



Optimierung der Klärschlammmentwässerung



Dr.-Ing. Julia B. Kopp

Kläranlagen Beratung Kopp
Hintere Str. 10 - D-38268 Lengede
www.kbkopp.de



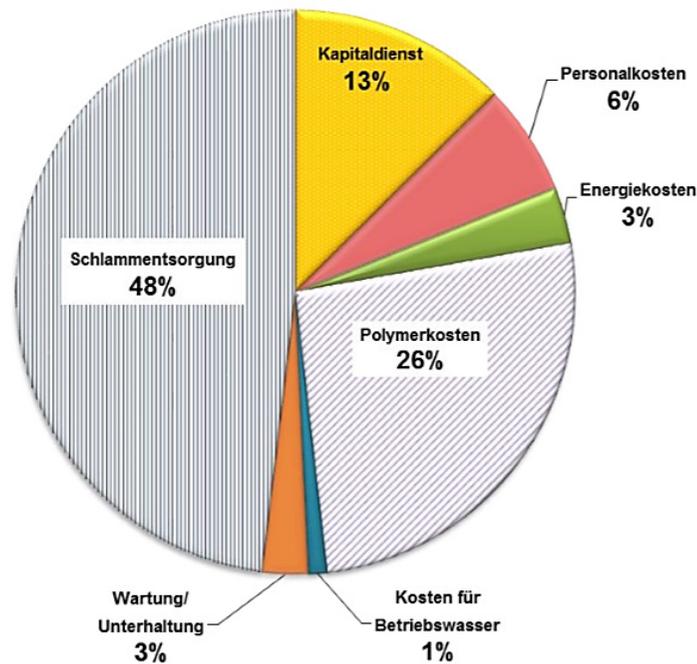
DWA: stellv. Obfrau KEK 2
 Sprecherin KEK 2.3
 Referentin Abwassermeister-Fortbildung



Kosten

Optimierung der Entwässerung

Beispiel Wirtschaftlichkeitsberechnung Zentrifugenanlage



Für die Wirtschaftlichkeit einer Entwässerungsanlage maßgeblich:

- erreichtes Entwässerungsergebnis
- benötigter Polymereinsatz

Beispiel:

Kläranlage mit 100.000 EW,
Entsorgungskosten 50 €/Mg,
Verbesserung des TR von 25 auf
26% spart ca. 10.000 €/a
Entsorgungskosten



DWA Fachausschusses KEK 2 „Stabilisation, Konditionierung, Eindickung, Entwässerung und Entseuchung von Schlämmen“



Merkblatt DWA M 366
Maschinelle Schlamm entwässerung
2013

Merkblatt DWA M 350
Aufbereitung von polymeren Flockungsmitteln
2014

Merkblatt DWA M 381
Eindickung von Klärschlamm
2007

Merkblatt DWA M 383
Kennwerte der Schlamm entwässerung
2008 / 2018





Schlammmentwässerung



▶ Ziel

- Abtrennung des Schlammwassers, um die weiter zu behandelnden Schlammmassen zu vermindern.

▶ Methode

- Maschinelle Klärschlammmentwässerung erfolgt durch Zentrifugation oder durch Filtration.
- Vor der Entwässerung wird der Schlamm konditioniert, um die Entwässerbarkeit des Schlammes zu verbessern.

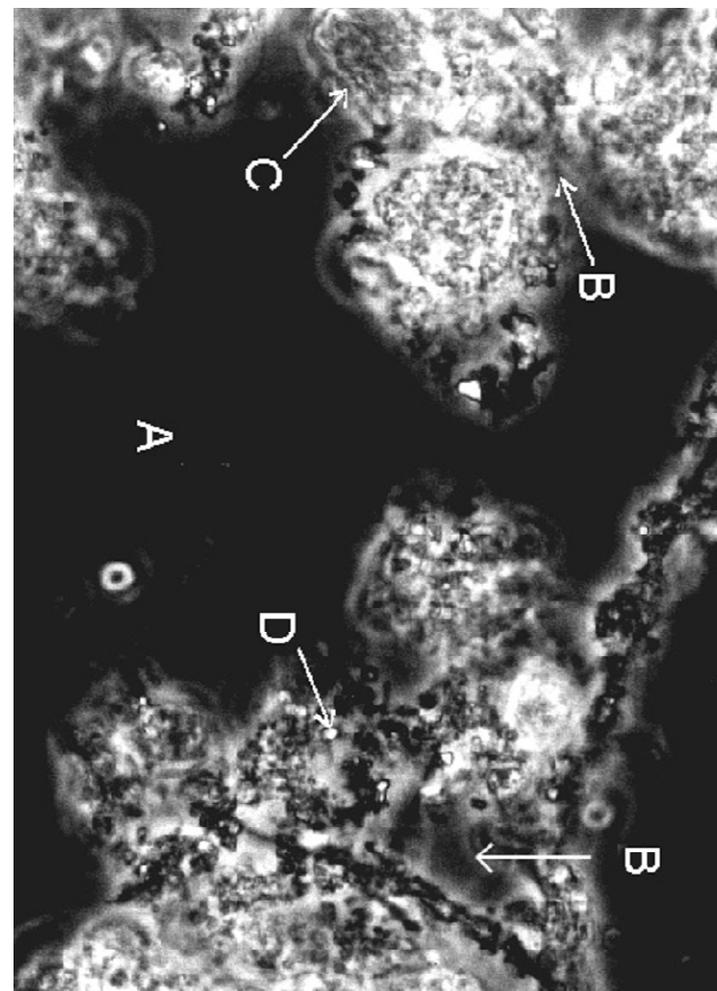
▶ Aspekte

- Wie und mit welchen Mengen muss der Klärschlamm konditioniert werden?
- Wie viel Schlammwasser kann abgetrennt werden, welcher Feststoffgehalt stellt sich nach der maschinellen Entwässerung maximal ein?



Wasserbindung

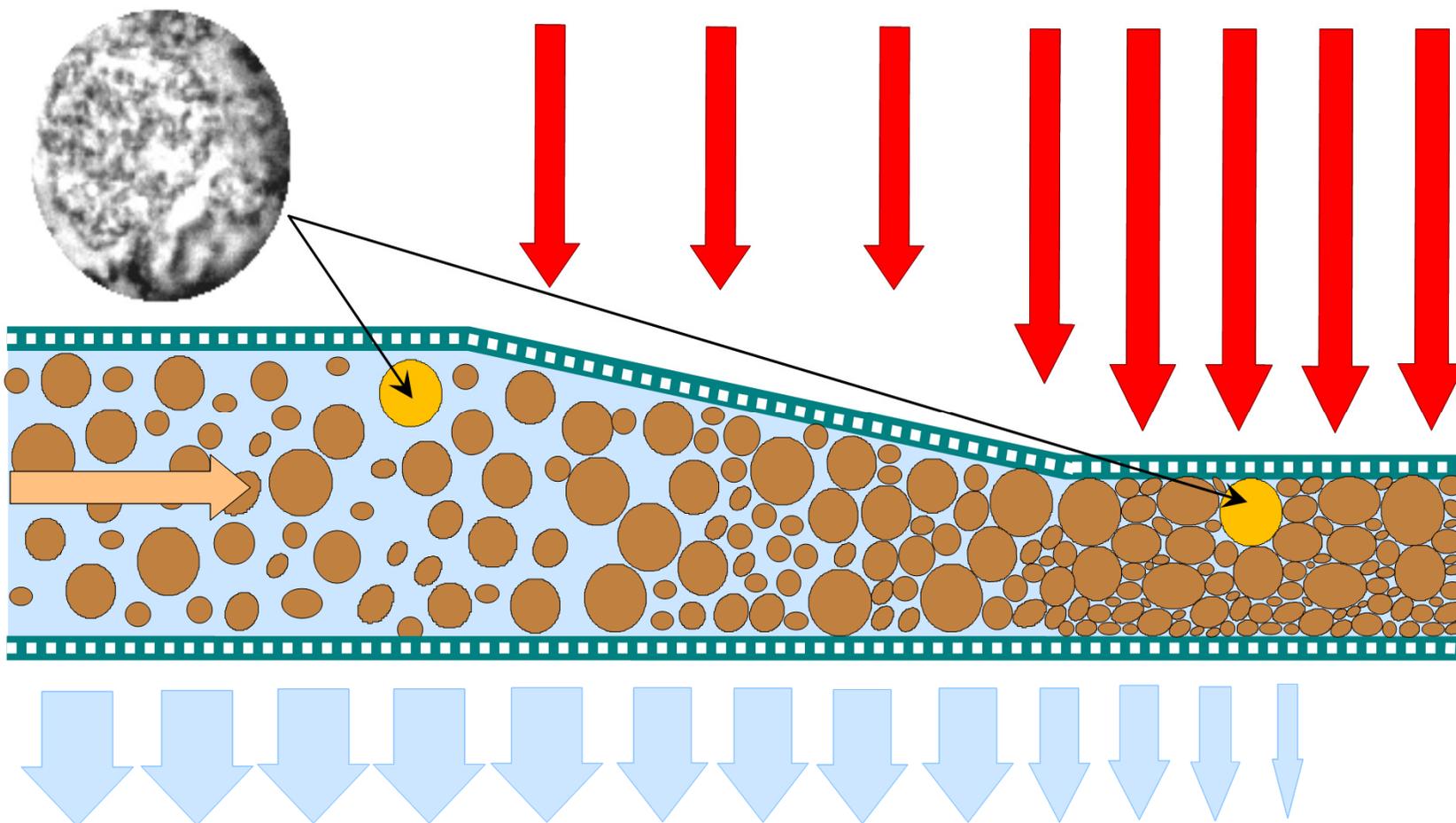
- **freies Wasser**
= keine Bindung
- **gebundenes Wasser** als:
 - Zwischenraumwasser, durch Kapillarkräfte zwischen den Klärschlammteilchen gehalten
 - Oberflächenwasser, durch Adhäsionskräfte
 - in Hydrogelsystemen gebundenes Wasser,
 - Zellinnenwasser
 - chemisch geb. Wasser
Kristallwasser (Hydratwasser)



(Quelle: Dr. Julia Kopp)



Nur der freie Wasseranteil wird abgetrennt...



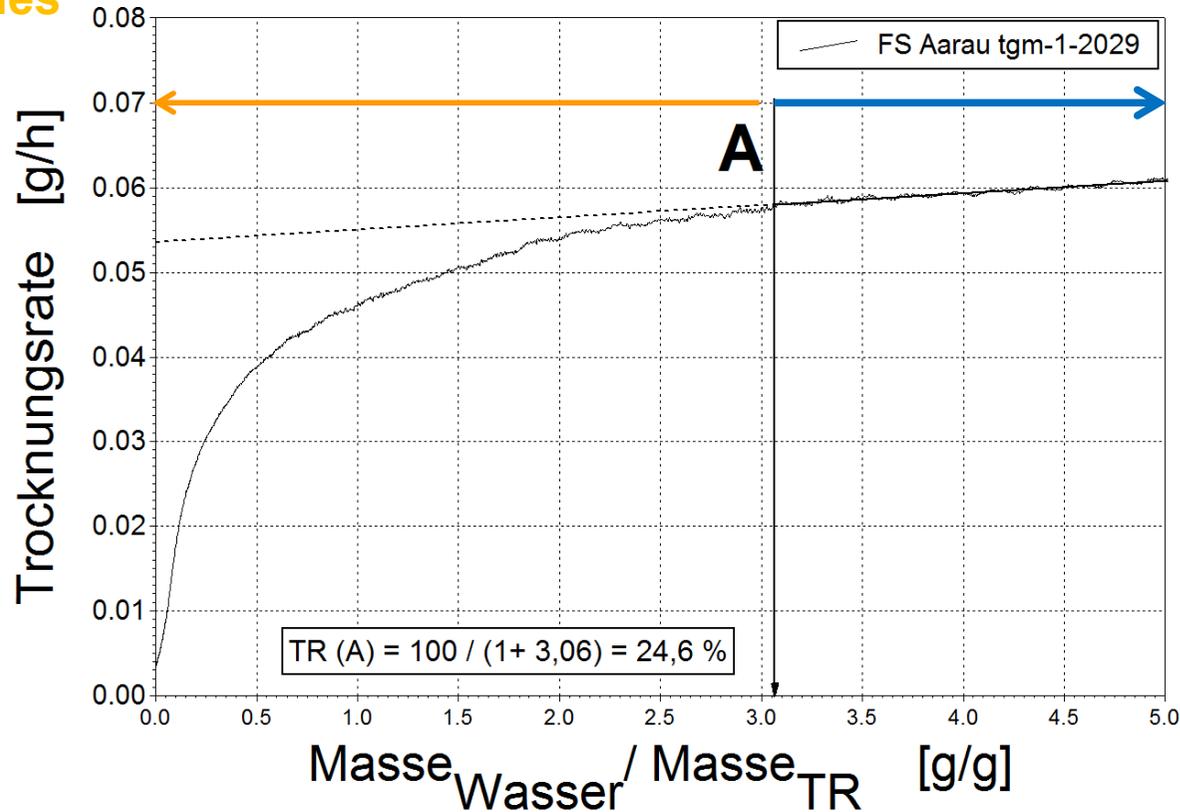
(Quelle: Dr. Julia Kopp)



Prognosekennwert TR(A)



gebundenes
Wasser



freies
Wasser

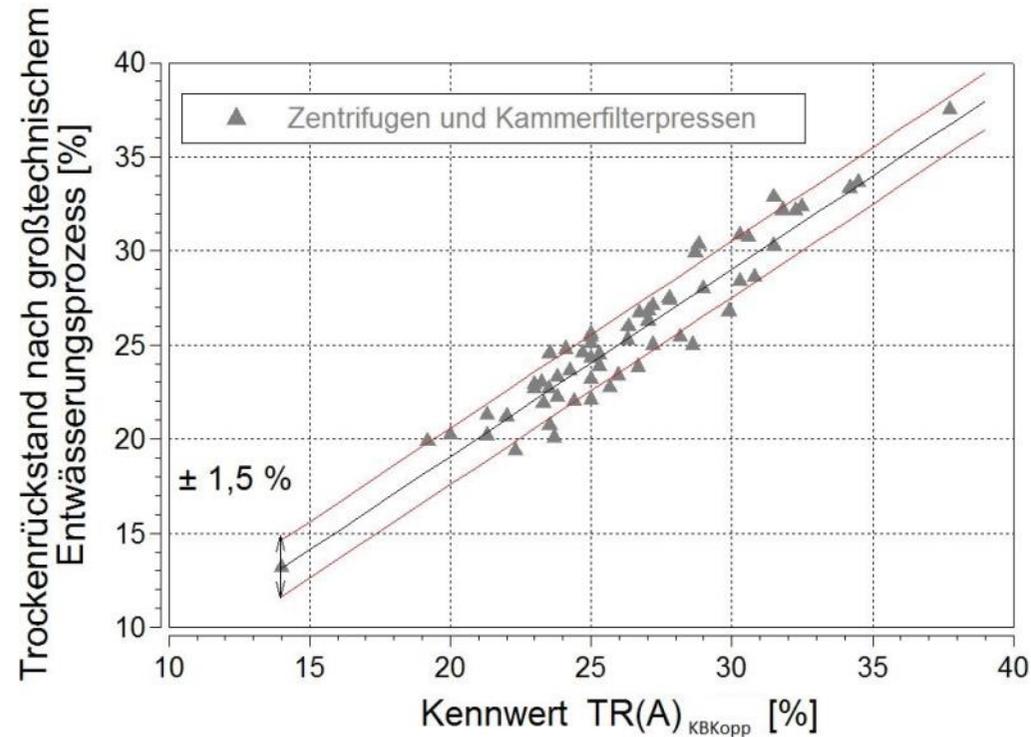
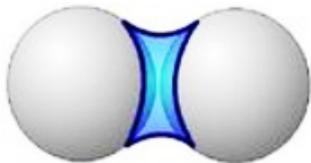
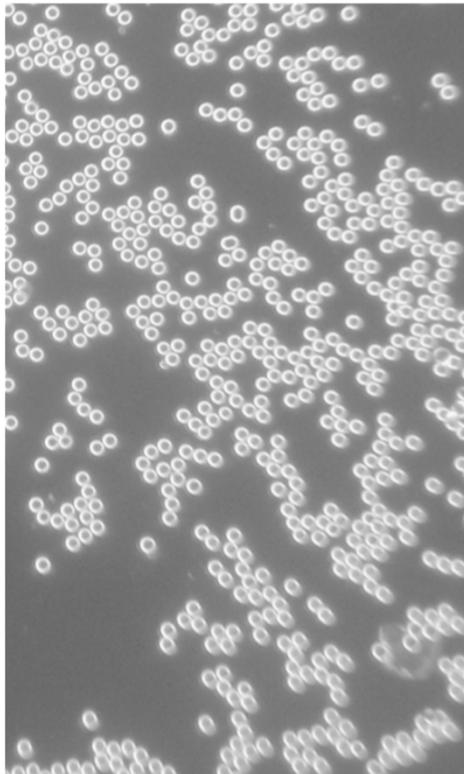
=

