

# Schlammanalytik

Karl Svardal

## Woher kommt der Schlamm?

- Feststoffe im Zulauf, die nicht abgebaut werden
  - Mineralische Stoffe
  - Org. Stoffe (z.B. Zellstoff, Haare,..)
- Biomasse aus Abbau von CSB und Nitrifikanten
- Nicht abbaubare Reste von abgestorbenen Bakterien.
  - Sterben Bakterien ab, bleiben ca. 10% über (z.B. Zellwandbestandteile)
- Mineralische Stoffe die bei der Reinigung entstehen
  - (Phosphat-Fällung)

## Probenahme von Schlämmen

- **Schlämme werden immer als Stichprobe entnommen**
- **Probenahme aus durchmischten Becken/Behälter:**
  - beachten ob eine **vollständige Durchmischung** wirklich gegeben ist.  
Schichtung des Schlammes bei horizontaler Strömung möglich (Umlaufbecken)  
„tote Ecken“ in Rechteckbecken
  - bei belüfteten Becken immer Schlamm aus dem belüfteten Bereich entnehmen.

Zur Überprüfung der Probenahmestellen:

2 oder mehr Proben an unterschiedlichen Stellen unmittelbar hintereinander nehmen und TS messen

## Probenahme von Schlämmen

- Probenahme aus ständig durchflossenen Leitungen/Gerinnen (RS, FS) :

### Rücklaufschlamm (RS)

- **TS-Konzentration im RS schwankt immer!**

Aufgrund der hydraulischen Schwankung im Zulauf variiert die TS-Fracht zu den NKB

→ unterschiedliche Eindickzeit → unterschiedliche TS auch bei konstantem RV (geregelt)

- Probenahme immer zur gleichen Tageszeit
- nicht während stark ansteigendem (fallendem) Durchfluss

!! Fehler bei der Berechnung der ÜS-Fracht  $Q_{\text{ÜS}} \cdot TS_{\text{ÜS}}$

- Fehler bei der Berechnung des Schlammalters

## Probenahme von Schlämmen

- Probenahme aus ständig durchflossenen Leitungen/Gerinnen (RS, FS) :

### Faulschlamm (FS)

- Probenahme aus der Umwälzleitung

Bei kontinuierlicher Umwälzung problemlos

#### zu beachten:

- Spülen von Probenahme-Leitung und -Hahn  
einige Liter Schlamm ablassen und verwerfen, unmittelbar danach Probe nehmen
- Probenahme immer vor der Einmischung von Rohschlamm  
oder sicherstellen, dass gerade kein anderer Schlamm eingemischt wird.

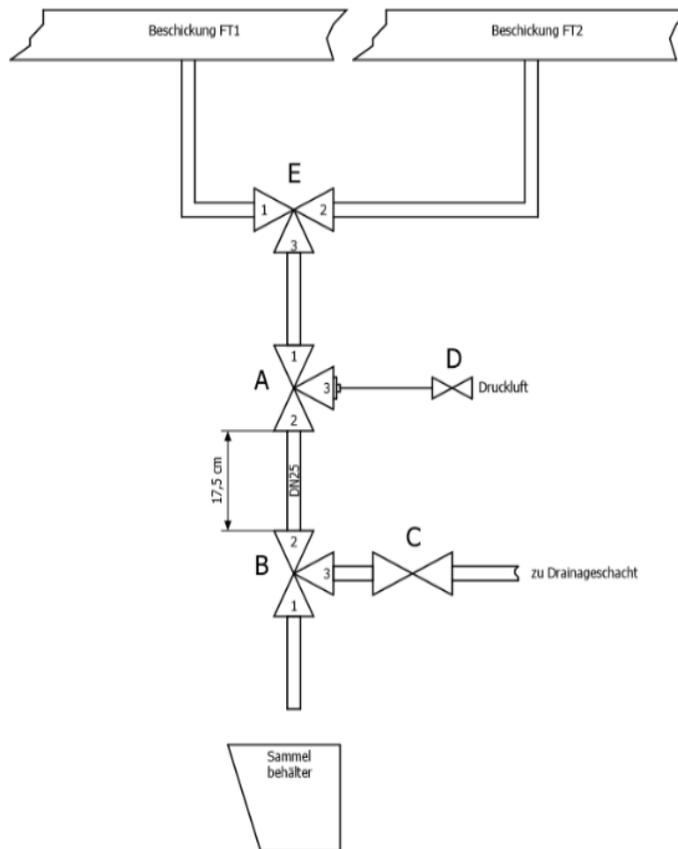
## Probenahme von Schlämmen

- Probenahme aus nicht ständig durchflossenen Leitungen/Gerinnen (v.a. Leitungen aus Eindickern):

### Primärschlamm (PS) und Schlamm aus Eindickern

- Schlammabzug oft getaktet (xx min/h)  
Feststoffkonzentration und -zusammensetzung ändert sich sehr stark während eines Pumpzyklus  
(Schichtung im Eindicker, Wasserdurchbruch)  
Änderung meist zu Beginn am stärksten
- mehrere Stichproben (etwa gleiches Volumen) während eines Pumpzyklus entnehmen (verteilt über die gesamte Pumpzeit) und zu einer Probe vereinigen.

