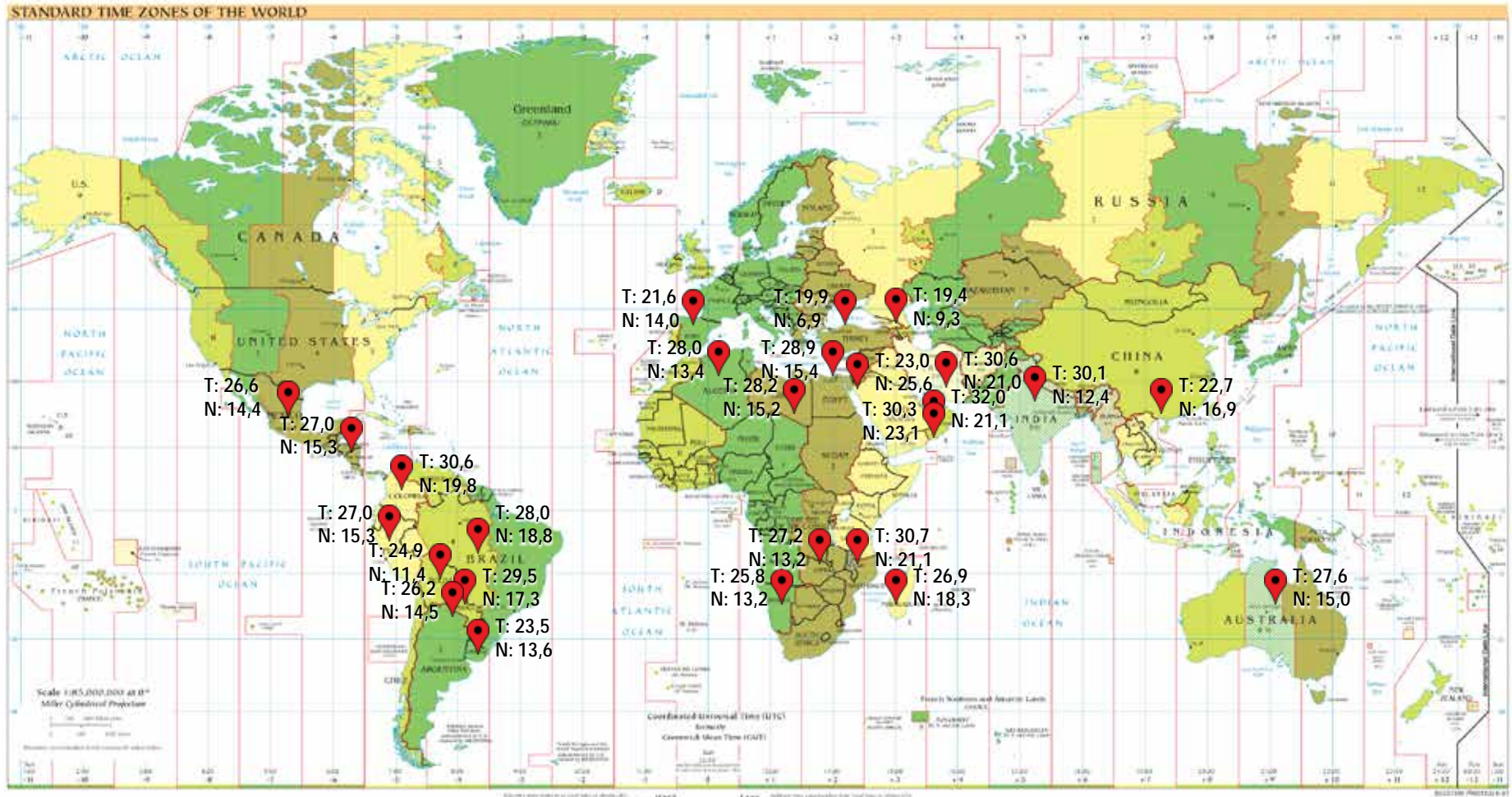
OSWALD SCHULZE  
Umwelttechnik GmbH

# AP 1: Anaerobe Schlammstabilisierung Bau von Faulstufen ohne Wärmedämmung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Durchschnittstemperaturen in  
T = durchschnittliche Tagestemperatur in [°C]  
N = durchschnittliche Nachttemperatur in [°C]