mechanisch
abtrennbar

$TR(A)_{KBKopp}$ abgeleitet aus der Messung des freien Wasseranteils



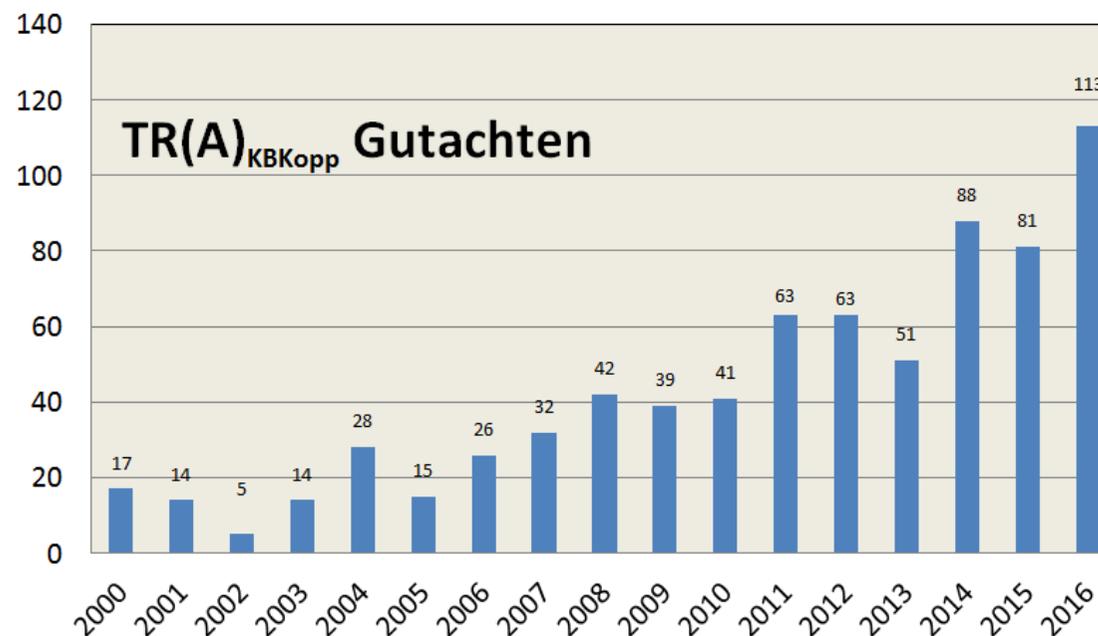
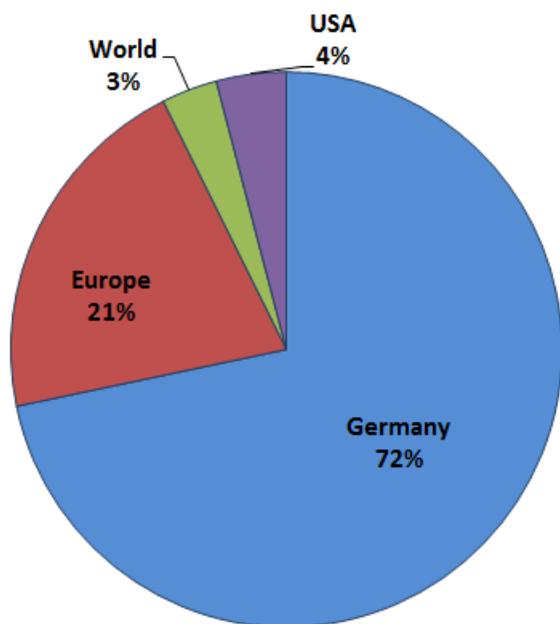
Prognosegenauigkeit TR(A)



- **Prognosegenauigkeit ±1,5% TR**
- bei Gericht zur Kontrolle von Garantiewerten akzeptiert
- 5 – Kalibrierung mit monodispersen mit Standardpartikeln (2-10 µm)



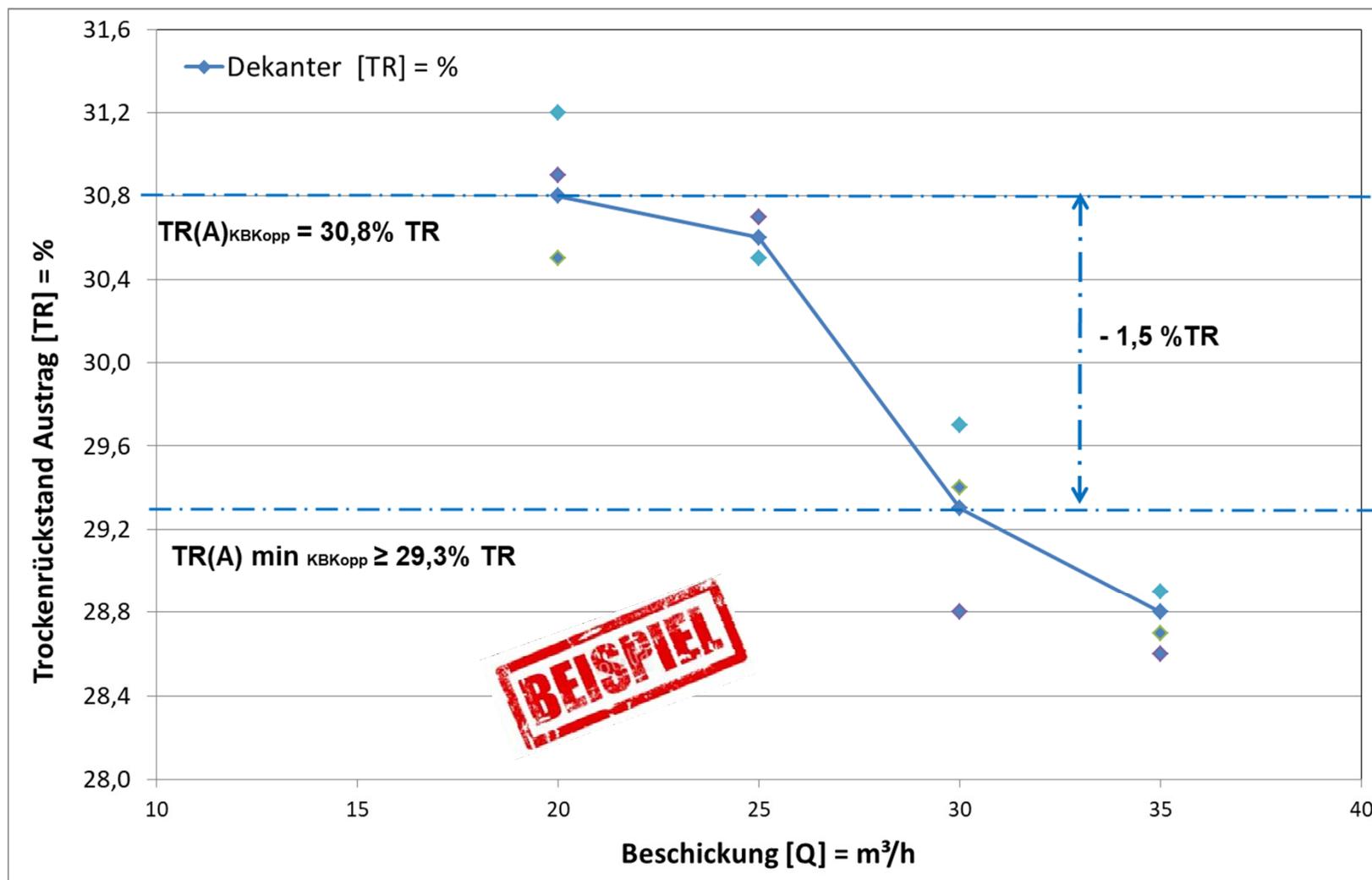
TR(A)_{KBKopp} Gutachten



- **Kennwert TR(A) ist anerkannt zur Kontrolle von Garantiewerten (DWA M-366, M-383)!**
- Mehr als 700 Gutachten seit 2000, ab 2014 2 – Messeinrichtungen
- **Messgenauigkeit $\pm 1,5\%TR$, 5-Punkt kalibriert mit monodispersen Standardpartikeln**