# Probenahme von Schlämmen



## 1. keine Probenahme:

- > Ventil C = zu
- > Ventil B = 2/1
- > Ventil A = 3/2
- > Ventil D = zu

## 2. Vorwahl Entnahmestelle

- > Ventil E = 1/3 = Entnahme Beschickung FT1
- > Ventil E = 2/3 = Entnahme Beschickung FT2

## 3. Durchströmung Probe:

- > Ventil C = auf
- > Ventil B = 2/3
- > Ventil A = 1/2
- > Ventil D = zu

## 4. Probenahme:

- > Ventil C = zu
- > Ventil B = 2/3
- > Ventil A = 3/2
- > Ventil D = zu

## 5. Entleerung Probe

- > Ventil C = zu
- > Ventil B = 2/1
- > Ventil A = 3/2
- > Ventil D = auf

## Probenahme von Schlämmen

- **Probenahme aus Eindick- und Entwässerungsaggregaten:**
  - bei kontinuierlich laufenden Maschinen meist problemlos (MÜSE, Zentrifugen, Siebband- und Schneckenpressen)
    - solange die Beschickung und die Flockungsmitteldosierung gleichmäßig sind
      - zur Überprüfung: mehrere Stichproben verteilt über mehrere Stunden
    - entweder von jeder Probe TS bestimmen (Erkennen von Schwankungen)
    - oder zu einer Mischprobe vereinen und gut mischen

## Probenahme von Schlämmen

- **Probenahme aus Eindick- und Entwässerungsaggregaten:**
  - bei diskontinuierlich laufenden Maschinen  
(Kammerfilterpresse, Bucherpresse....)
    - TS jeder Charge kann unterschiedlich sein
    - TS im Filterkuchen unterschiedlich, abhängig vom Abstand zum Seihtuch
  - jede Charge beproben
  - mehrere Stichproben von verschiedenen Stellen des Filterkuchens nehmen und vereinen und dann gut mischen

# Analysen von Schlämmen

## Standardmessungen:

- **Schlammrockensubstanz (TS)**
- **Glührückstand (GR)**  
daraus wird der Glühverlust (GV) = „org. TS“ berechnet  
Angabe als Gehalt (g/L) oder als Anteil von der TS (%)
- **SV** (bei Belebtschlamm)  
daraus wird der Schlammindex ( $I_{SV}$ ) berechnet  
zur Beurteilung des Absetzverhaltens

## zusätzliche Messungen:

- **CSB**
- **N**
- **P**

# Schlamm Trockensubstanz (TS)

im Belebungsbecken ( $TS_{BB}$ ) bzw. im Rücklaufschlamm ( $TS_{RS}$ )

- Zur Bestimmung der Schlamm Trockensubstanz im Belebungsbecken muss der Schlamm filtriert, getrocknet und gewogen werden.  
 Serienbestimmung
  - mit **Rundfiltern:**
    - Rundfilter
    - 1 Filternutsche (Büchner-Trichter)
    - 1 Saugflasche (Vakuumabsaugflasche)
    - 1 Vakuumpumpe (Wasserstrahlpumpe)
  - mit **Faltenfiltern:**
    - Faltenfilter (aschefrei,  $\varnothing$  18,5 cm)
    - 1 Trichter (Durchmesser 10 cm)
  - weiters (für beide):
    - 1 Messzylinder 100 mL
    - 1 Trockenschrank (105 °C)
    - 1 Waage (Genauigkeit 0,01 g)
    - 1 Exsikkator

## Schlamm Trockensubstanz (TS)

### Durchführung:

- Filter fortlaufend nummerieren und 2 Stunden bei 105 °C im Trockenschrank trocknen
- danach im Exsikkator 30 Minuten abkühlen und rasch wiegen
- das so ermittelte **Filtertrockengewicht** ins Filterbuch **eintragen**.
- **100 mL Schlamm filtrieren** (auf etwaige Feststoffe im Messzylinder achten).
- Schlamm **mehrere Stunden** (bis zur Gewichtskonstanz) im Trockenschrank bei 105 °C **trocknen**.
- Nach **Abkühlen** im Exsikkator wird der Filter mit dem Schlamm gewogen.

## Schlamm Trockensubstanz (TS)

### Durchführung:

- Da für die Messung 100 mL (= 1/10 L) Schlamm verwendet werden, wird die Differenz zwischen Filtergewicht mit Schlamm und dem Filtergewicht mit dem **Faktor 10** multipliziert.

### Beispiel:

Trockengewicht des Filters alleine (ohne Schlamm) ...	1,62 g
Trockengewicht des Filters mit Schlamm .....	1,91 g
Gewicht des getrockneten Schlammes allein	
(Differenz Filter mit Schlamm - Filter leer).....	0,29 g/100 mL
Schlamm Trockensubstanz	<b>0,29 x 10 = 2,9 g/L</b>

Das **Ergebnis** der Trockensubstanzbestimmung wird in **g/L**

## Schlamm Trockensubstanz (TS)

- Bestimmung mittels Feuchtigkeits-bestimmungsgerät (Trocknungswaage)

Diese Geräte vereinen Funktionen von Trockenschrank (105°C), Exsikkator und Analysen-waage, daher werden sie im Kläranlagenlabor sehr häufig für alle Feststoffbestimmungen (Belebtschlamm, eingedickter Schlamm, entwässerter Schlamm) verwendet.

- zu beachten ist, nicht die **Trockensubstanz** in g/L sondern der **Eindampfrückstand** in g/kg oder % wird gemessen

Darin sind gelöste Salze auch enthalten !

bei kommunalem Abwasser sind im Belebtschlamm ungefähr 0,4 g/L Salze enthalten

→ca. 10% Mehrbefund

## Schlammvolumen (SV)

- Das Schlammvolumen ist das Volumen, das **1 L Belebtschlamm** nach einer Absetzzeit von 30 Minuten einnimmt und ein **Maß für die Schlammmenge** bei den gegebenen Eindickeigenschaften
- Da die Leistungsfähigkeit des Nachklärbeckens stark vom Schlammvolumen abhängt, bestimmt dieses die Schlammkonzentration, mit der das Belebungsbecken betrieben werden kann.
- Auf vielen Kläranlagen wird daher der Überschussschlammabzug nach dem Schlammvolumen geregelt.

Typischerweise liegt das Schlammvolumen bei 300 mL/L – 600mL/L.