Karte modifiziert. Quelle: [http://www.mygeo.info/karten/zeitzonen\\_weltkarte\\_cia\\_2007.png](http://www.mygeo.info/karten/zeitzonen_weltkarte_cia_2007.png)



Technische  
Universität  
Braunschweig



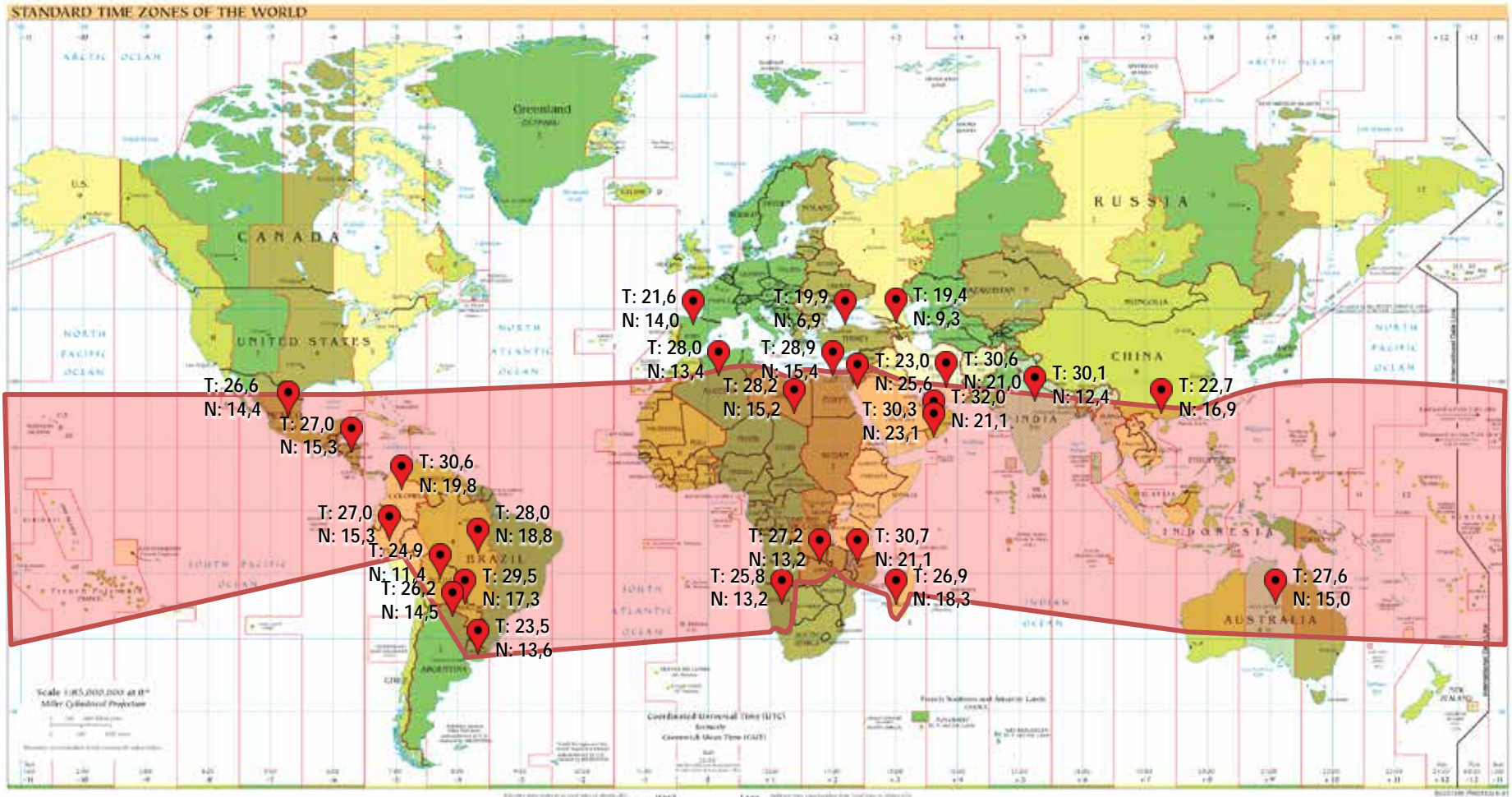
OSWALD SCHULZE  
Umwelttechnik GmbH

# AP 1: Anaerobe Schlammstabilisierung Bau von Faulstufen ohne Wärmedämmung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Durchschnittstemperaturen in  
T = durchschnittliche Tagestemperatur in [°C]  