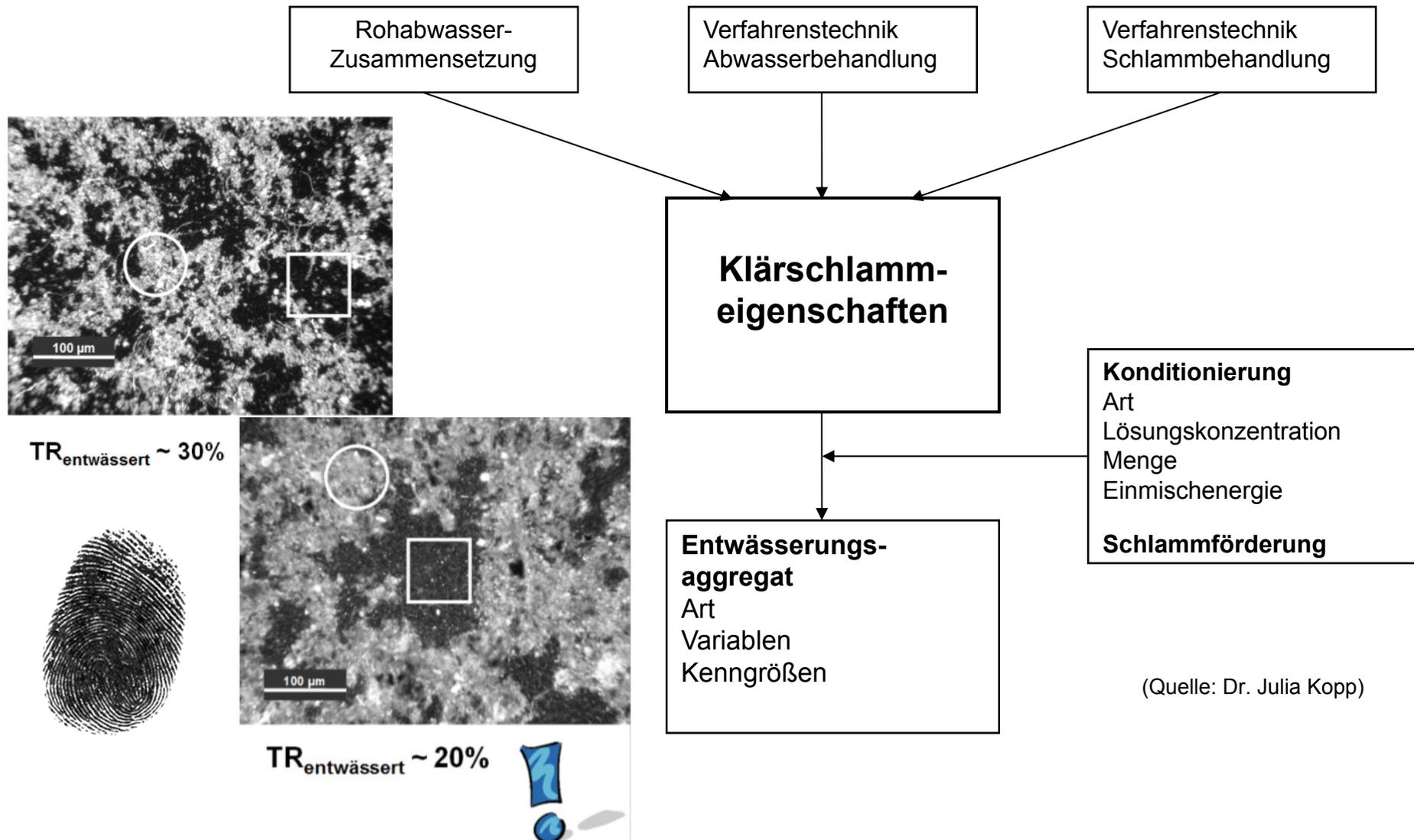
Achtung: Nutzlast der Maschinen



Maschinen bei max. 60-70% der Nennlast betrieben

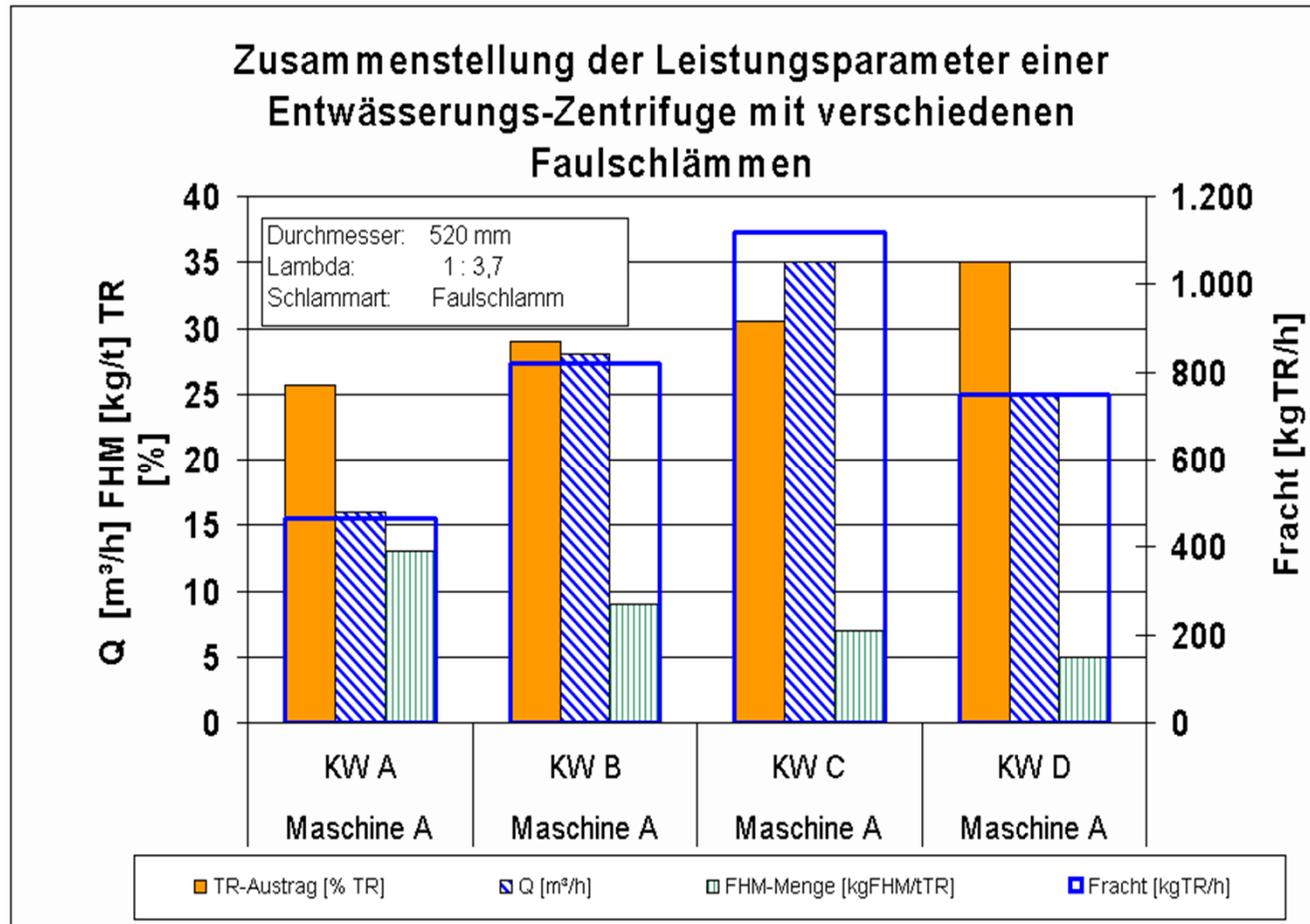


Schlammgenese





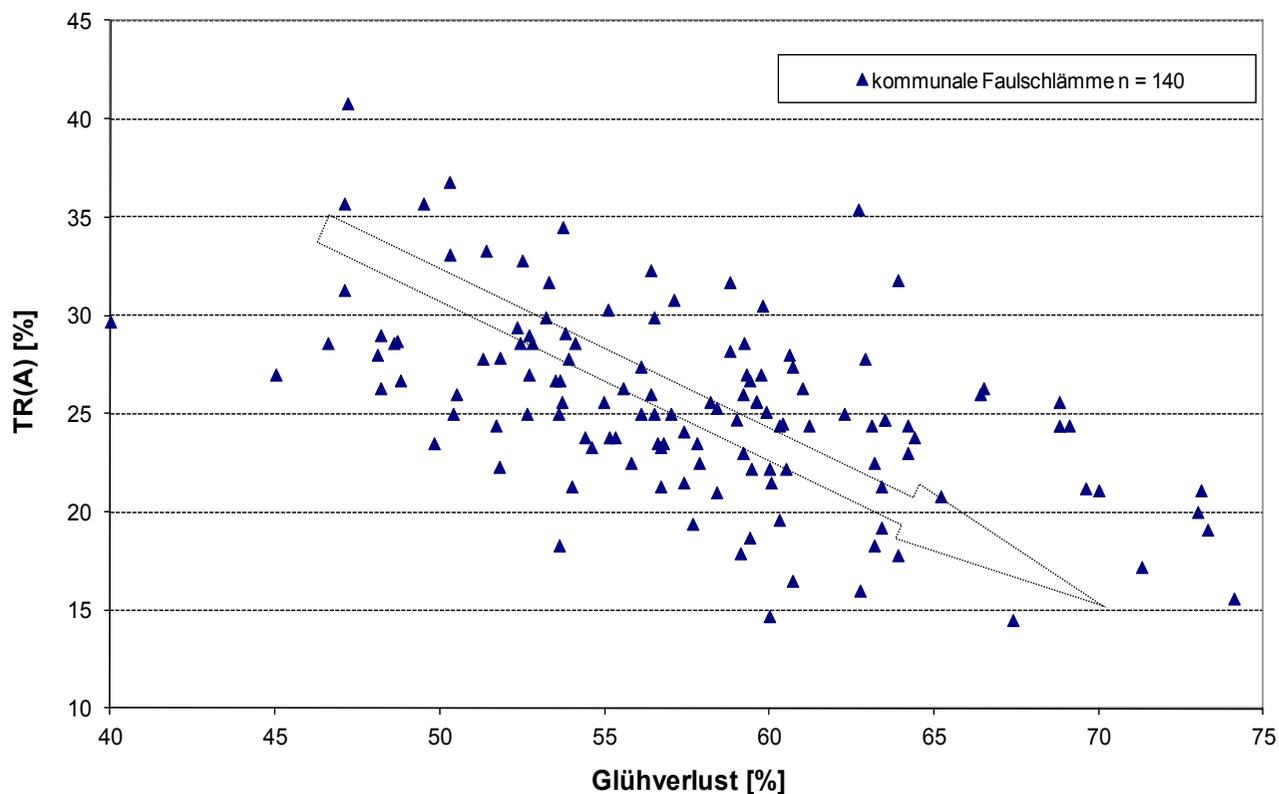
Betriebsergebnisse Zentrifuge



Quelle Dr. Denkert



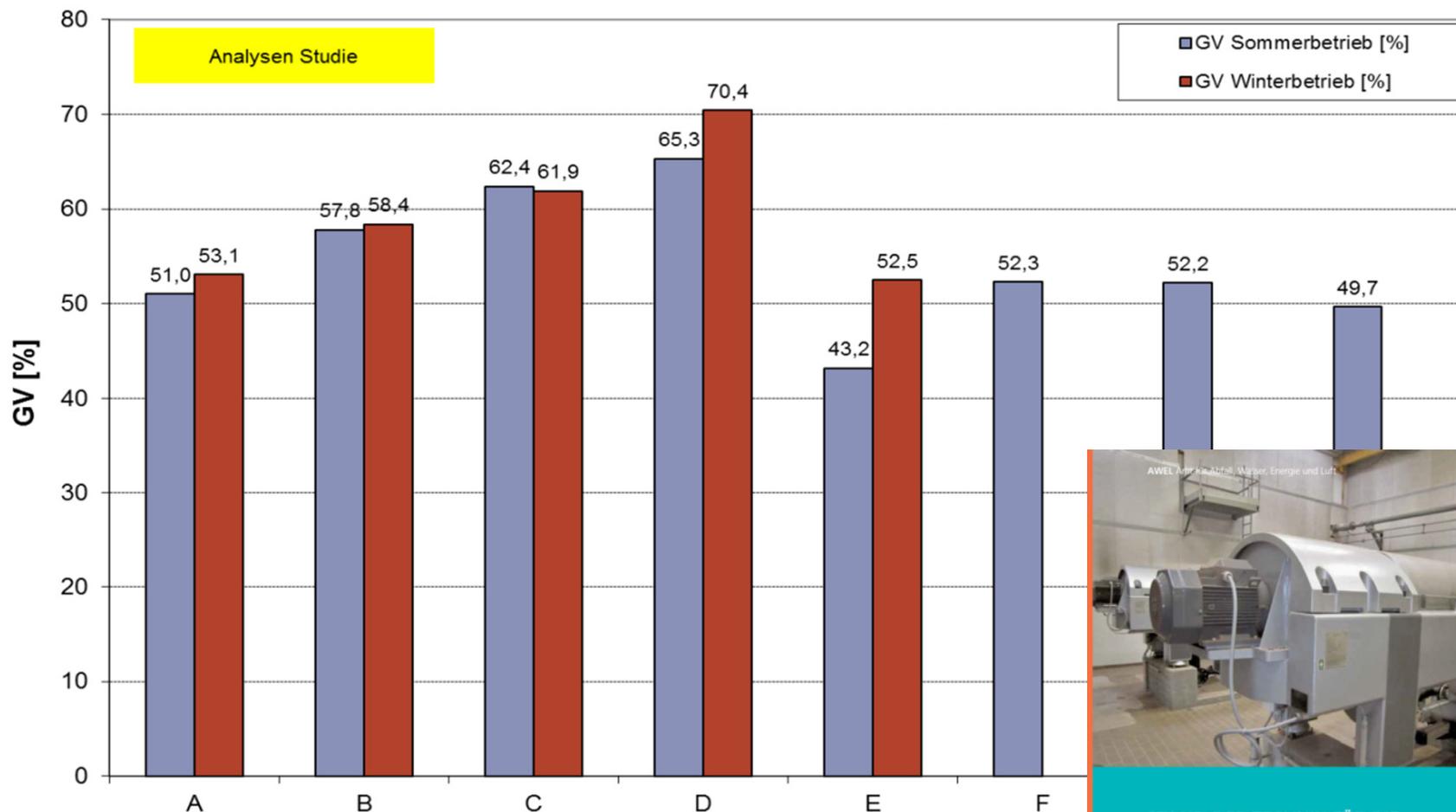
Glühverlust → keine Prognose



Nicht nur die Menge an Organik ist entscheidend, sondern welche Stoffgruppen bilden diesen Anteil.



AWEL (2012) GV der Faulschlammproben

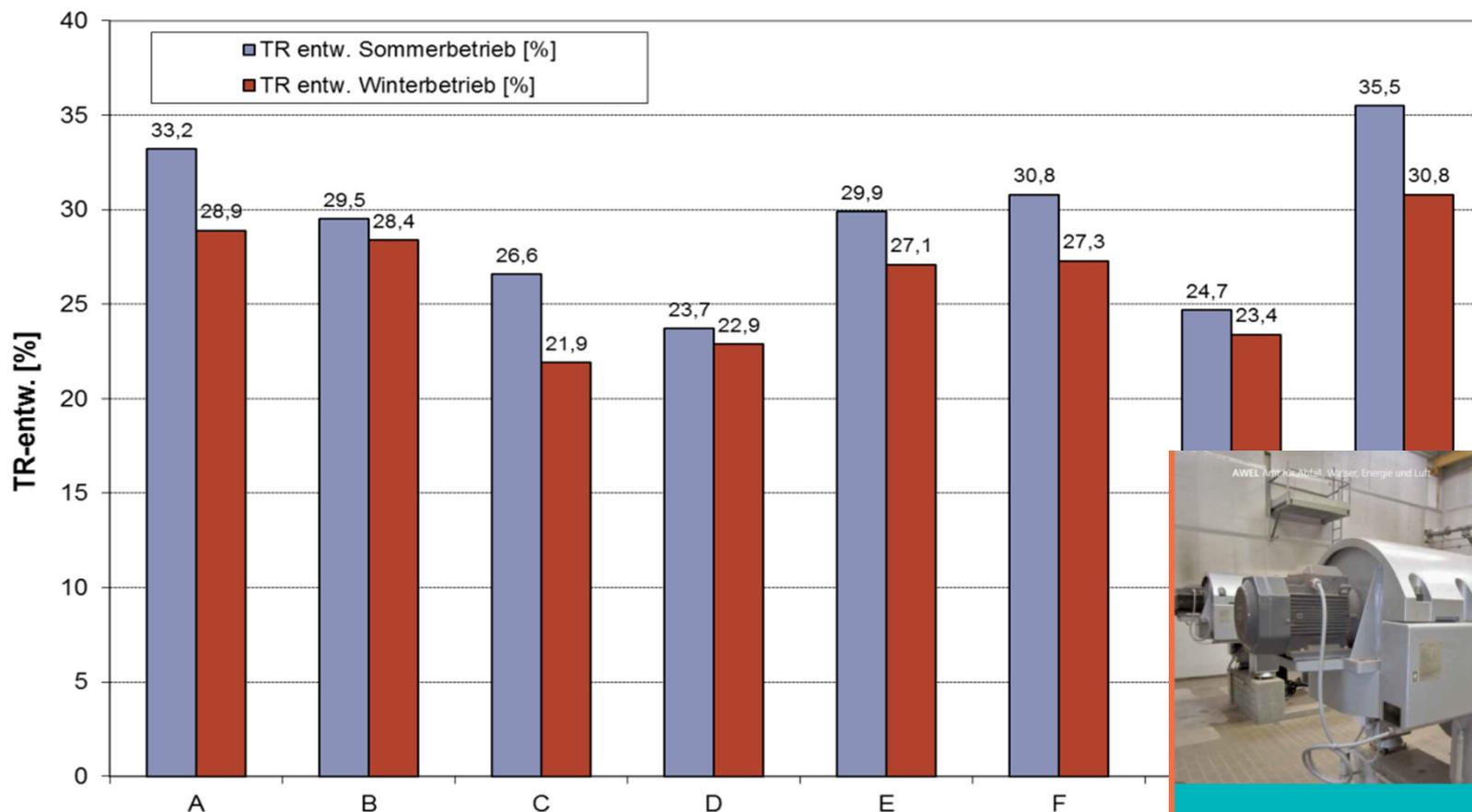


im Winter +2% GV





AWEL (2012) TR_{entwässert} mittlere Betriebswerte Sommer- Winter



große ARAs im Sommer nahezu optimal

im Winter -3% TR

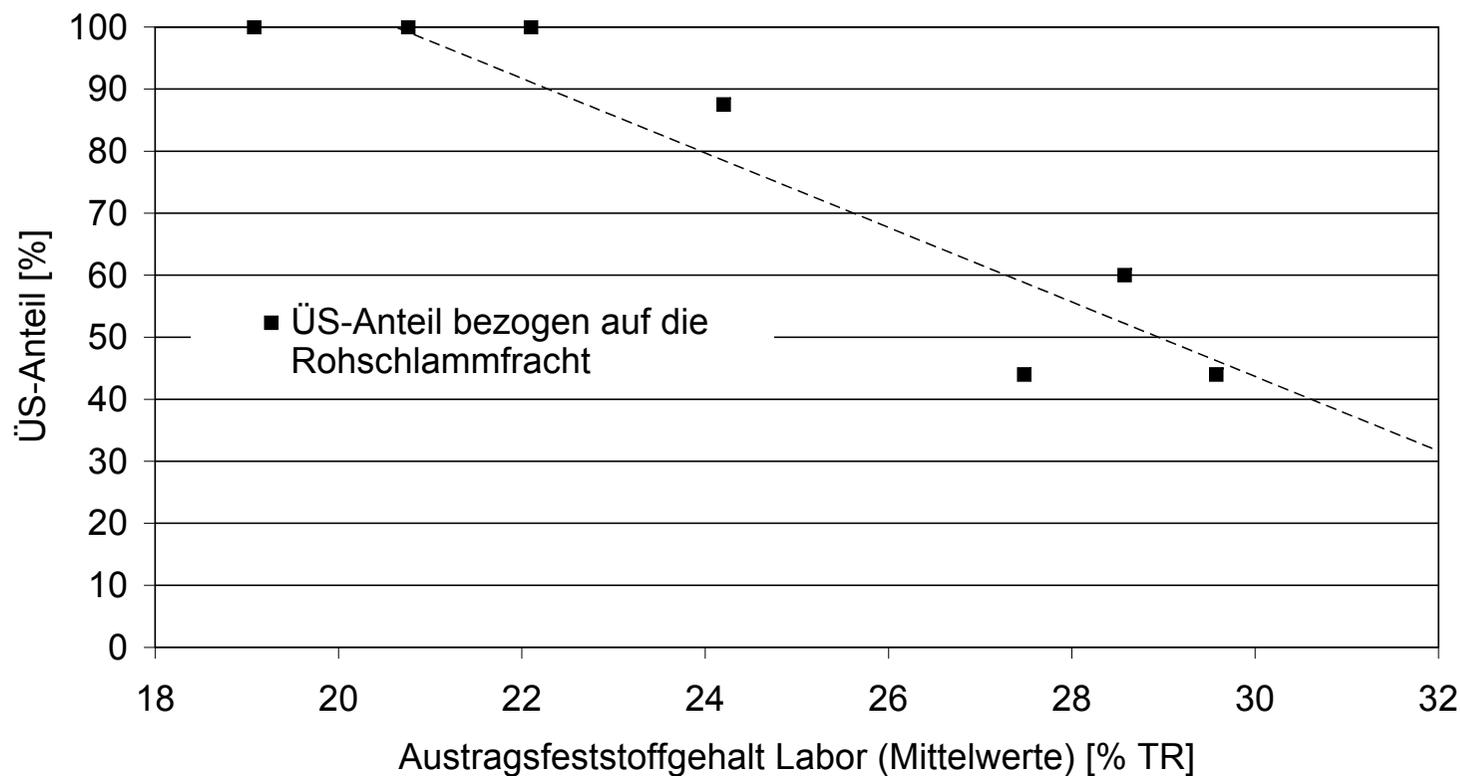


STAND DER TECHNIK FÜR DIE
(MECHANISCHE) ENTWÄSSERUNG
VON KLÄRSCHLAMM

ERMITTLUNG UND BESCHREIBUNG
STAND: SEPTEMBER 2012



Einfluss der Schlammart

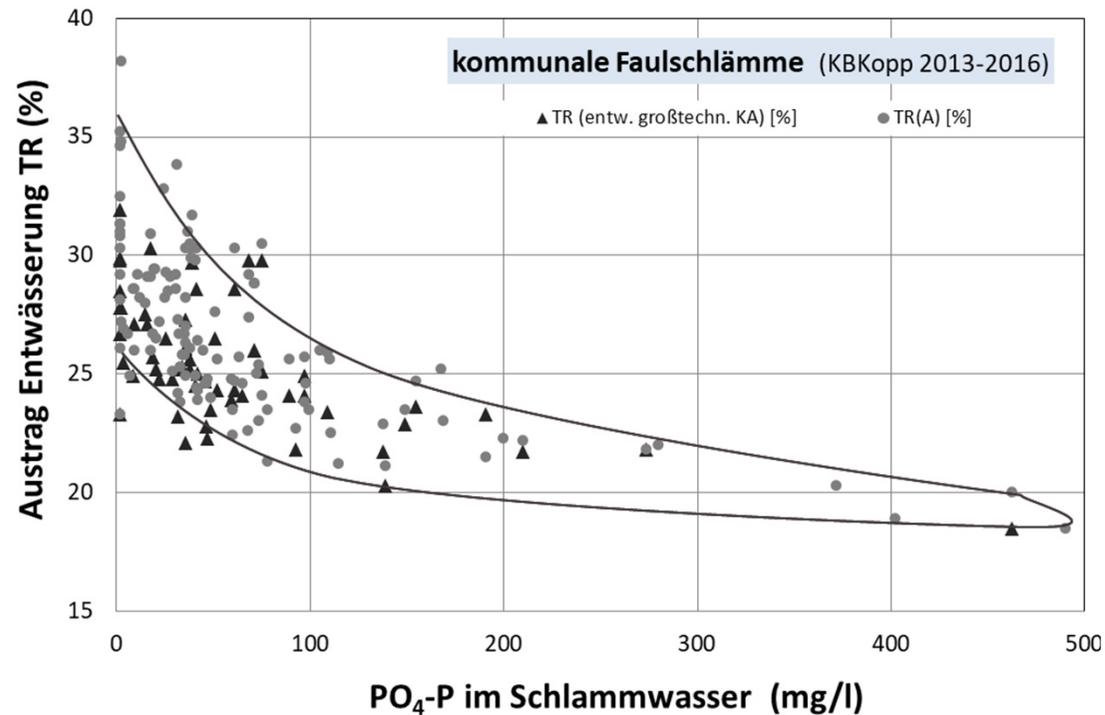


Mit steigendem ÜS-Anteil geht die Entwässerbarkeit zurück!