## Schlammvolumen (SV)

- Die Messung erfolgt in einem 1000 mL Messzylinder.
- Ablesung nach einer **Standzeit** von **30 Minuten**.
- Bei einem Schlammvolumen  $> 250$  mL/L muss die Bestimmung mit verdünntem Schlamm wiederholt werden.
- Die Verdünnung ist so zu wählen, dass der Messwert in der verdünnten Probe zwischen 200 und 250 mL/L liegt.

Für das SV zur Verdünnung nur (klaren) Kläranlagenablauf verwenden  
gleiche Temp. , gleicher Salzgehalt

Das **Ergebnis**: (Ablesewert x Verdünnungsfaktor) in **mL/L**

## Schlamm(volumen)index ( $I_{SV}$ )

- Der Schlammindex gibt das Volumen an, das 1 g Trockensubstanz nach einer Absetzzeit von 30 Minuten einnimmt und ist ein Maß für die **Eindickfähigkeit** des Schlammes.
- Der Schlammindex (mL/g) wird berechnet, indem das Schlammvolumen (mL/L) durch die Schlamm Trockensubstanz (g/L) geteilt wird.

$$I_{SV} \text{ (mL/g)} = \frac{\text{Schlammvolumen (mL/L)}}{\text{Schlamm Trockensubstanz (g/L)}}$$

**Wichtig:** Schlammvolumen und Schlamm Trockensubstanz werden von der **selben Probe** bestimmt

# Schlamm Trockensubstanz (TS)

## von Roh- und Faulschlamm

- Diese Schlämme lassen sich nicht filtrieren
- Da sie häufig Gasblasen enthalten, muss die Ausgangsprobe für die TS-Messung eingewogen werden!
- die Bestimmung erfolgt in **Schalen** aus Porzellan oder Aluminium.
  - Die Schalen werden bezeichnet, getrocknet und gewogen.
  - 30-40 g Schlamm werden in die Schale gegeben und sofort gewogen (Schale + Schlamm nass).
  - Anschließend wird die Schale mit Schlamm mindestens 12 Stunden im Trockenschrank (105 °C) getrocknet.

Wegen der größeren Schlammmenge dauert die Trocknung länger als bei Belebtschlamm.
  - Nach dem Abkühlen im Exsikkator wird ausgewogen (Bruttotrockengewicht Schale + Schlamm)

Zur Sicherheit hin und wieder auf Gewichtskonstanz prüfen (nochmals für 2 h in den Trockenschrank und danach wiegen)

# Schlamm Trockensubstanz (TS)

## von Roh- und Faulschlamm

Die Trockensubstanz des Roh- oder Faulschlammes wird in Prozent angegeben und errechnet sich nach der Formel:

$$TS (\%) = \frac{\text{Masse(Schale + Schlamm trocken)} - \text{Masse(Schale leer)}}{\text{Masse(Schale + Schlamm nass)} - \text{Masse(Schale leer)}} \times 100$$

- Bei wenigen Proben bring eine **Trocknungswaage** eine deutliche Arbeitserleichterung.

Die Proben müssen allerdings hintereinander bestimmt werden

## Glührückstand (GR) und Glühverlust (GV, oTS)

- Der **Glührückstand** (= Aschegehalt) eines Schlammes ist ein Maß für den Gehalt an **anorganischen Stoffen**.
- Der **Glühverlust** ist das Maß für die **organischen Bestandteile** des Schlammes.
- Je mehr mineralische Stoffe im Zulauf enthalten sind, desto niedriger ist der Glühverlust (Mischwasser). Der Glühverlust ist in stabilisiertem Schlamm ist geringer als in Rohschlamm.
- Übliche Werte für den Glühverlust von kommunalen Schlämmen liegen zwischen 50 und 70 %.

## Glührückstand (GR) und Glühverlust (GV, oTS)

### Durchführung:

- Porzellantiegel werden nummeriert, ausgeglüht, gewogen und die Werte notiert.
- Getrockneter Schlamm wird in einem Porzellantiegel bei ca. 550 °C mindestens 2 Stunden im Tiegelofen geglüht.  
(Vom Belebtschlamm wird zunächst die Trockensubstanz bestimmt und anschließend diese Probe verglüht.)
- Nach dem Abkühlen im Exsikkator wird der Tiegel mit Asche gewogen.
- Beim **Roh- oder Faulschlamm** kann der Schlamm nach Bestimmung der Trockensubstanz in der Porzellanschale direkt verglüht werden.

## Glührückstand (GR) und Glühverlust (GV, oTS)

- Der Glührückstand (GR) wird in Prozent der Trockensubstanz errechnet.

$$GR[\%] = \frac{(\text{Masse Tiegel mit Asche [g]} - (\text{Masse Tiegel [g]}))}{(\text{Masse Tiegel mit trockenem Schlamm [g]} - (\text{Masse Tiegel [g]}))} * 100$$

- Glühverlust (GV): Die Summe **GV+GR=100%**.  
Es gilt daher:

$$GV (\%) = 100 - \text{Glührückstand} (\%)$$

Das **Ergebnis** wird in % Glühverlust (bzw. organischer Trockensubstanz) oder % Glührückstand bezogen auf die Trockensubstanz errechnet.

## zusätzliche Messungen in Schlämmen

- CSB
- Gesamtstickstoff
- Gesamtphosphor
- wozu?
  - alle 3 sind für die Bilanzierung notwendig
  - zur weitergehenden Charakterisierung der Schlammzusammensetzung

	CSB/oTS [g/g]
Kohlenhydrate (Zellulose)	1,1
Proteine	1,4 -1,5
Fette	2,5

- N, P zum Nachweis ausreichender Versorgung (Industrieabwasser)

## zusätzliche Messungen in Schlämmen

- für die Messung von CSB, TN und TP müssen die Schlämme verdünnt werden  
(etwa auf die Konzentration von Abwasser)
  - für die Verdünnung kann näherungsweise angenommen werden, dass
    - 1g TS           ca. 1g CSB entspricht,  
                  50 – 80 mg N enthält  
                  ca. 20 mg P enthält
  - Belebtschlamm mit einer TS von ca. 3 g/L muss 1:10 verdünnt werden
  - Faulschlamm mit einer TS von ca. 3 % muss 1:100 verdünnt werden
    - die Verdünnung hat dann einen CSB von ca. 300 mg/L  
  TN  $\approx$  15 – 25 mg/L  
  TP  $\approx$  6 mg/L
  - kann analysiert werden wie Zulauf