N = durchschnittliche Nachttemperatur in [°C]

Karte modifiziert. Quelle: [http://www.mygeo.info/karten/zeitzonen\\_weltkarte\\_cia\\_2007.png](http://www.mygeo.info/karten/zeitzonen_weltkarte_cia_2007.png)



Technische  
Universität  
Braunschweig



OSWALD SCHULZE  
Umwelttechnik GmbH

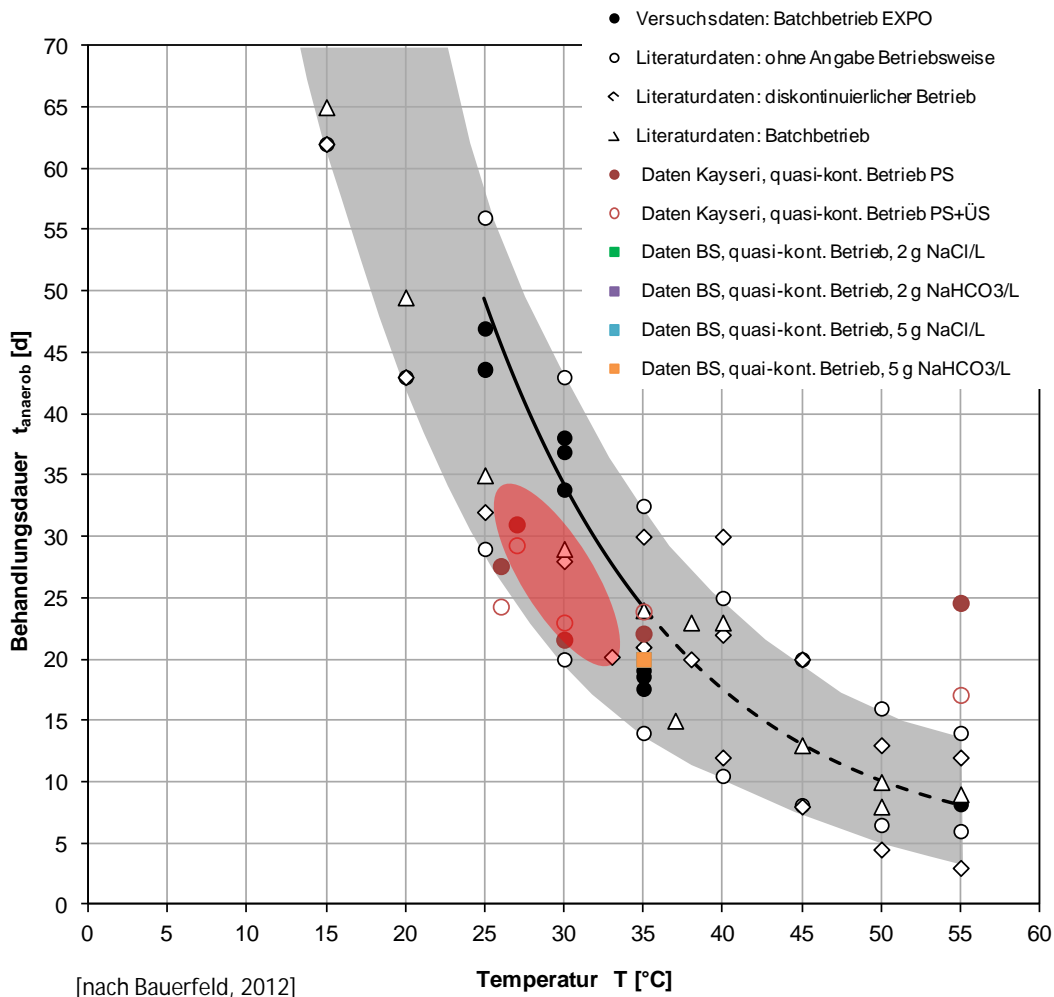
# AP 1: Anaerobe Schlammstabilisierung

## Validierung des Modells

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Ü Festlegung der Stabilisierungsziels:

- Reduzierung von 40 % der oTM

Ü Festlegung zweier niedrig-mesophiler Temperaturbereiche:

- 25 bis 30 °C (ohne Wärmedämmung)
- 30 bis 35 °C (mit Wärmedämmung)



Technische  
Universität  
Braunschweig

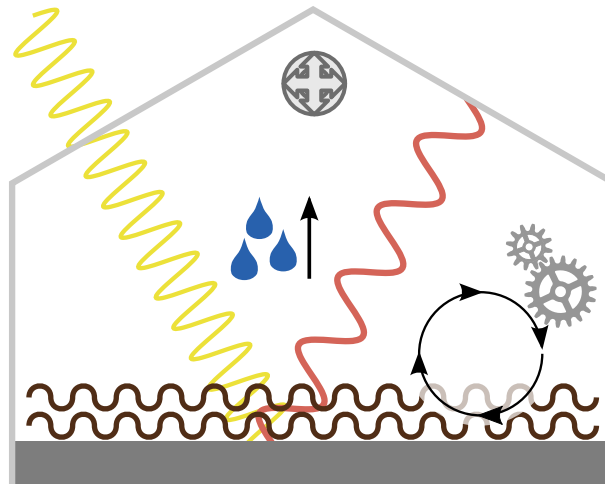


OSWALD SCHULZE  
Umwelttechnik GmbH

# AP 2: Solare Trocknung

### Bestehende Bemessungsansätze

- Keine Bemessungsvorschrift vorhanden
- Existierendes technisches Regelwerk (ATV-DVWK-M 379, 2004; Wastewater Engineering, 2014) beschreibt lediglich Einsatzbereich für die solare Trocknung
- Anlagenplanung anhand klimahydrologischer Modelle, Klärschlammvolumen und Feststoffflächenbelastung bzw. verdunstende Wassermenge (Wasserbilanz)  
z.B. nach Turc, Penman, FAO (Erfahrungswerte und weiterführende Arbeiten im Rahmen von EXPO, 2009 und Bauerfeld, 2012)



[nach Steffen, 2014]

### Erweiterung des Bemessungsansatzes

- Verwendung der von Wendling veränderten Penman-Formel auf Basis des Ansatzes von Turc
- Integration folgender Faktoren:
  - $f_{lw}$  [-]: Faktor zur Berücksichtigung des Luftwechsels
  - $\alpha$  [-]: Transmissionskoeffizient des Eindeckungsmaterials
  - $R_G^*$  [ $J/cm^2$ ]: Energieinput aus Solarstrahlung und Zusatzheizung
  - $T^*$  [ $^{\circ}C$ ]: Erhöhung der Außentemperatur aufgrund des Gewächshauseffektes

$$E_{p,SKT} = \frac{f_{lw} \cdot (\alpha R_G^* + 93 \cdot f_k) \cdot (T^* + 22)}{150 \cdot (T^* + 123)} \quad \left[ \frac{kg}{m^2 \cdot a} \right]$$

Das Modell setzt eine nicht wassergesättigte Luft voraus

à bis auf wenige Stunden nachts war das während der gesamten Trocknungszeit der Fall

### Bemessung der Trocknungsfläche

1. Ermittlung der potenziellen Verdunstung  $E_{p,SKT}$  [kg/(m<sup>2</sup>·d)] anhand von Materialkennwerten, Klima- und Betriebsdaten
2. Aus vorhandenem Eingangs-TR, vorhandener Schlammmenge (entwässert) und gewünschtem Austrags-TR ergibt sich die notwendige Verdunstung  $E_{soll}$  [t/a]

$$E_{soll} = M \cdot \left(1 - \frac{TR_{ein}}{TR_{aus}}\right) \quad \left[\frac{t}{a}\right]$$