Phosphat und Entwässerung

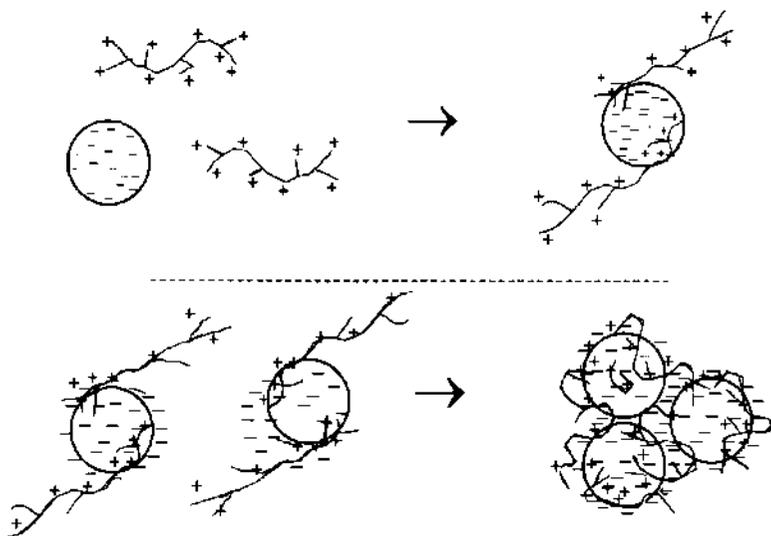
- PO_4P hat einen Einfluss auf die Wasserbindung der EPS
- EPS beeinflusst TR-Austrag und Polymerbedarf
- Kläranlagen mit Bio-P:
 > 100 mg/l PO_4P
 ~ - 4% TR
 ~ + 3 kg WS/Mg TM



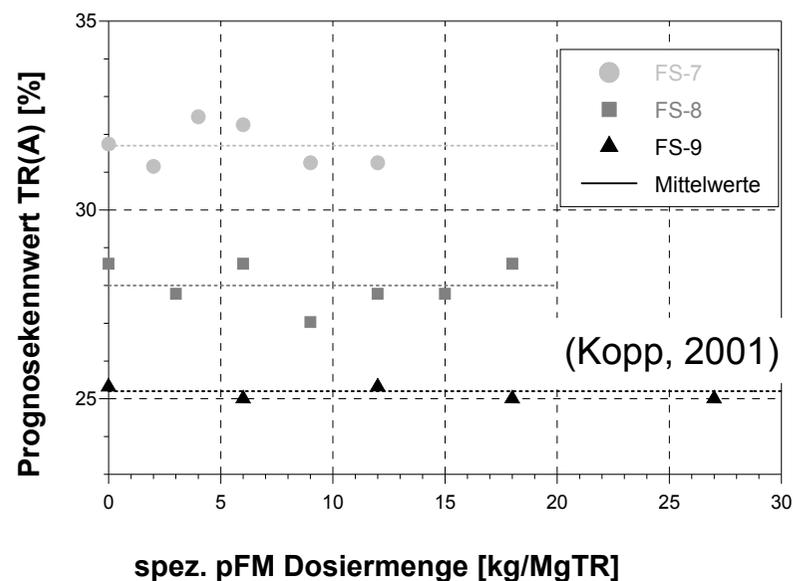
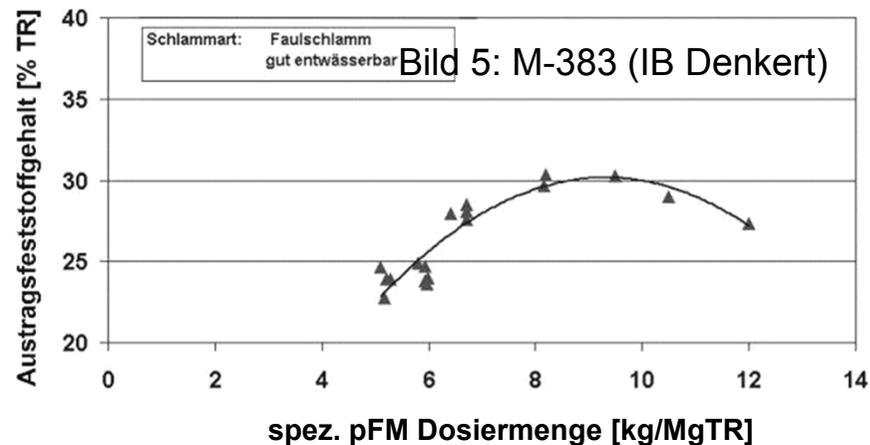
Kläranlage	Ø TR(A) [%]	Ø Poly [kg WS/MgTM]	Phosphatgehalt
P-Fällung	29	9	2-30 mg/l PO_4P
bid. P	24	12	> 100 mg/l PO_4P
bid. P	21	12	> 200 mg/l PO_4P



Konditionierung



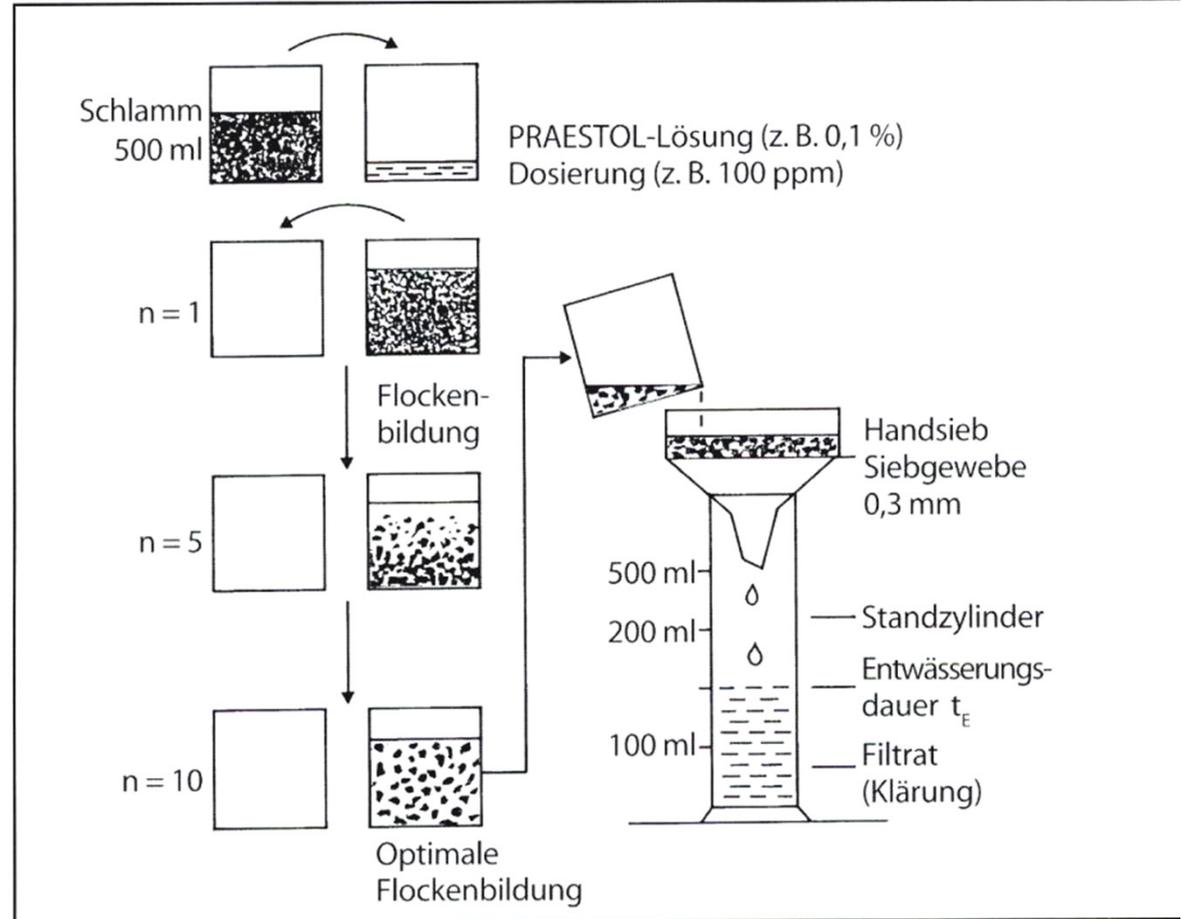
Bei der maschinellen Entwässerung kann das „freie“ Wasser abgetrennt werden, dies erfordert eine optimale Konditionierung.





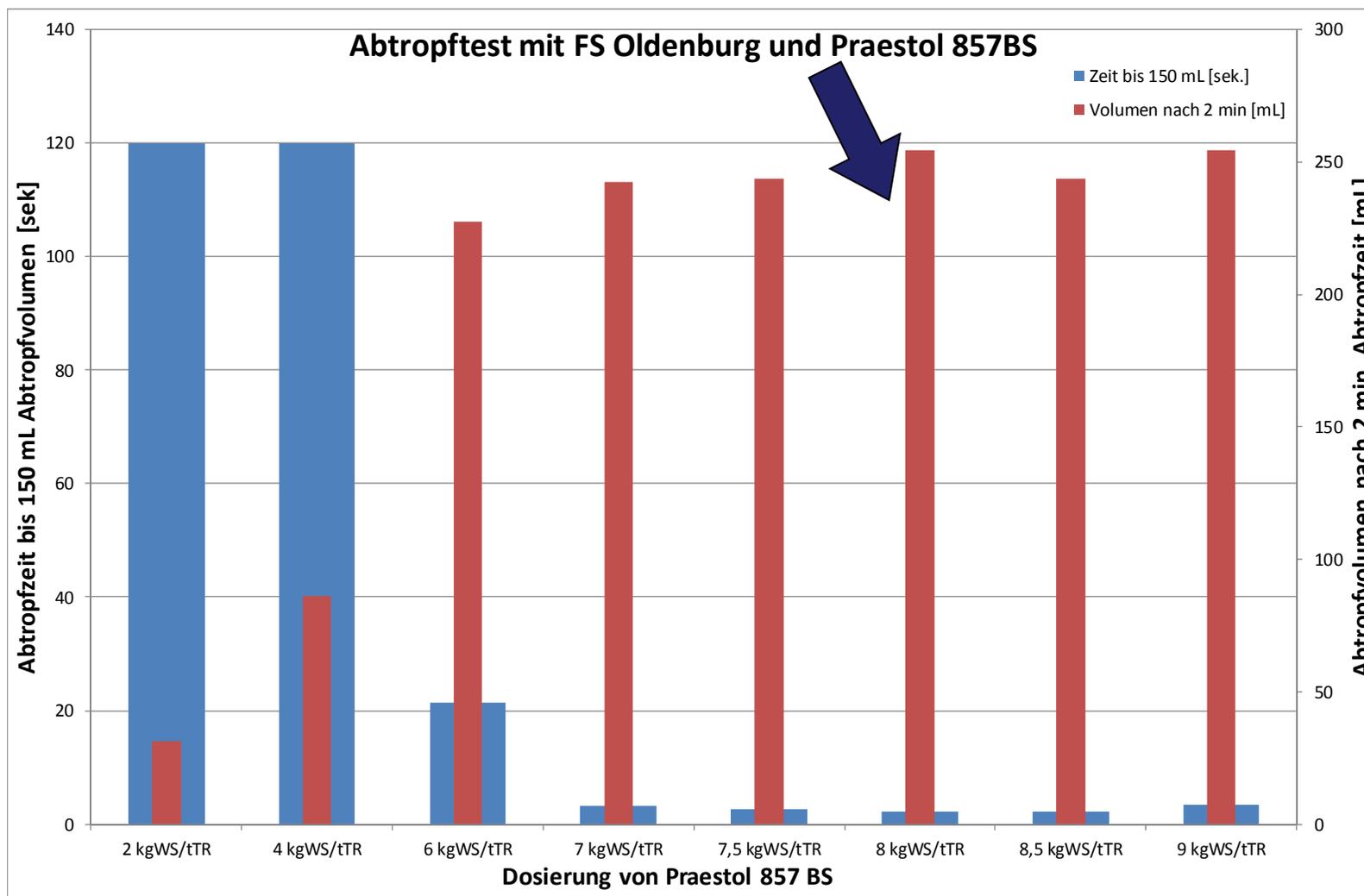
Schnelltest

Abtropftest





Beispiel: Abtropftest Entwässerung

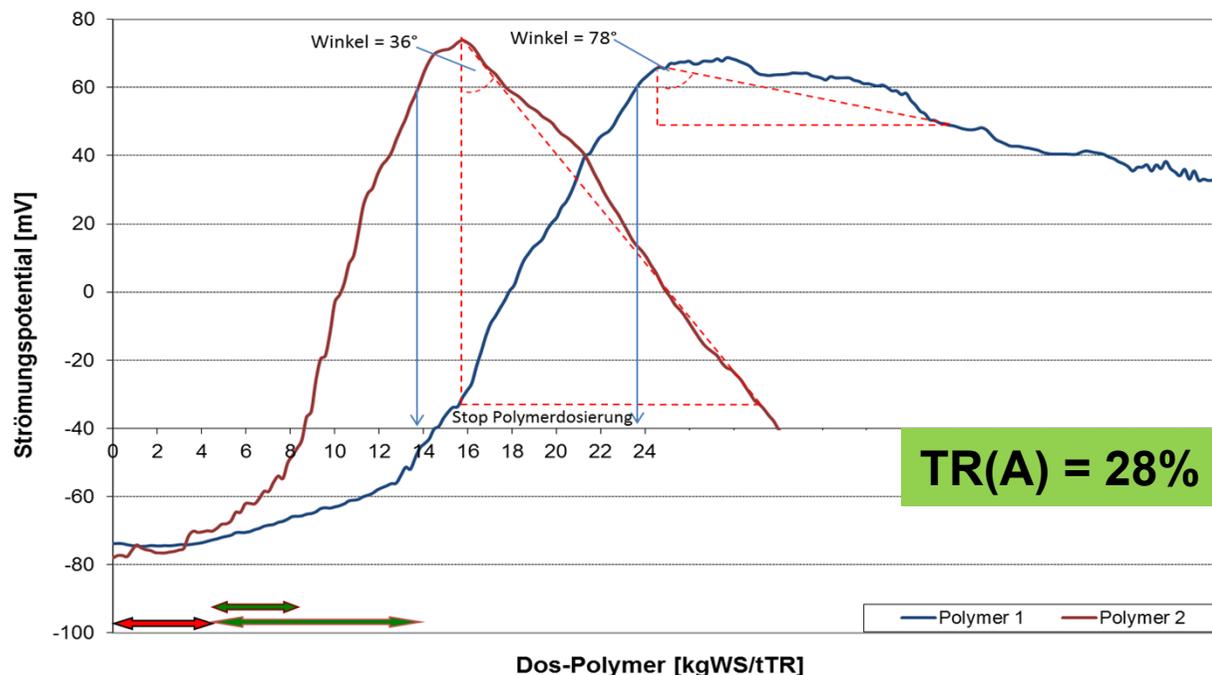


Treffer = min Zeit + max Filtrat



genauer Strömungspotentialmessung

Zusatzinformation: Scherstabilität



Polymerverbrauch für gelöste Ladung
 Polymerverbrauch zur Flockenbildung



Zentrat Polymer 1



Polymer 2

Dos- Polymer 1 opt. = 14,5 kgWS/tTR
 Scherstabilität Winkel: 78° gut

Verbrauch Zentrifuge 13,0 kgWS/tTR
Entwässerungsergebnis = 26,8 %TR
Abscheidegrad = 98,9 %