## Verdünnen von Schlämmen

- maximale 10 fache Verdünnung in einem Schritt
- minimale Schlammmenge 10g bzw. 10 ml

bei Belebtschlamm:

- ca. 300 mL Schlamm homogenisieren
- unter Rühren (Magnetrührer) 25 mL in einen 250 mL Messkolben pipettieren
- auf 250 mL auffüllen, schütteln
- den gesamten Inhalt in ein Becherglas leeren
- nochmals homogenisieren
- die Probe für die Analyse (x mL) unter Rühren entnehmen
- Analyse nach Vorschrift durchführen
- Messergebnisse mit dem Verdünnungsfaktor (10) multiplizieren

## Verdünnen von Schlämmen

bei Faulschlamm:

- Faulschlamm muss eingewogen werden, will er meist Gasblasen enthält bzw beim Pipettieren welche entstehen (Unterdruck an der Pipettenspitze)
- ca. 25 mL des gut geschüttelten Faulschlamm werden genau eingewogen und in einen 250 mL Messkolben transferiert
- auf 250 mL auffüllen, schütteln
- den gesamten Inhalt in ein Becherglas leeren
- nochmals homogenisieren
- davon nochmals eine 10-fache Verdünnung (wie zuvor für Belebtschlamm beschrieben) herstellen
- die Probe für die Analyse (x mL) unter Rühren entnehmen
- Analyse nach Vorschrift durchführen
- Messergebnisse mit dem Verdünnungsfaktor multiplizieren

$$\text{Verdünnungsfaktor} = \frac{250}{\text{Faulschlamm-Einwaage}} \cdot 10$$

# Vorgangsweise

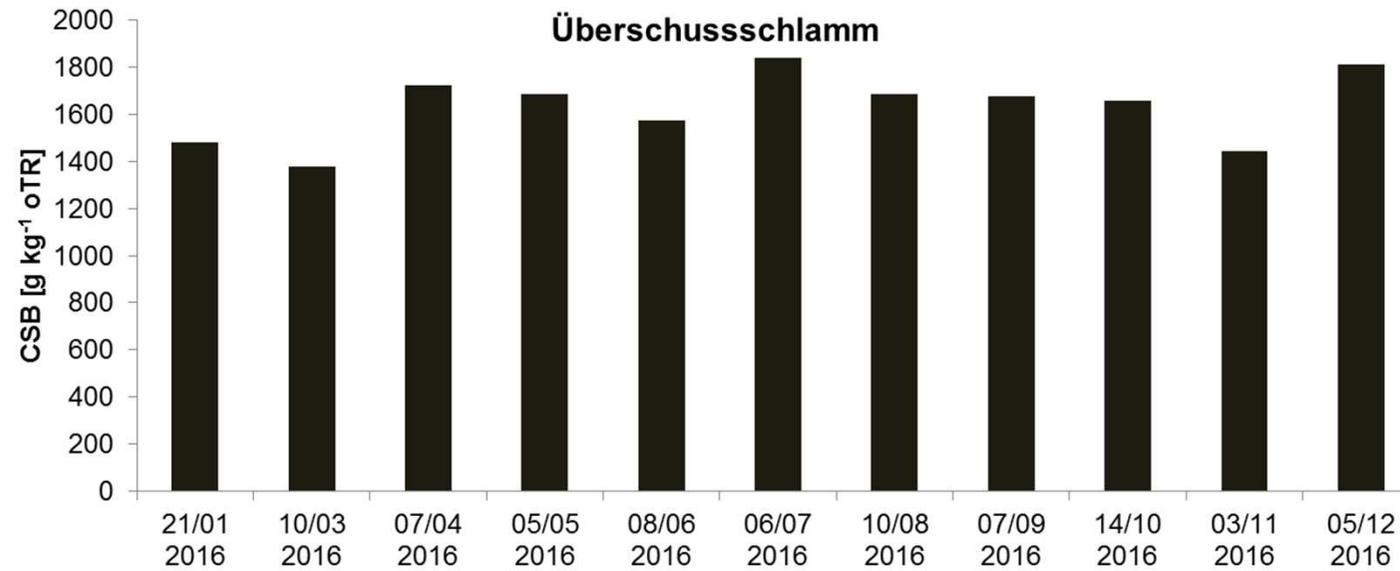
- Methode für die CSB-Bestimmung mittels Küvettentest wurde im Rahmen dieses Projektes entwickelt [Martin Kuprian]
- Einfache [FS, ÜSS] oder doppelte Verdünnung [PS, Molke, Scotta]