3. Berechnung der notwendigen Trocknungsfläche A [m<sup>2</sup>]

$$A = \frac{E_{soll} \cdot 1000}{E_{p,T-W}} \quad [m^2]$$

4. Diese Bemessung setzt einen Speicher zum Ausgleich unterschiedlicher Verdunstungsleistungen im Jahresgang voraus, sollte dies nicht der Fall sein, erhöht sich die Fläche entsprechend (Speichertrockner)

$$A = \frac{\frac{E_{soll} \cdot 1000}{12}}{\text{Min } E_{p,SKT}} \quad [m^2]$$



# AP 2: Solare Klärschlamm-trocknung

## Planerische und betriebliche Aspekte

### Jahresgang klimatischer Einflussfaktoren

- Jahreszeitliche Schwankungen werden durch Monatsmittelwerte (Temperatur) und Monatssummen (Strahlung) berücksichtigt
- Bei großen Temperaturschwankungen ist es sinnvoll einen Speicher für die kalte Jahreszeit einzuplanen
- Durch einen Fremdwärmeeintrag kann auch in der kalten Jahreszeit eine Trocknung stattfinden

### Betriebssteuerung

- Schichtdicke: bei regelmäßigem Wenden kein Einfluss auf den Trocknungsfortschritt im Bereich von 5 bis 20 cm
- Wendeintervall: ohne Einfluss auf den Trocknungsprozess, im tropischen Verkleben des Schlammes bei häufiger als 1x pro Stunde und Entwicklung von Fliegenlarven bei seltener als alle 4 Stunden wenden

# AP 2: Solare Klärschlamm-trocknung

## Planerische und betriebliche Aspekte

### Betriebssteuerung

- Zusatzheizung: Vergleichmäßigung der Trocknungsgeschwindigkeit
  - In tropischen Gebieten in der Regenzeit und nachts sinnvoll
  - In kalten Klimaten im Winter sinnvoll
  - Sinnvoll bei vorhandenen Abwärmequellen

### Eigenschaften des solar getrockneten Klärschlamm

	Gemäßigtes Klima	Tropisches Klima	Kaltgemäßigtes Klima
<b>Organik</b>	Abbau um ca. 5% (vollstabilisierter Schlamm)	Abbau um ca. 5% (teilstabilisierter Schlamm) bis ca. 15 % (Bauerfeld, 2012)	Abbau um ca. 3% (teilstabilisierter Schlamm) bis ca. 10 % (Bauerfeld, 2012)
<b>Schwermetalle</b>	Konstant über den Trocknungsprozess		
<b>Nährstoffe</b>	Konstant über den Trocknungsprozess		
<b>Pathogene Mikroorganismen</b> (eigene Ergebnisse)	Keine Aussage zu Helminthen, da nicht vorhanden	Sicheres Abtöten von Helminthen	Keine Aussage zu Helminthen, da nicht vorhanden
	Reduktion Coliforme um 2 log-Stufen	Reduktion Coliforme um 2-3 log-Stufen	Reduktion Coliforme um 0,5-1 log-Stufen

# AP 2: Solare Klärschlamm-trocknung

## Validierung des Modells

Standort		Penzing	Cali	Klodzko
Anmerkungen		TR: 17% à 65%	TR: 31% à 85% Mit FBH nachts	TR: 23% à 67% Mit FBH bei Frost
Tatsächliche Verdunstung, Versuchsanlage	[kg/(m <sup>2</sup> ·a)]	854	2390	*)
Tatsächliche Verdunstung, Großtechnik	[kg/(m <sup>2</sup> ·a)]	666 (749)	1772	616
Berechnete Verdunstung	[kg/(m <sup>2</sup> ·a)]	643	1525	542
Vorhandene Fläche, Großtechnik	[m <sup>2</sup> ]	810 (ca. 720 genutzt)	3680	892
Berechnete Fläche, Großtechnik	[m <sup>2</sup> ]	941	4297	975