Dos- Polymer 2 opt. = 8,6 kgWS/tTR
 Scherstabilität Winkel: 36° schlecht

Verbrauch Zentrifuge 12,5 kgWS/tTR
Entwässerungsergebnis = 24,3 %TR
Abscheidegrad = 89,2 %



Löseverhalten und Reifezeit

Eine optimale Entwässerung wird nur erreicht:

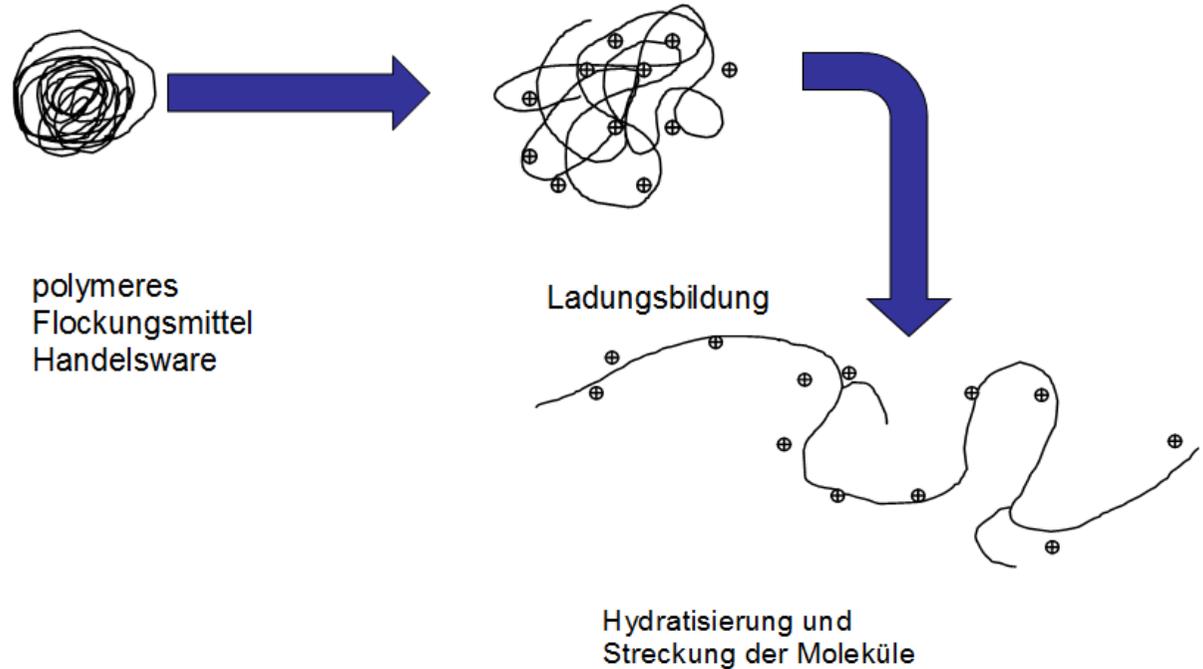
Wenn:

Polymerprodukt passt

& sachgerecht aufbereitet wird !!

45 min Reifezeit nach Befüllen!!

Verbrauch der angesetzten Lösung binnen 4 Stunden!!

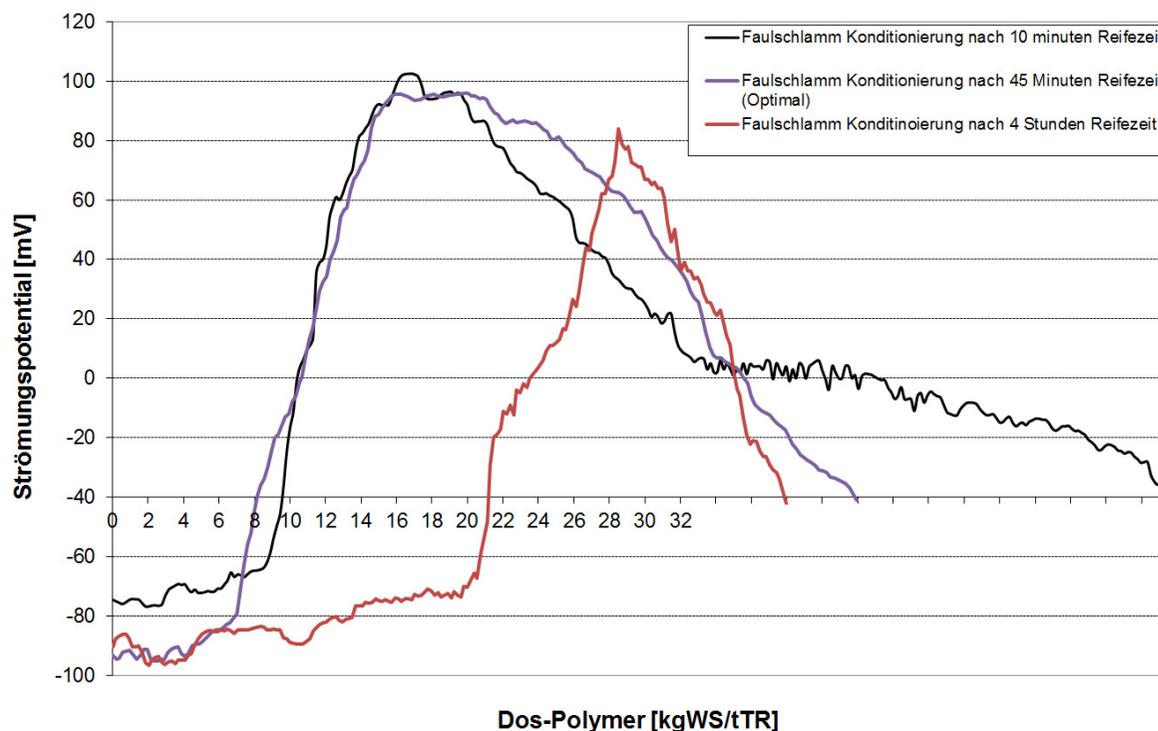




Verwendbarkeit der aufbereiteten Polymerlösung

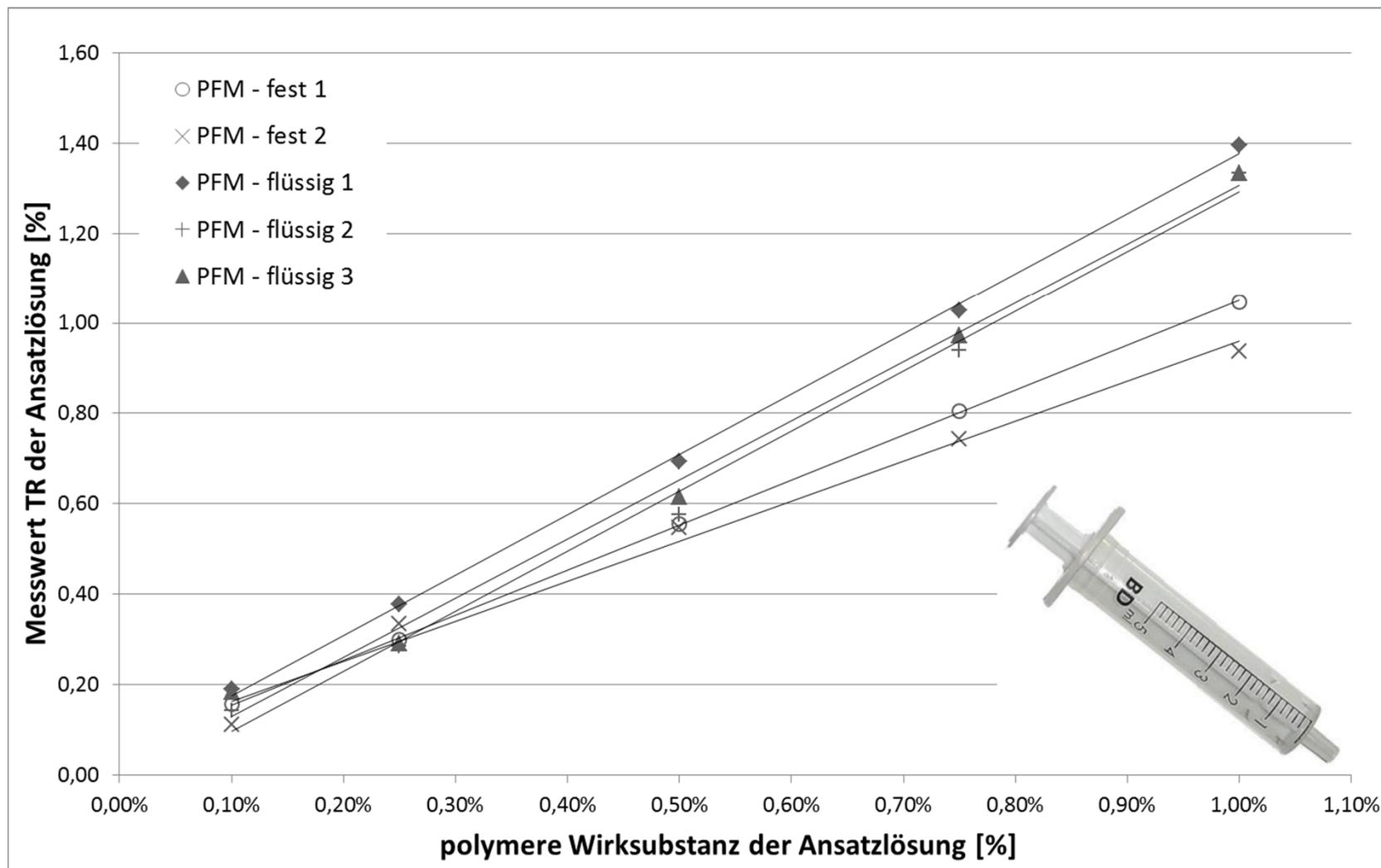
Es wird folgender Umgang mit der angesetzten Polymerlösung empfohlen:

- Vor dem Abschalten sollten die Ansatz und Dosierbehälter leer gefahren werden
- Aufbrauchen der Polymerlösung möglichst **innerhalb von 4 Stunden**.
- Eine Kontrolle der Aufbereitung ist erforderlich





Kontrolle der Aufbereitung Ansatzkonzentration





Entwässerungsmaschinen

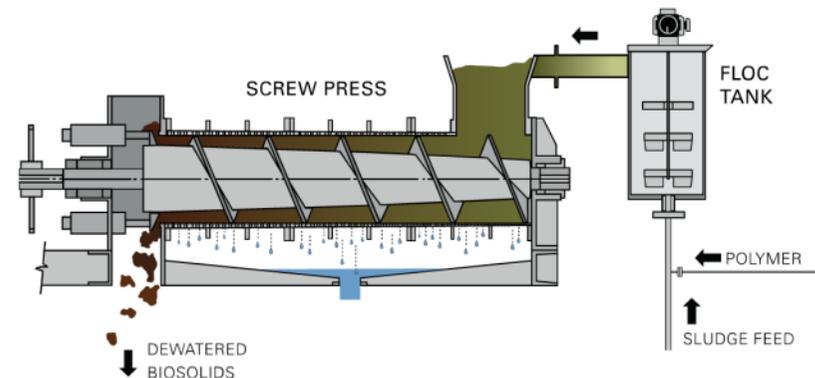
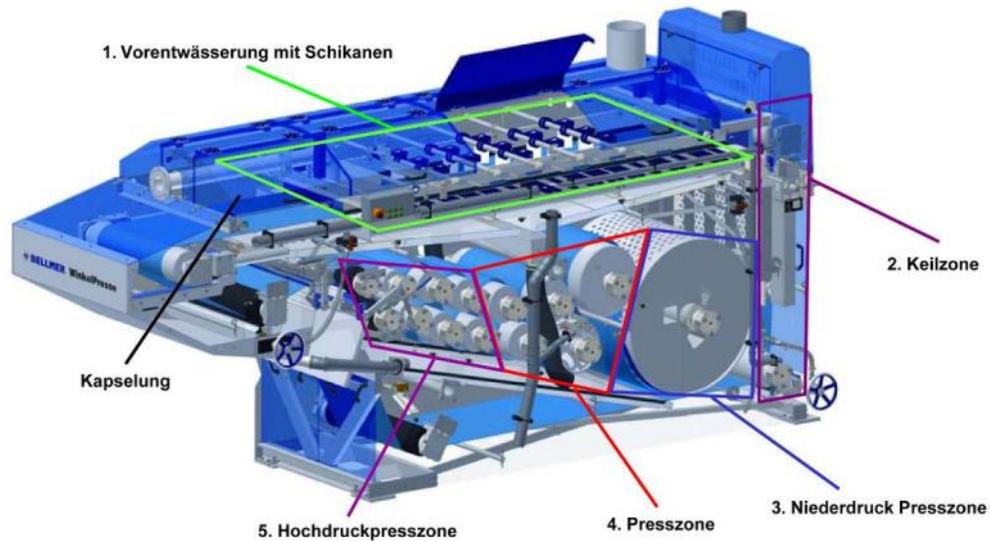
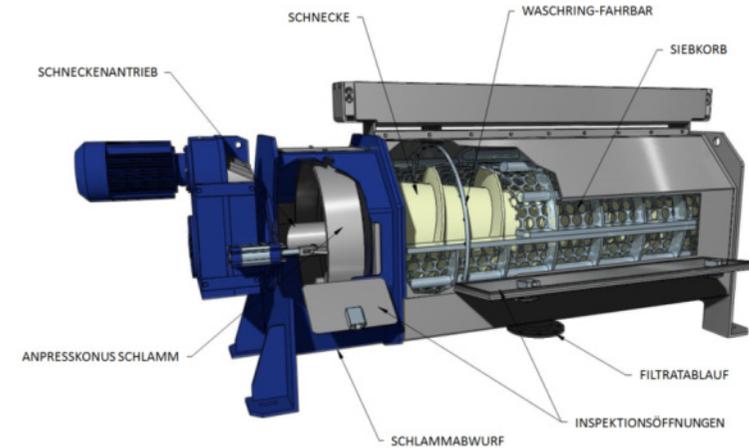
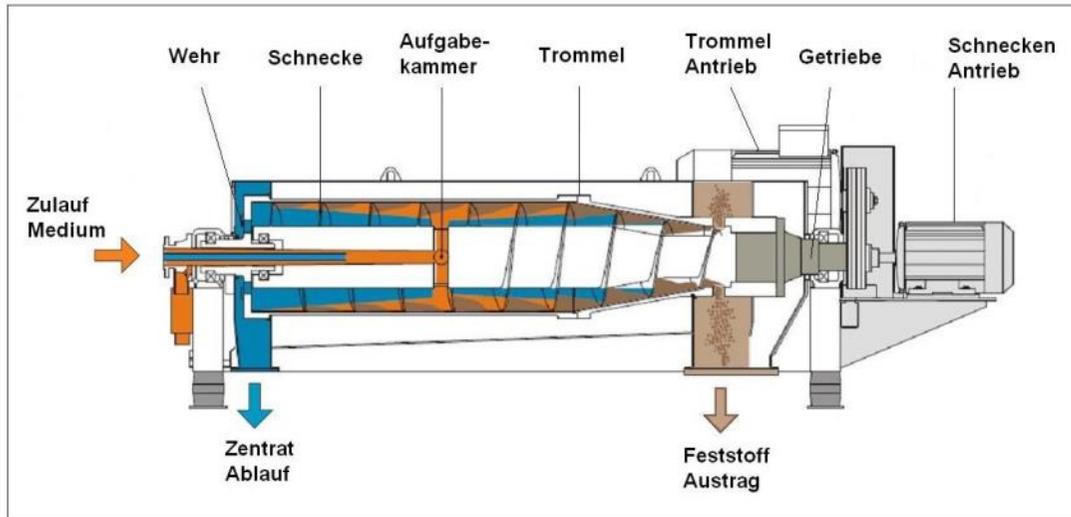


Tabelle 4: Darstellung der Leistungsindikatoren der Klärschlammmentwässerung

Input	Prozessschritt	Output	Kennzahl und Dimension	Zielwert für den „Stand der Technik“
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">→</div> Faulschlamm	Beschickung des Aggregates	TR-Fracht	[kgTR/h]	kontinuierliche Frachtbeschickung
	Polymer Aufbereitung	Stammlösung	Reifezeit [min] Lösungviskosität	45 min nach Befüllen Verbrauch binnen 1-4 h 2-Kammer-Batchanlage und Kontrolle der Lösungviskosität
	Schlammkonditionierung	Polymerprodukt Dosis	Labor- & Betriebsversuche [kgWS/TR]	Flockenstruktur scherstabil / druckstabil bei effizienter Dosierung
	Entwässerung	Energieverbrauch	[kWh/tTR]; [kWh/m ³]	0,6-2,2 [kWh/m ³] ** siehe Tabelle 3
	Entwässerung mit: Dekanter	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers; Erreichen TR(A)* AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich
	Entwässerung mit: Bandfilterpresse	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers; TR(A)* – 2 % TR AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich
	Entwässerung mit: Schneckenpresse	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers; TR(A)* – 2 % TR AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich
	Entwässerung mit: Schlauchfilterpresse	entw. Schlamm	[% TR]	Abtrennung des freien Wassers; TR(A) + 1 % TR*** AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich

* = oder anderer Prognosekennwerte (DWA M-383)

** = Energieverbrauch abhängig vom Aggregat siehe Tabelle 3

*** = aufgrund der hohen Scherkräfte bei der Entwässerung in der Schlauchfilterpresse ist der Bedarf an polymeren Flockungsmitteln erhöht



Betriebsergebnisse Dekanter (ARA #1)

Kennwerte Faulschlamm TR ~ 2,7 % / GV ~ 67%
- TR(A) = 21,3% mit 11,9 kgWS/tTR

Entwässerungsergebnis entspricht Stand der Technik:
TR(A) – 1,5% (Prognosegenauigkeit) ≥ 19,8% TR

Betriebsversuche:

- Beschickung: 48 m³/h = 1300 kg TR/h ~ 18,0% TR
- Beschickung: 35 m³/h = 950 kg TR/h ~ 19,9% TR

Maschinenauslastung:

100 % = 50 m³/h bis ~ 1500 kg TR/h (max Auslastung Dekanter)
88 % = 48 m³/h 1300 kg TR/h (Vertragswert-max mit KA)
67 % = 35 m³/h 1000 kg TR/h (Vertragswert-Betrieb mit KA)

Auslastung bei der Planung berücksichtigen!!