- TR
- oTR



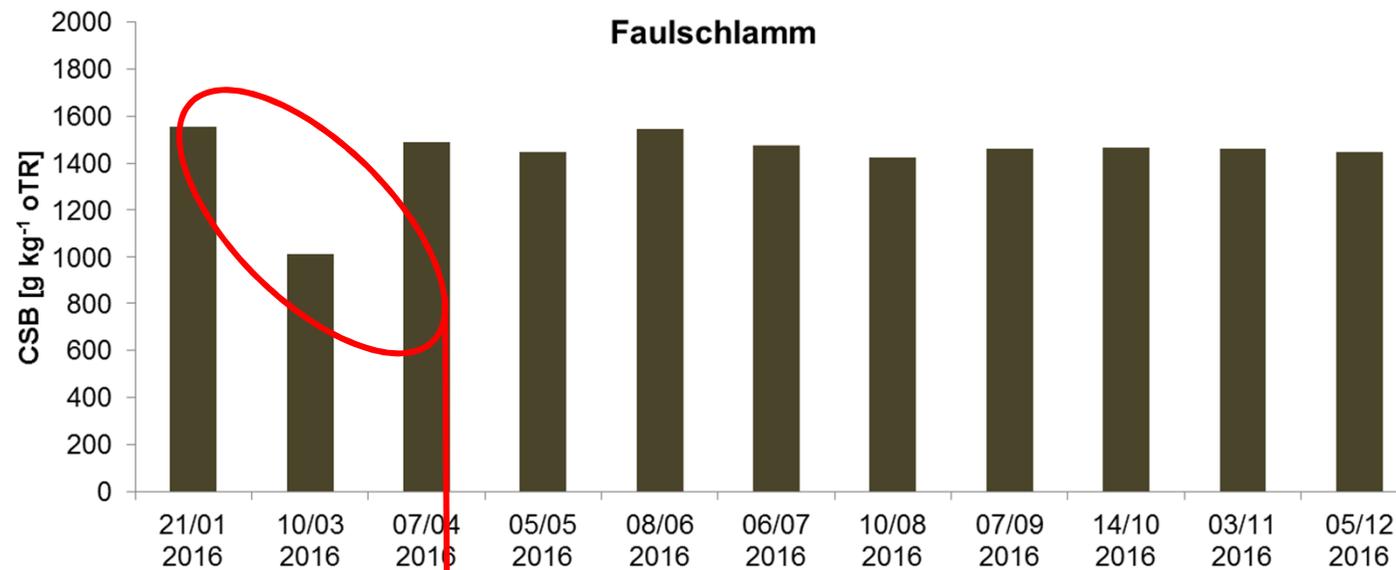
# Ergebnis

## Detail CSB Überschussschlamm



# Ergebnis

## Detail CSB Faulschlamm

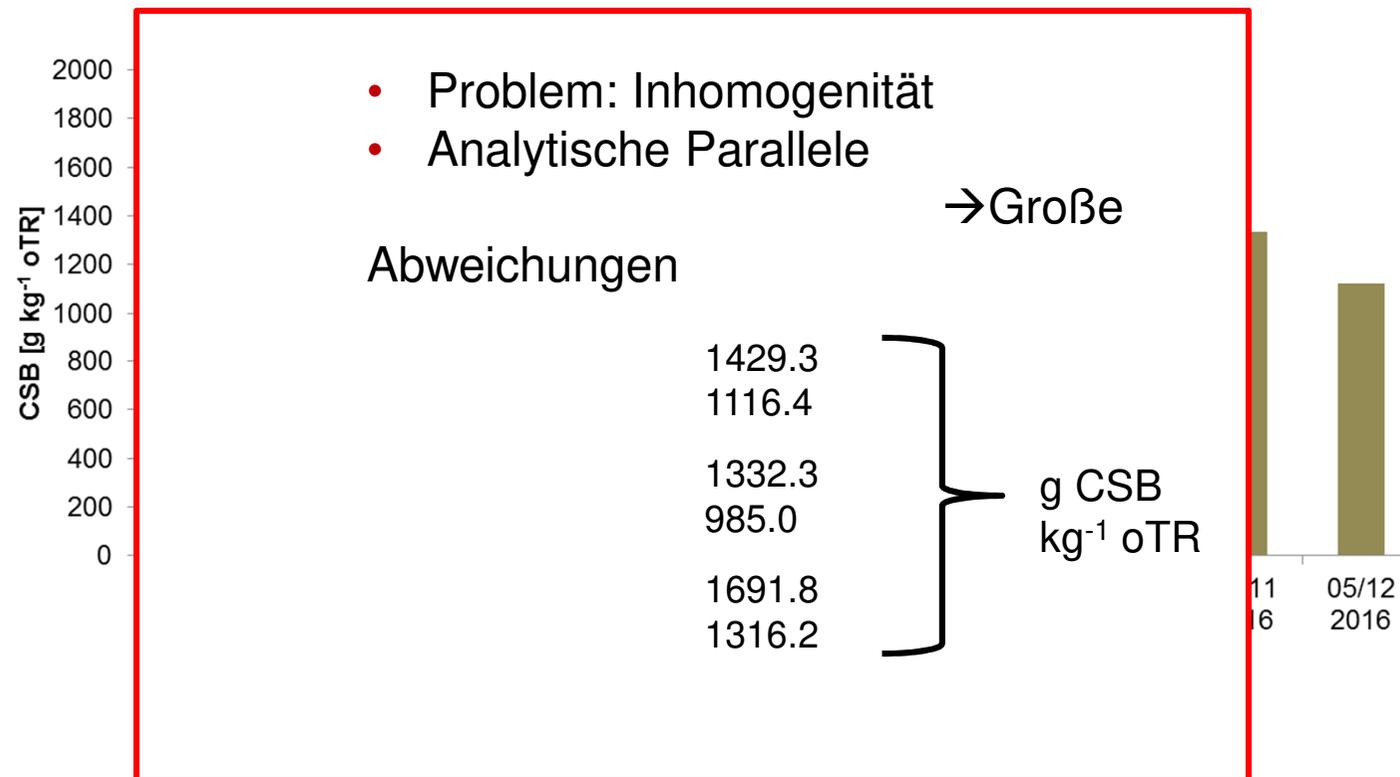


TR bei 4.5 %

→ Abweichung CSB Wert

# Ergebnis

## Detail CSB Primärschlamm