\*) Hochrechnung auf Jahresverdunstung aus den Messungen im Winter/Frühjahr nicht zielführend

# AP 2: Thermische Desinfektion

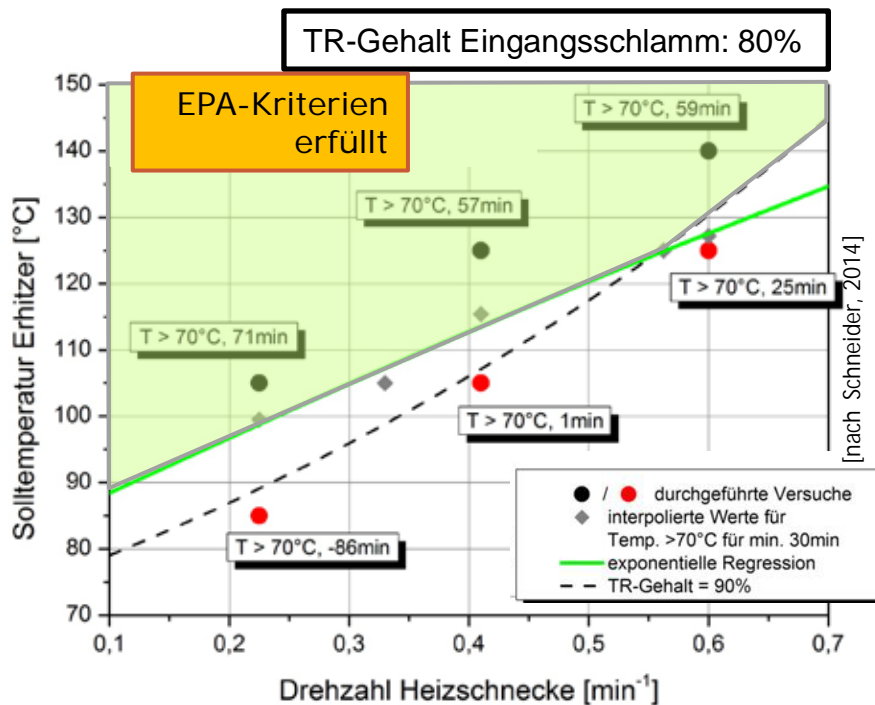
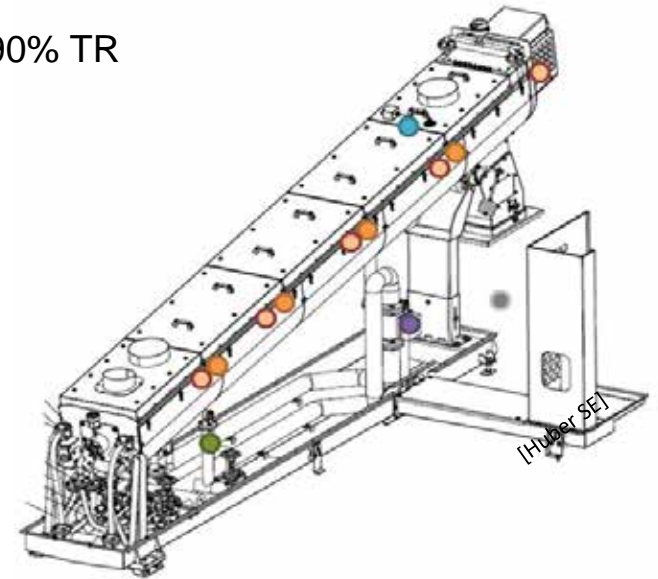
## Planerische und betriebliche Aspekte

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

- Kriterien nach **EPA 503**: mind. 30 Min. bei mind. 70°C, mind. 90% TR
- Ventilator mit Heizregister zum Austrag von Feuchtigkeit und zusätzlichem Energieeintrag ( $T > 70^\circ\text{C}$ )
- Ergebnisse bei Betrieb mit **100 % Drehzahl**:
  - Ø Aufenthaltszeit: 80 Minuten
  - Ø Förderrate: 70 kg/h
  - Ø Einhaltung der EPA-Kriterien
  - Ø Erreichung einer sicheren Desinfektion