Versuche mit „gleich-großer“ Maschine durchführen!





Betriebsergebnisse BFP (ARA #2)

Kennwerte Faulschlamm

TR ~ 2,6% / GV ~ 67%

- TR(A) = 24,4% mit 12,5 kgWS/tTR ohne FeClSO₄
- TR(A) = 25,2% mit 9,5 kgWS/tTR 2,5 l/m³ FeClSO₄

Entwässerungsergebnis entspricht Stand der Technik bei:

TR(A) – 1,5% (Prognosegenauigkeit) - 2% (BFP/SP) ≥ 21,7% TR

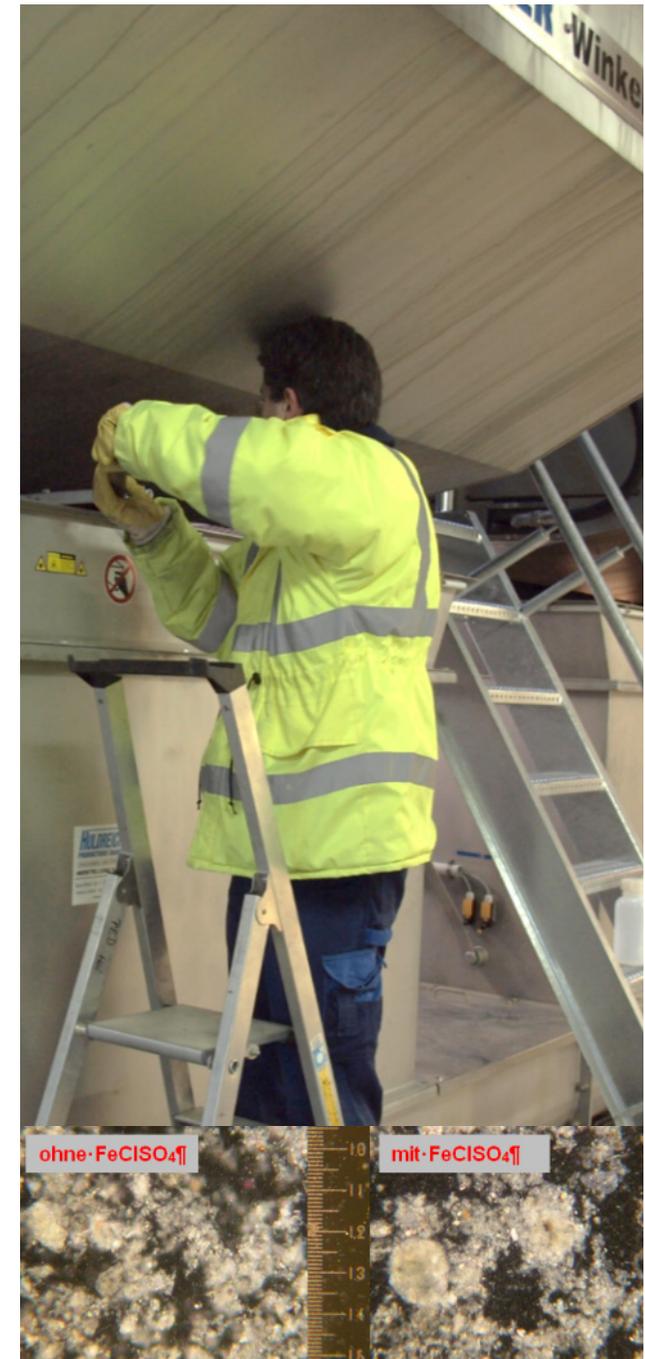
Betriebsversuche:

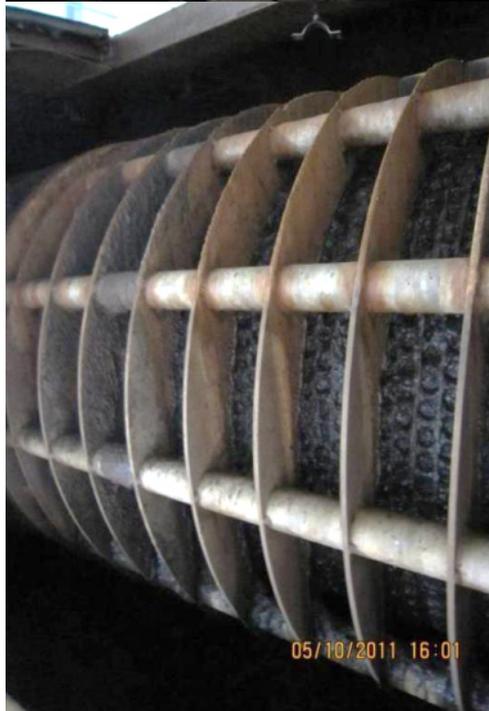
- Beschickung: 16 m³/h = 420 kg TR/h ~ 20,7 % TR
- Beschickung: 13 m³/h = 350 kg TR/h ~ 22,6 % TR

Maschinenauslastung:

- 100 % = 22 m³/h ~ 550 kg TR/h
- 85 % = 16 m³/h ~ 420 kg TR/h (Vertragswert mit KA)
- 70 % = 13 m³/h ~ 350 kg TR/h (optimaler Betrieb)

Auslastung Maschine bei der Planung zu berücksichtigen
und im Betrieb zu überprüfen!!





Betriebserfahrungen



ARA #3

Kennwerte Rücklaufschlamm

TR ~ 0,8% / GV ~ 59%

TR(A) = 22,0% mit 6,0 kgWS/tTR

$TR_{STD} = TR(A) - 1,5\%$ (Prognosegenauigkeit) - 2% (BFP/SP) $\geq 18,5\%$ TR

Betriebsversuche:

Beschickung: 7 m³/h = 56 kg TR/h ~ 18-20% TR mit 6-8 kg WS/TR
bei ~ 60% Auslastung

ARA #4

Kennwerte Faulschlamm

TR ~ 1,8% / GV ~ 63%

TR(A) = 24,8% mit 20,9 kgWS/tTR

$TR_{STD} = TR(A) - 1,5\%$ (Prognosegenauigkeit = 22,8%) - 2% (BFP/SP) $\geq 21,3\%$ TR

Betriebsversuche:

Beschickung: 5 m³/h = 83 kg TR/h ~ 22-23% TR mit ~20 kg WS/TR
bei ~ 36% Auslastung

Beschickung: 10 m³/h = 171 kg TR/h ~ 20-21% TR mit ~20 kg WS/TR
bei ~ 74% Auslastung



Ansätze zur Optimierung

- Die Entwässerbarkeit kommunaler Klärschlämme wird durch den ÜS-Anteil bestimmt
- Im ÜS ist die Stoffgruppe der Proteine / EPS maßgeblich
- Verfahren zur Optimierung greifen Proteine an:

Fällung:

- Vorfällung z.B. mit Eisensalzen
- MAP-Fällung = Entzug von Phosphat mit $MgCl_2$
dadurch reduzierte Wasserbindung

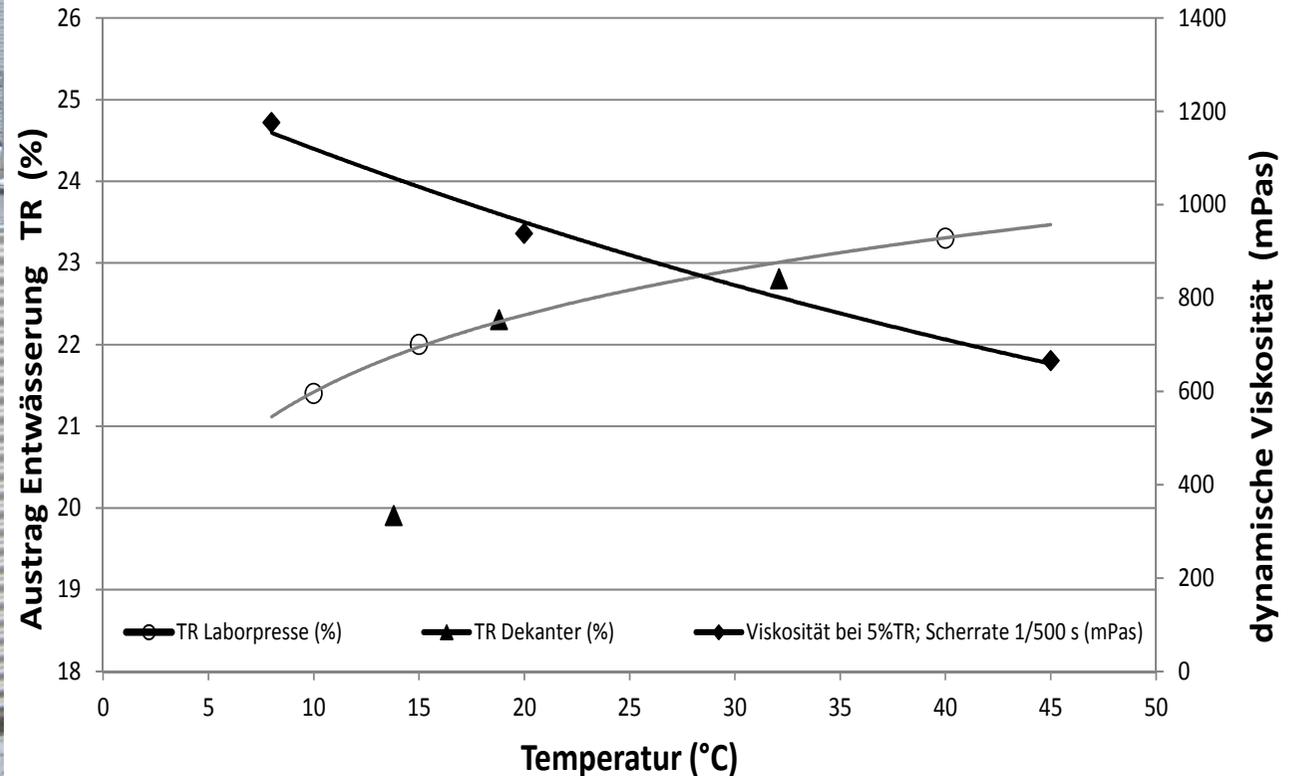
- Bei thermischer Behandlung verändert sich die Wasserbindung der Proteine:

- Erwärmung = Änderung der Viskosität
- therm. Hydrolyse = Denaturierung der Proteine
vor der Fäulung





großtechnische Entwässerungsversuche zur Temperaturführung - KA Salzgitter Nord

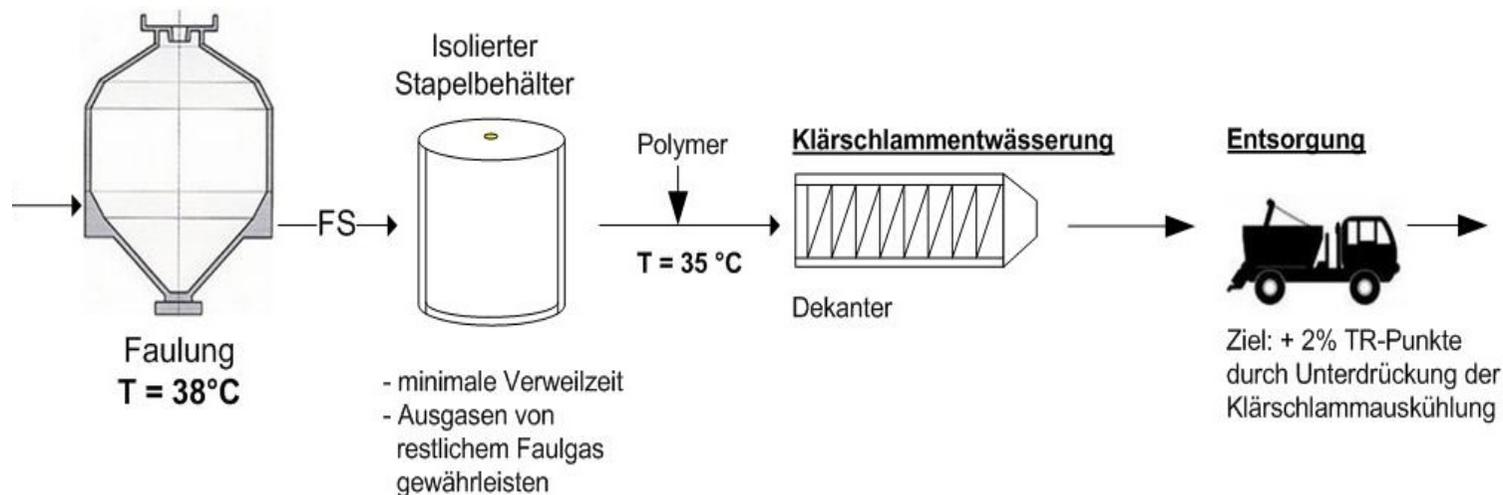


- Mit steigender Temperatur nimmt die Viskosität des Klärschlammes ab und die Wasserabgabegeschwindigkeit steigt
- Verbesserung der Entwässerung ~ 2 – 3 % TR-Punkte



Bewertung Temperaturführung

- 1) Messen der Schlammtemperatur vor der Entwässerung (1 x wöchentlich)
- 2) Im Faulschlamm noch enthaltenes Faulgas sollte ausgasen, stört die Entwässerung
- 3) Ein Auskühlung des Schlammes ist zu vermeiden, das Temperaturniveau der Faulung sollte weitgehend erhalten bleiben
- 4) Vorlage isolieren oder überschüssige Abwärme nutzen
- 5) Obere Temperaturgrenze ist durch die Wirksamkeit des Polymers bei ca. 60 °C erreicht



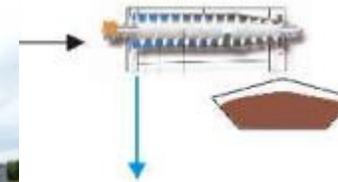
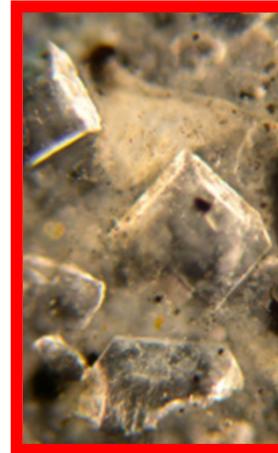
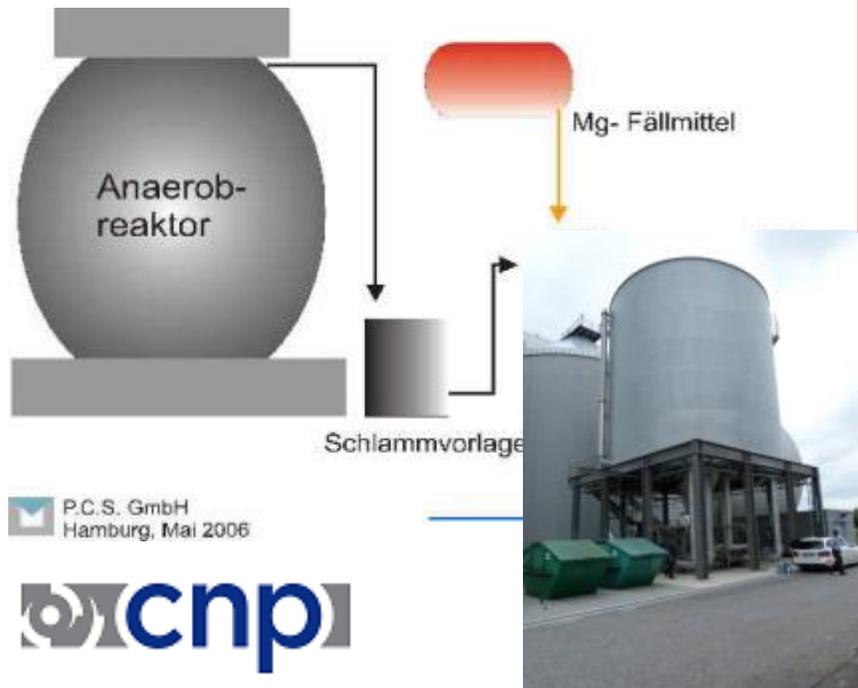
Fazit: Auskühlung vermeiden !!!