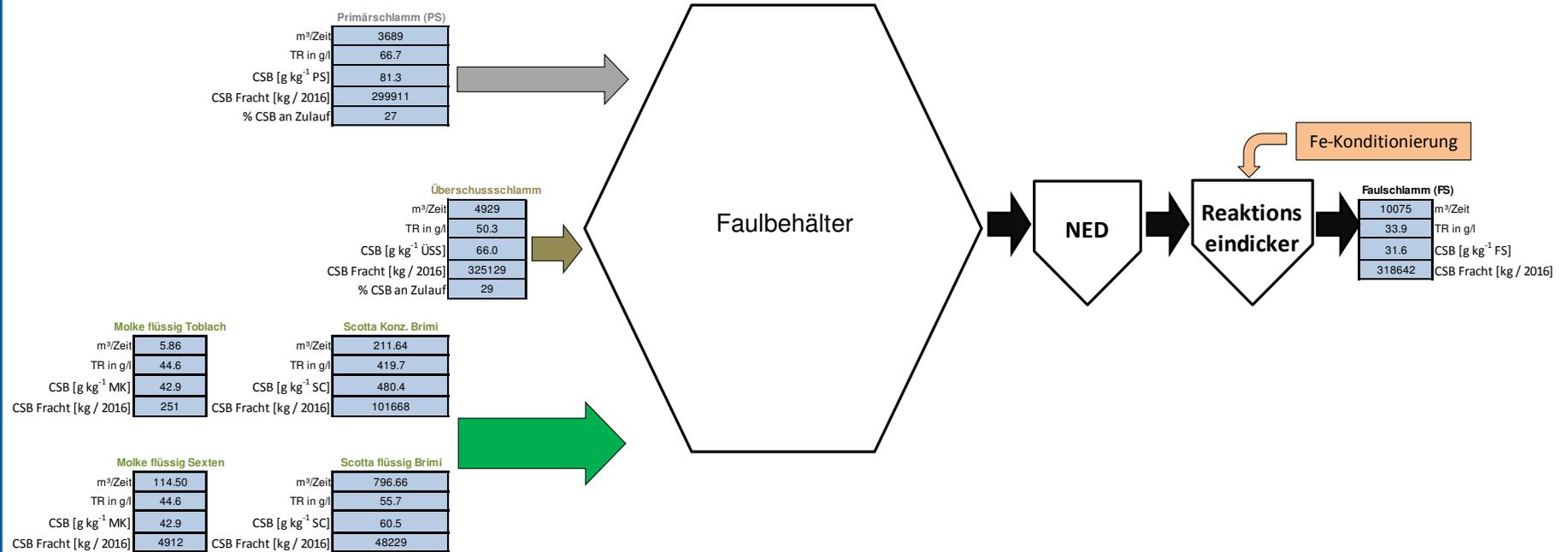


# Bilanzierung

## CSB Frachten

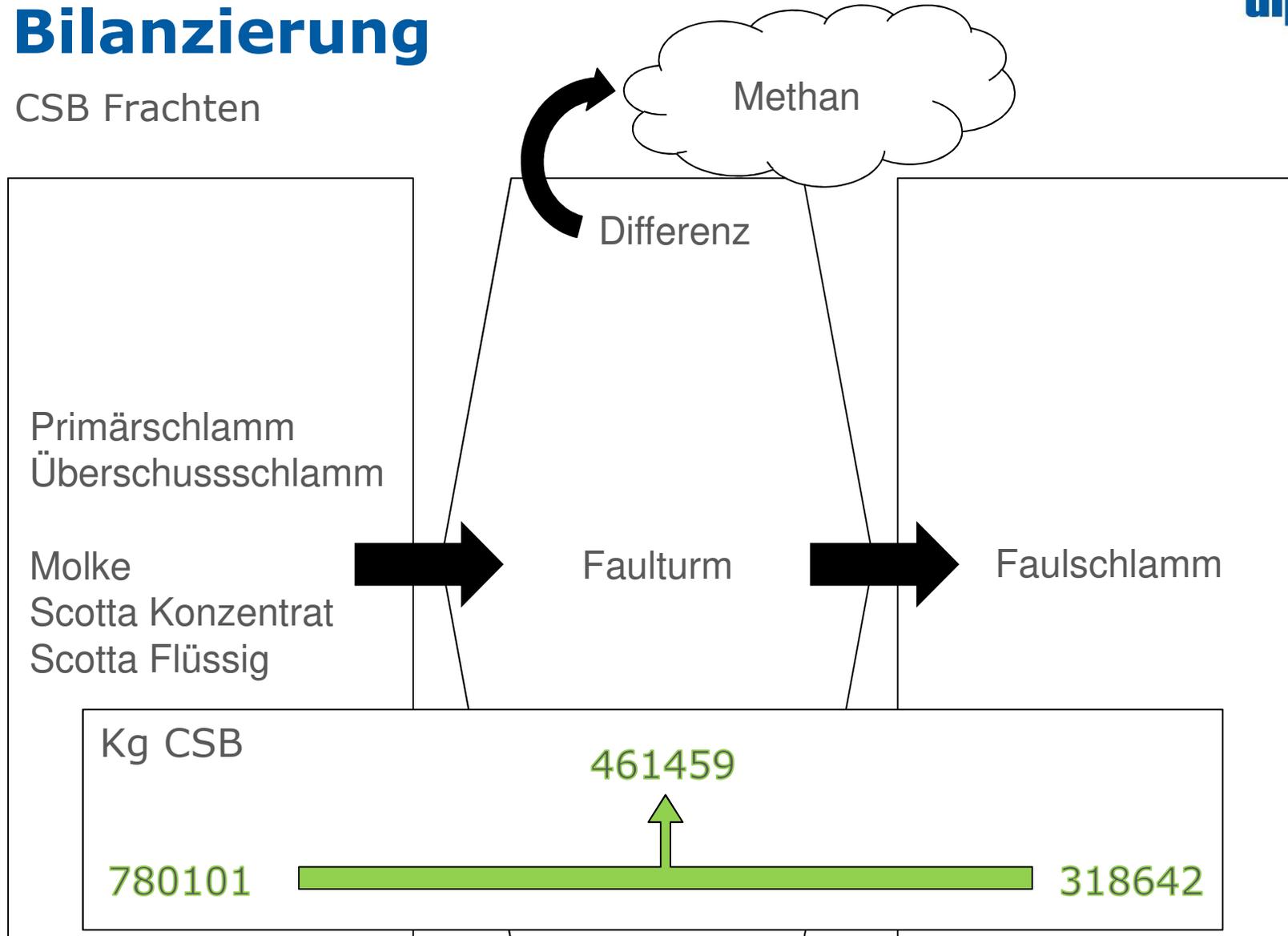
CSB Fracht Zulauf 2016 [kg] **1113980**

Bilanzzeitraum	366	d
Reaktorvolumen	1400	m <sup>3</sup>
Temperatur	37.6	°C
Aufenthaltszeit	52.6	Tage