# Schlussfolgerung und Ausblick

- § Abweichend vom Temperaturoptimum ist die Realisierung eines **dynamischen Faulbetriebs** möglich
- § Einsparung von Investitionskapital durch Verzicht auf **Faulbehälterisolierung**
  
- § Mit klimahydrologischen Modellansätzen lässt sich die notwendige Trocknungsfläche **für verschiedene Randbedingungen** zu **> 90 %** (Halbtechnik), und **> 80%** (Großtechnik) abbilden.
- § Auch im gemäßigten Klima ohne Fremdwärmeeinsatz ist ein hoher **Wasseraustrag über Jahresausgleich** erzielbar, im Winter überwiegt allerdings **Speicher(trocknung)**.
- § Die Betriebsführung in der dargestellten Varianz (Schichtdicke, Wendeintervall) scheint auf die **Trocknungsgeschwindigkeit** keinen Einfluss zu haben, innerhalb der dargestellten Bereiche ist ein sicherer Trocknungserfolg gewährleistet.
  
- § Eine **thermische Desinfektion** nach solarer Trocknung ist möglich
  
- Ø Sowohl die anaerobe Stabilisierung als auch die solare Trocknung sind für gemäßigte und warme Klimate geeignete Verfahren.
- Ø Durch Berücksichtigung betrieblicher Aspekte (z.B. Zusatzwärme) ist der Einsatz aller Verfahren auch in kalten Klimaregionen möglich.

**Institut für Siedlungswasserwirtschaft  
Technische Universität Braunschweig  
Pockelsstr. 2a  
38106 Braunschweig  
isww@tu-bs.de**

**Vielen Dank der Forschungsförderung des BMBF.**

Prof. Dr.-Ing. Norbert Dichtl (n.dichtl@tu-bs.de)

M. Eng. Robert Mieske (r.mieske@tu-bs.de)

Dipl.-Ing. Rosa Dellbrügge (r.dellbrügge@tu-bs.de)

Dr.-Ing. Katrin Bauerfeld (k.bauerfeld@tu-bs.de)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Technische  
Universität  
Braunschweig



OSWALD SCHULZE  
Umwelttechnik GmbH



# Quellenangaben

- ATV-DVWK-M 379, 2004. Klärschlamm-trocknung. Stand 02/2004. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- Bauerfeld, K. 2012. Einfluss klimatischer Randbedingungen auf die Klärschlammbehandlung. Dissertation am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig.
- Bauerfeld, K., Dockhorn, T., Dichtl, N. 2009. Klärschlammbehandlung und –verwertung unter anderen klimatischen und sonstigen Randbedingungen. Schlussbericht zum BMBF-Vorhaben EXPO, TP 4. Förderkennzeichen 02WA0733.
- Dellbrügge, R., Bauerfeld, K., Paris, S., Großer, A. 2014. Technology transfer-oriented research and development in the wastewater sector - validation at industrial-scale plants" (BMBF-EXPOVAL) – Subgroup 6: Solar sewage sludge drying. First results from investigations with a pilot plant. Singapore Water Week, 01.-05.06.2014, Singapur.
- DWA-M 368, 2014. Biologische Stabilisierung von Klärschlamm, Stand 05/2014. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- Schneider, J. 2014. Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur thermischen Desinfektion und erste Untersuchungen zu Verfahrenstechnik und Desinfektionsleistung. Bachelorarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig.
- Steffen, L. 2014. Untersuchungen zum Einfluss betrieblicher Randbedingungen auf die solare Klärschlamm-trocknung. Bachelorarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F. 2014. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (Metcalf & Eddy), Fifth Edition. Mc. Graw-Hill, New York
- US Environmental Protection Agency, 2007: Part 503 – Standards of the use and disposal of sewage sludge, Title 40: Protection of Environment. Cincinnati, USA
- Wendling, U., Schellin, H.-G., Thomä, M. 1991. Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. Zeitschrift für Meteorologie, Band 41, Jahrgang 1991, pp. 468-475.
- Abgebildete Fotos sind, soweit nicht anders gekennzeichnet, vom ISWW der TU BS.