MAP-Fällung / Air-Prex



Verminderung von Phosphat durch gezieltes Ausfällen von MAP



Ø + 4-5%TR



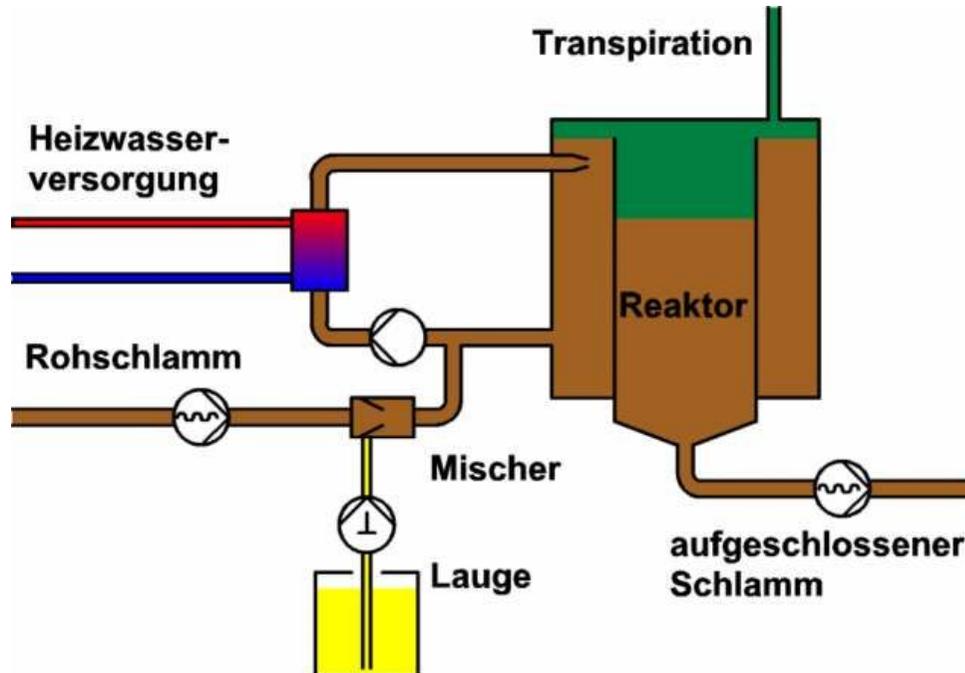
Nur bei biol. P und $\text{PO}_4\text{P} > 80\text{-}100$ mg/l Faulschlammwasser ist eine MAP-Fällung sinnvoll.



PONDUS-Verfahren

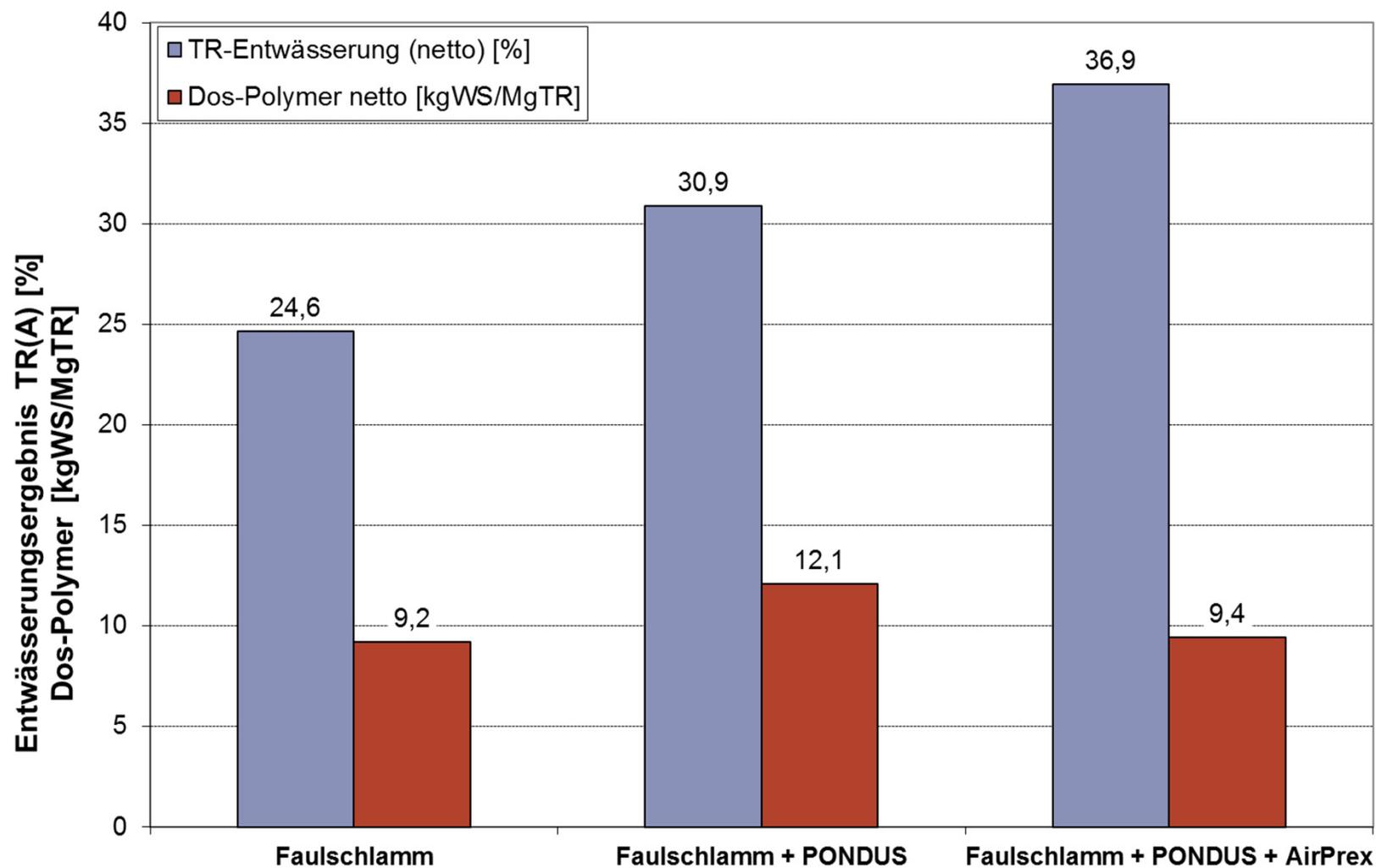
chemisch thermische Hydrolyse

- Behandlung des eingedickten ÜS vor der Faulung
- Zugabe von ca. 2 l NaOH (50 %) pro m³ ÜS
- Temperatur von 70°C, drucklos für 2 Stunden
- Einsatz auf der KA Gifhorn, KA Nordhorn





thermische Hydrolyse + MAP-Fällung

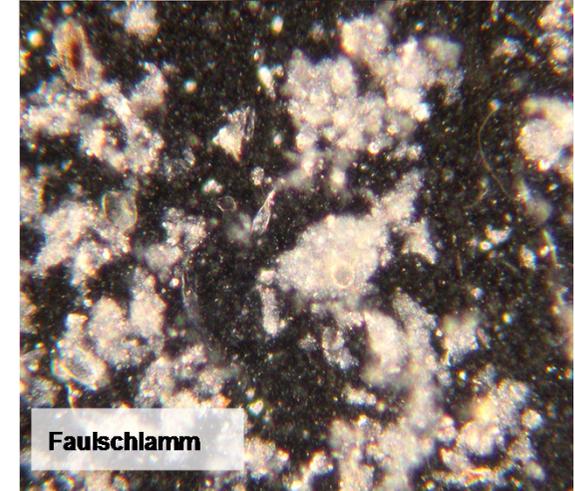
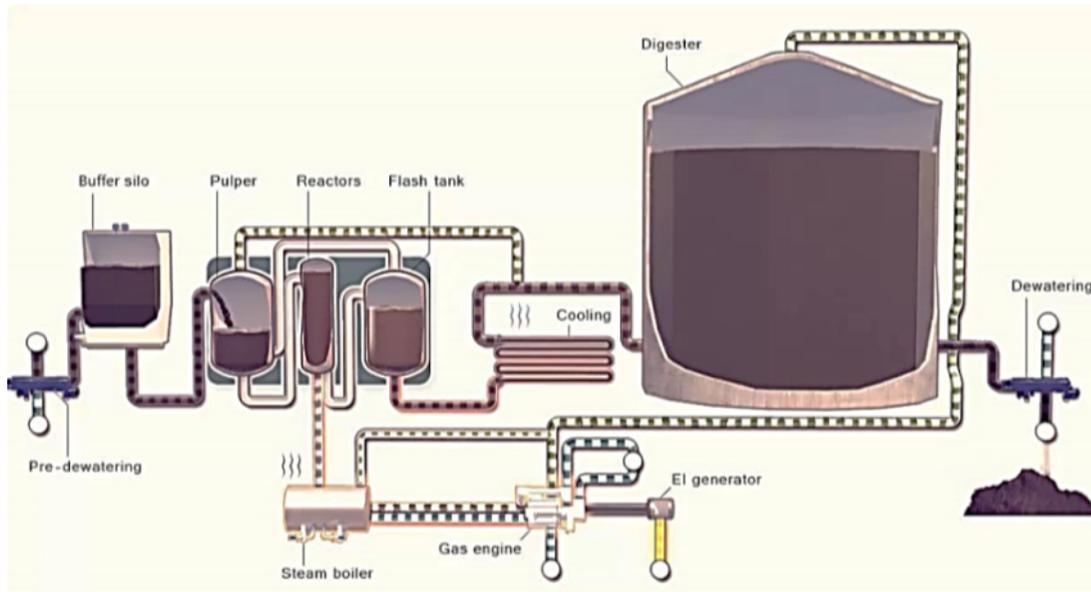


Versuch: SZ-Nord

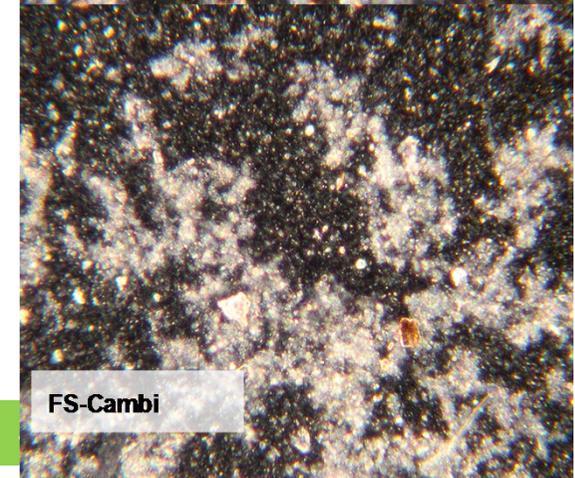


CAMBI-Verfahren

- Behandlung des eingedickten ÜS vor der Faulung - KA Geiselbullach
- Behandlung des ÜS+PS nach Vorentwässerung - WWTP Chertsey UK
viele großtechnische Referenzen seit 1995
- Behandlung des Schlammes mit Dampf
- Temperatur $>140^{\circ}\text{C}$, 8-10 bar für 30 min



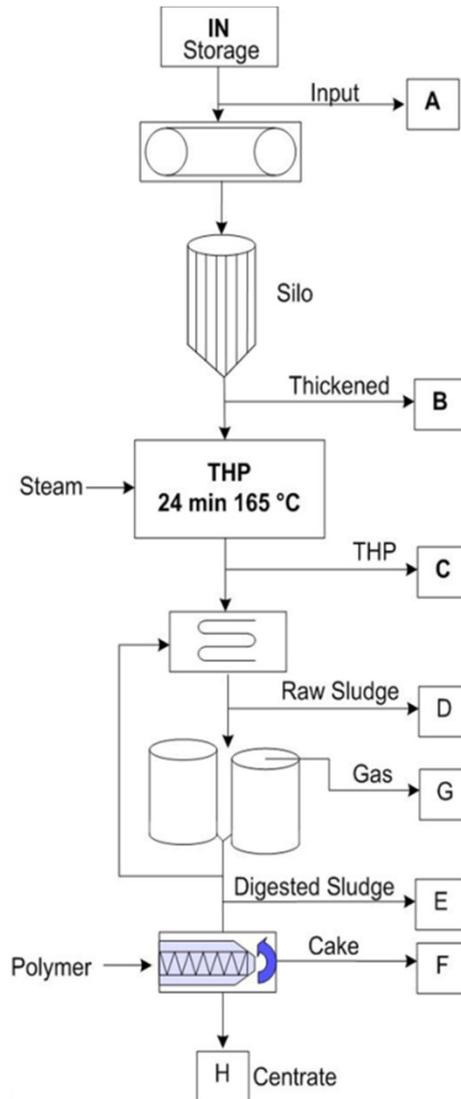
Faulschlamm



FS-Cambi



CAMBI



- ▶ RS (Input): A
 $Q = 659 \text{ m}^3/\text{d}$
 $TR = 3,53\% = 23 \text{ t TR/d}$
 $GV = 75,9\% = 18 \text{ t oTR/d}$

Vorentwässert B:
 $Q = 173 \text{ m}^3/\text{d}$
 $TR = 13,4\%$

- ▶ Cambi - Flashtank C:
 $Q = 199 \text{ m}^3/\text{d}$
 $TR = 11,6\%$

Aufschlussgrad:
 $A_{\text{CSB}} = 71\%$

- ▶ Faulschlamm E (Output):
 $Q = 279 \text{ m}^3/\text{d}$
 $TR = 4,6\% = 13 \text{ t TR/d}$
 $GV = 61,8\% = 8 \text{ t oTR/d}$