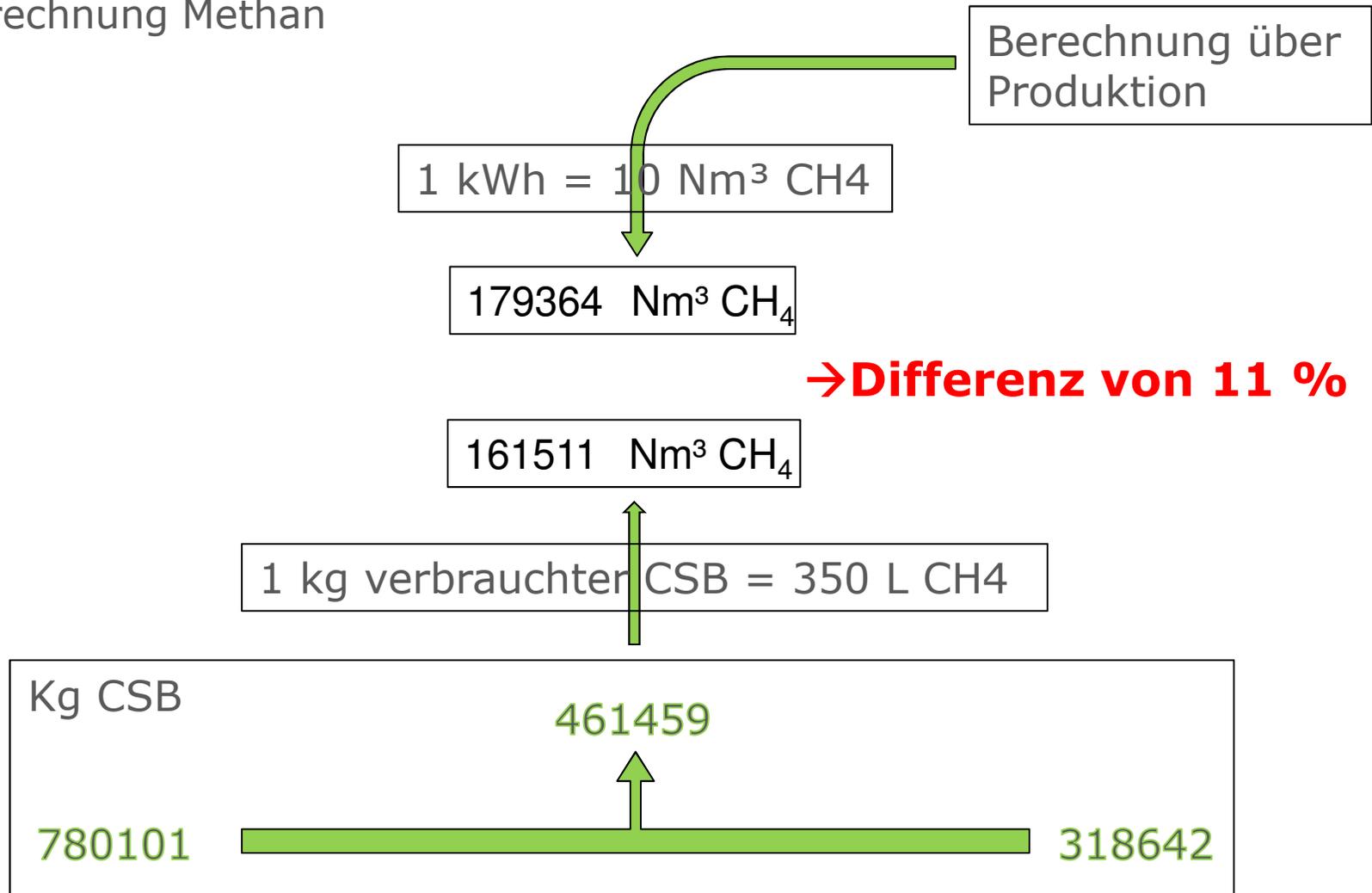
# Bilanzierung

CSB Frachten



# Bilanzierung

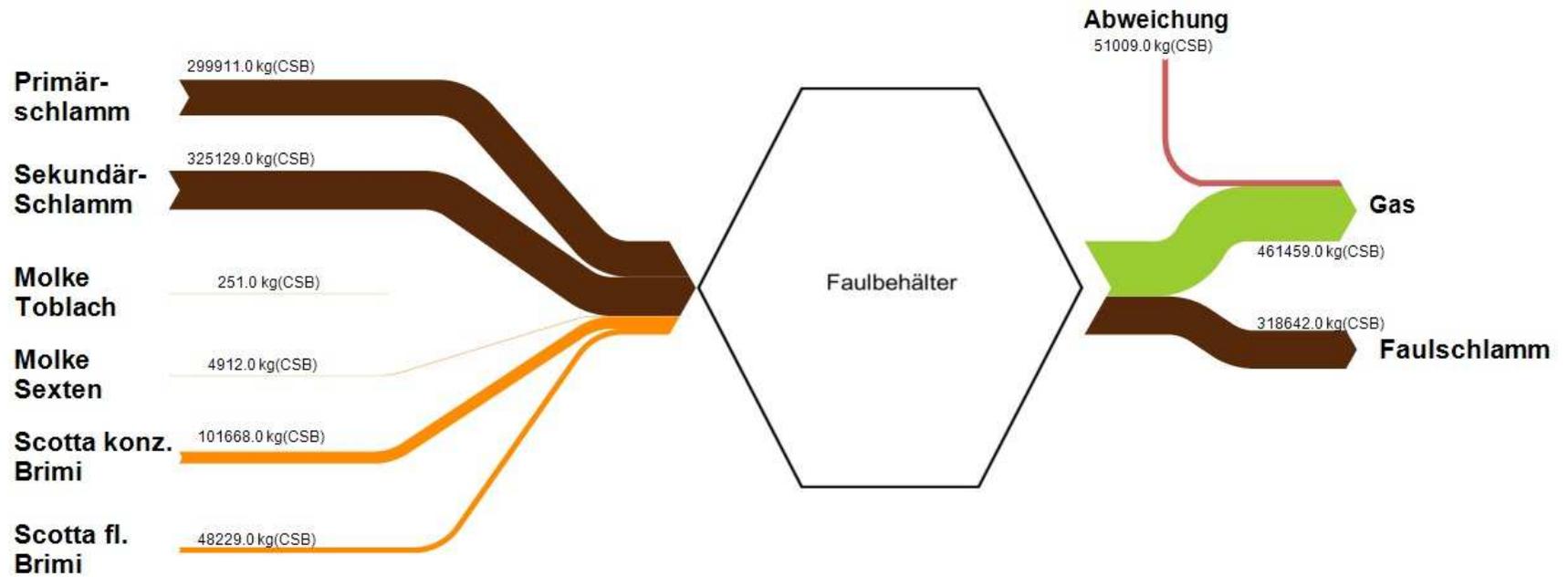
Berechnung Methan



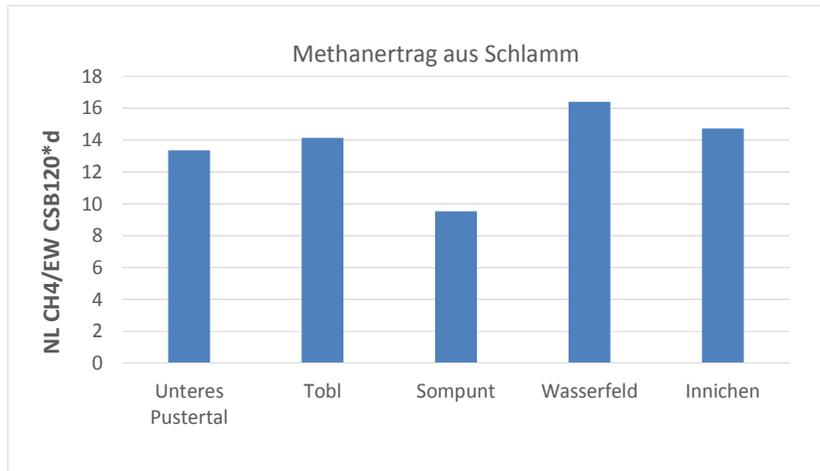
# Bilanzierung

## ARA Wasserfeld

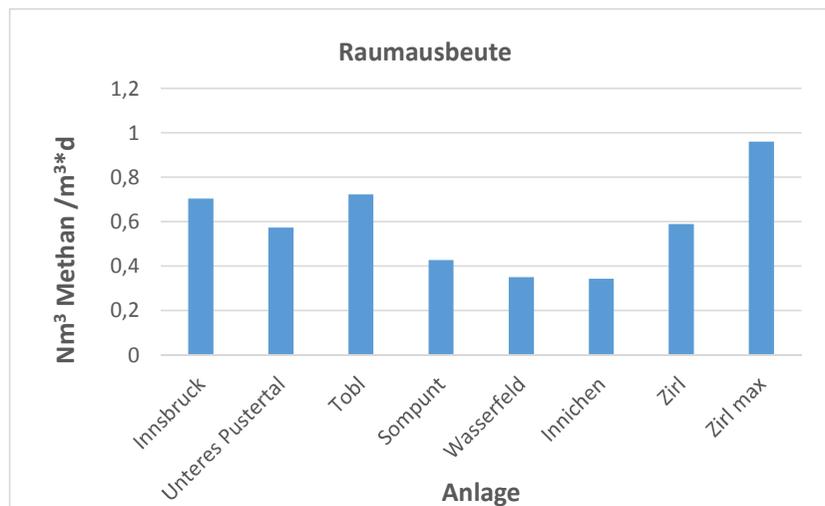
- Schlamm [kg(CSB)]
- CoFerment [kg(CSB)]
- Gas [kg(CSB)]
- Abweichung [kg(CSB)]



# Mengen und Stoffbilanzen, Kennzahlen



- Laut DWA M 368 (2014) sollen 12-14 NL CH<sub>4</sub>/EW CSB<sub>120</sub>\*d erreicht werden
- Wird erreicht, außer Sompunt, hier noch Probleme mit Bestimmung Methanertrag



- Raumausbeute
  - Man sieht, welcher Ertrag in Faultürmen erreicht werden kann
  - Tobl und Innsbruck gleich auf
  - Wir können theoretisch noch bedeutende Mengen an zusätzlichem Methan in den Faultürmen produzieren!
  - Zirl max hat auch gut und stabil funktioniert

# Zusammenfassung

- Bilanzierung mittels Schlamm – CSB – Bilanz funktioniert
- Gegencheck mit Stromproduktion, zusätzliche Messgrößen wie organische Säuren und Methan integrieren
- Durch Erfassung und Beurteilung von wesentlichen Kenngrößen können freie Kapazitäten ermittelt werden, Optimierungspotentiale aufgezeigt und Eingriffe wie Faulturmräumungen oder Reinigung der IDM`s geplant werden
- Aufwändig [um Schlämme zu homogenisieren]
- Über Wasserlinie [mittels Probennehmer] weniger Aufwand
- ?Betriebssicherheit/Verfügbarkeit der Schlammlinie gewährleistet werden