<u>Abbaugrad</u>	
TR	= 44 %
oTR	= 56 %
CSB	= 58 %
Faulzeit	= 12,3 d
Temp.	= 37°C

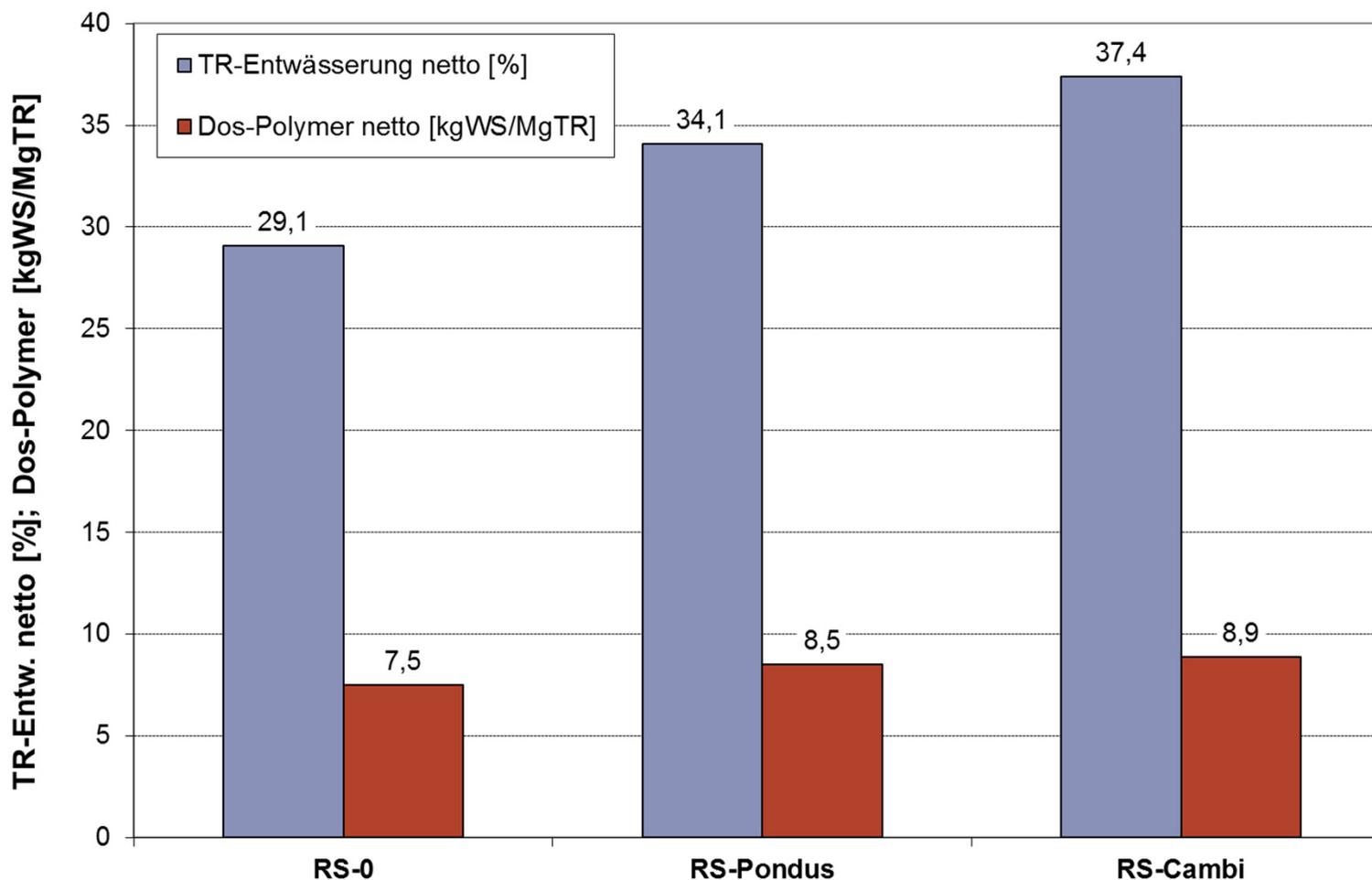
- ▶ Biogas G:
 $Q = 13.200 \text{ m}^3/\text{d} = 733 \text{ nm}^3/\text{t oTRzu}$
 $\text{CH}_4 = 60,9\%$

- ▶ Entwässerung F: 40%TR mit 15 kgWS/t TR

- ▶ Zentrat H: CSB = 1.925 mg/l



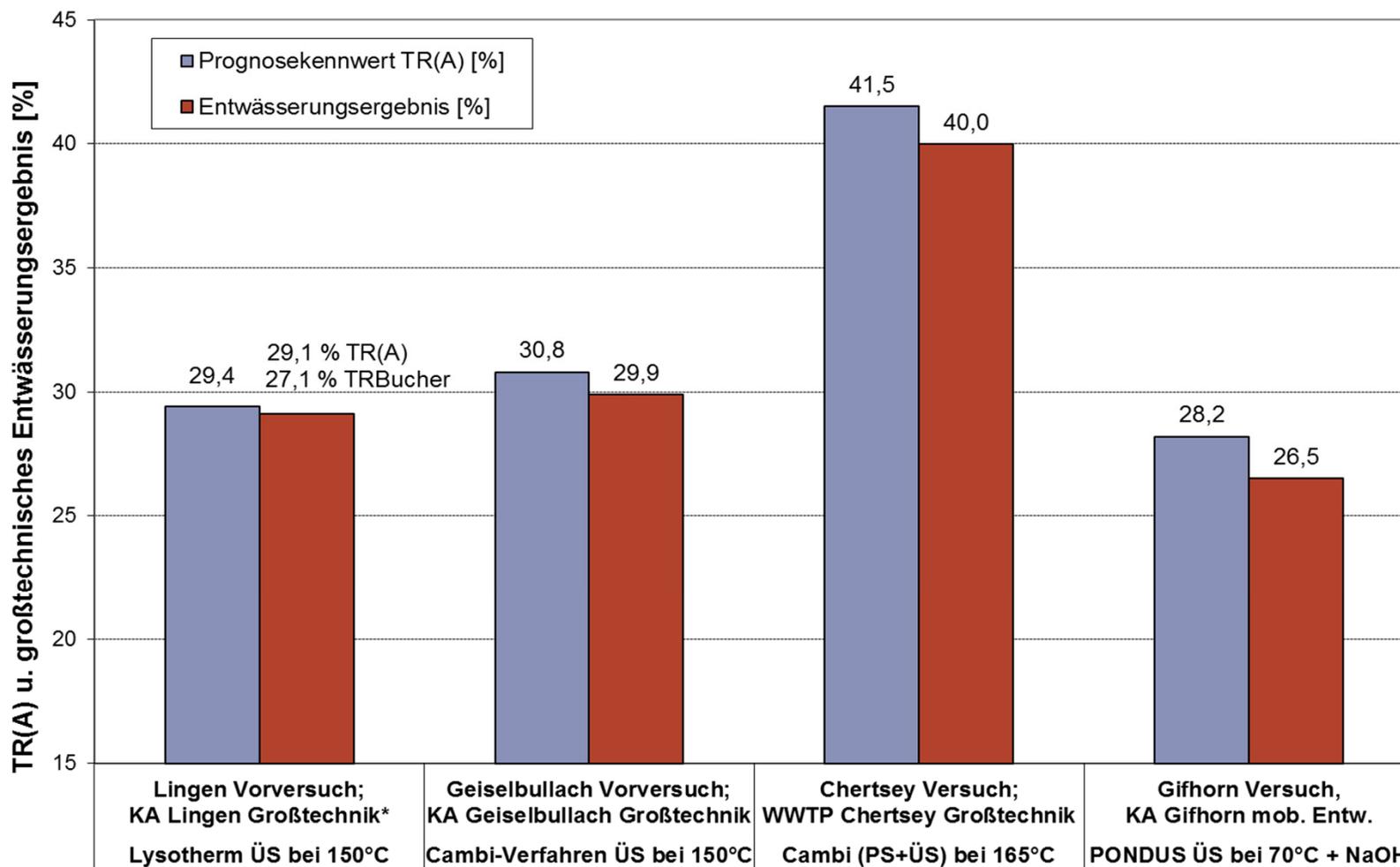
Vergleich der thermischen Hydrolyse



Versuch: Klagenfurt



Vergleich Vorversuch - Großtechnik





Leistungsscheck Schlammmentwässerung

- 1) „trockener“ Austrag
- 2) „wenig“ Polymer
- 3) „sauberes“ Zentrat / Filtrat
- 4) „stabiler“ Betrieb
- 5) Dokumentation !

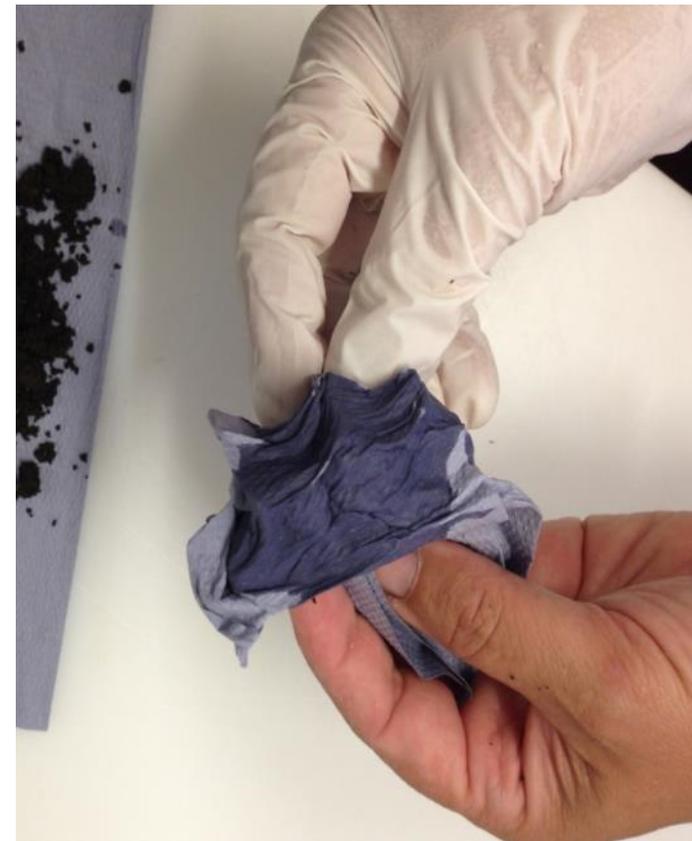




Schnelltest „trockener“ Austrag



„Handtuchtest“ – als schnelle Kontrolle

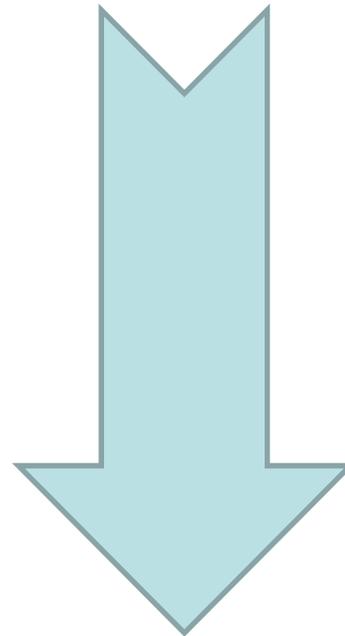




$Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$

Austrag: 25,3%TR

TR(A) = 25,7% TR



1. Lage

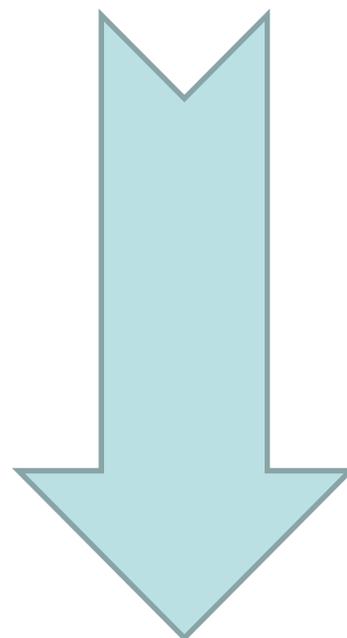
2. Lage



$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$

Austrag: 23,9%TR

TR(A) = 25,7% TR



1. Lage

2. Lage



Abscheidegrad

Abscheidegrad gibt den
Prozentsatz der separierten
Feststoffe an.

Schwarzbandfilter benutzen AG > 98%

$$AG = \frac{(TR_S - TR_Z) \cdot TR_K}{(TR_K - TR_Z) \cdot TR_S} \cdot 100 \%$$

AG	: Abscheidegrad	[%]
TR _K	: Trockenrückstand des Kuchens	[g/kg]
TR _S	: Trockenrückstand des Schlammzulaufes	[g/kg]
TR _Z	: Trockenrückstand des Zentrates	[g/kg]



***Der Abscheidegrad ist von
der Eignung / Scherstabilität
des Polymers abhängig.***



4) „stabiler“ Betrieb

- optimal TR-Sonde Zulauf
- frachtproportionale Beschickung der Maschine
- Betrieb bei ~ 70% von max. Leistung der Maschine
- **weniger Durchsatz fahren!**
- passendes Polymer





Dokumentation



Beispiel einer Checkliste zur Schlammmentwässerung

Kläranlage: _____

Datum/Monat: _____

Angaben zum Entwässerungsaggregat:
 Maschinentyp und Baujahr: _____
 pFM-Aufbereitung: Typ / Baujahr _____
 Ansatzwasser: Brauch-/Brunnen-/Trinkwasser _____

Angaben zur Schlammmart:
 US: _____ ISV [ml/g] _____
 FS: _____ Fällmittelmenge [l/d] _____
 _____ PS-Fracht [Mg TM/d] _____
 _____ Art ext. Schlämme (Fett/Lebensmittel, etc.) _____

Angaben zum Schlammmalter (gesamt / aerob):

 eingestegtes Fällmittel: _____

Angaben zum Schlammmalter (gesamt / aerob):
 US: _____
 FS: _____

 externe-Schlämme [g TM/d]: _____

Angaben zum Schlamm				Angaben zum Flockungsmittel: Produktname, Firma			
Datum/ Uhrzeit: [Datum]	Schlammart [USS/FS]	Temperatur [°C]	pH-Wert [-]	el. Leitfähigkeit [mS/cm]	Rückstellprobe [Datum]	Pulver o. Emulsion [-]	Konzentration Handelsware: [%WS]

Leistungsdaten:			Zulauf			Austrag		
Menge [m³/d]	TR / GV [%]	Temperatur [°C]	Fracht [kg TM/h]	Leitfähigkeit [mS/cm]	Temperatur [°C]	TR [%]	Filtrat/ Zentrat Menge [m³/d]	Filtrat/ Zentrat TS [gTS/L]

Rückbelastung			Maschineneinstellungen: (z.B. Zentrifuge)		
Abfiltr. Stoffe [mg/l]	CSB* [mg/l]	PO4-P* [mg/l]	Trommel-drehzahl [1/min]	Differenz-drehzahl [1/min]	Drehmoment Druck Schnecke [% / bar]

Anmerkungen: (Betriebsversuche / Störungen / Beobachtungen/...)

M-383 (2018)



Zusammenfassung

Quelle: AWEL Zürich 2013 "Stand der Technik → für die mechanische Entwässerung von Klärschlamm"

- Bei der maschinellen Entwässerung kann nur der freie Wasseranteil abgetrennt werden. Prognose / Kontrolle → Kennwert TR(A)
- Maßgebend sind der ÜS-Anteil und Bio-P für das Entwässerungsergebnis
- **Handtuchtest zur „schnellen“ Kontrolle TR-Austrag nutzen!**
- **Als Optimierung Verminderung des Durchsatzes probieren**
- Faulschlamm sollte vor der Entwässerung möglichst nicht auskühlen.
- Die richtige Produktauswahl (scherstable Flocken) und sachgerechte pFM-Aufbereitung sind entscheidend für optimale Ergebnisse bei der maschinellen Schlammentwässerung.
- **Ansatzkonzentration selbst kontrollieren – TR der pFM-Lösung messen!**
- Optimierungen der Schlammentwässerung kann verbessert werden durch:
 - Verhindern der Auskühlung ~ + 2% TR-Punkte
 - MAP-Fällung ~ + 3-4% TR-Punkte für BioP-Anlagen
 - PONDUS(ÜS) / CAMBI (RS) ~ + 5% TR-Punkte / ~+10% TR
- Bei Anwendung einer thermischen Hydrolyse erhöht sich nicht nur die Entwässerbarkeit, sondern auch die Gasproduktion, der Abbaugrad aber auch die Rückbelastung! (Einzelfallbetrachtung)
- **Betriebsdokumentation ist lästig.... aber notwendig für die Betriebsoptimierung!!**

Entwässerung mit: Dekanter	Abtrennung des freien Wassers; Erreichen TR(A)* AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich
Entwässerung mit: Bandfilterpresse	Abtrennung des freien Wassers; TR(A)* – 2 % TR AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich
Entwässerung mit: Schneckenpresse	Abtrennung des freien Wassers; TR(A)* – 2 % TR AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich
Entwässerung mit: Schlauchfilter- presse	Abtrennung des freien Wassers; TR(A) + 1 % TR*** AG > 95 % für stabilen Betrieb erforderlich



Rückfragen:



Kläranlagen Beratung Kopp

Hintere Str. 10
D-38268 Lengede

Tel: +49 5174 922 043
Fax: +49 5174 922 045
Mobil: +49 171 496 4066

E-Mail: info@kbkopp.de

 www.kbkopp.de