

# Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz von HTC im Vergleich zu konventionellen Verfahren der Klärschlammbehandlung

IFAT 2014, Veranstaltung des Bundesverbands HTC

*Boris Lesjean, Christian Remy, Jonas Warneke  
(Kompetenzzentrum Wasser Berlin)*

*Julien Chauzy (Veolia DT)*

*Christophe Sardet (Veolia Wasser)*

Projekt finanziert durch:



# Inhalt

- **Ziele und Aufbau** der KWB-Studie „HTC-Check“
- **Abbildung des HTC-Prozess:**
  - Prozessmodell
  - Kennzahlen
  - Wärmebilanz
- **Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz** mit UMBERTO®:
  - Methodik und Definitionen
  - Szenarien: Referenz + HTC
  - Vergleich
- **Zusammenfassung** und Grenzen der Studie

# Aufbau der Potentialstudie „HTC-Check“

- Studie initiiert durch Veolia Wasser (C. Sardet)
- **Finanzierung:** Veolia DT
- **Laufzeit:** Okt 2012 – Juli 2013
- **Ziele:**
  - Theoretische Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz von verschiedenen Optionen zur energetischen Klärschlamm Entsorgung für ein Modellklärwerk (500.000 EW) mit HTC-Verfahren
  - Vergleich der HTC-Varianten mit Referenztechnologie
- **Methodik:**
  - Energie- und Stoffstrommodell mit LCA-Software UMBERTO®
  - Datenquellen:
    - Klärschlamm: *DWA-Modellklärwerk*
    - Referenzsysteme: *KWB + Veolia DT*
    - HTC-Prozess: *Pilotanlage der Firma TerraNova Energy*

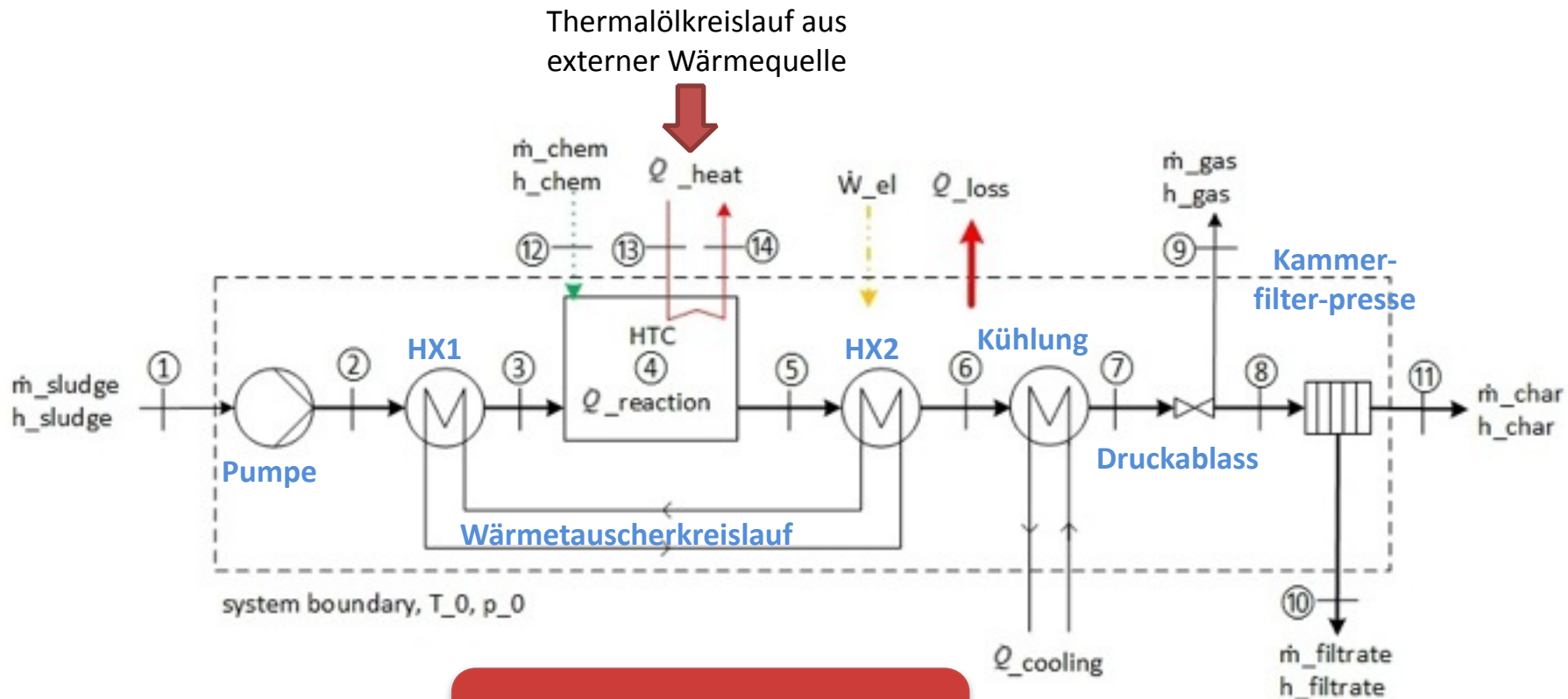


Prozessmodell, Kennzahlen, Wärmebilanz

# HTC-PROZESS



# Modell des HTC-Prozesses von TerraNova



HTC-Parameter:  
180°C, 20-31 bar, 150 min

Legende:

- $m$  - Masse
- $h$  - Enthalpie, z.B. Heizwert
- $Q$  - Thermische Energie, z.B. Dampf

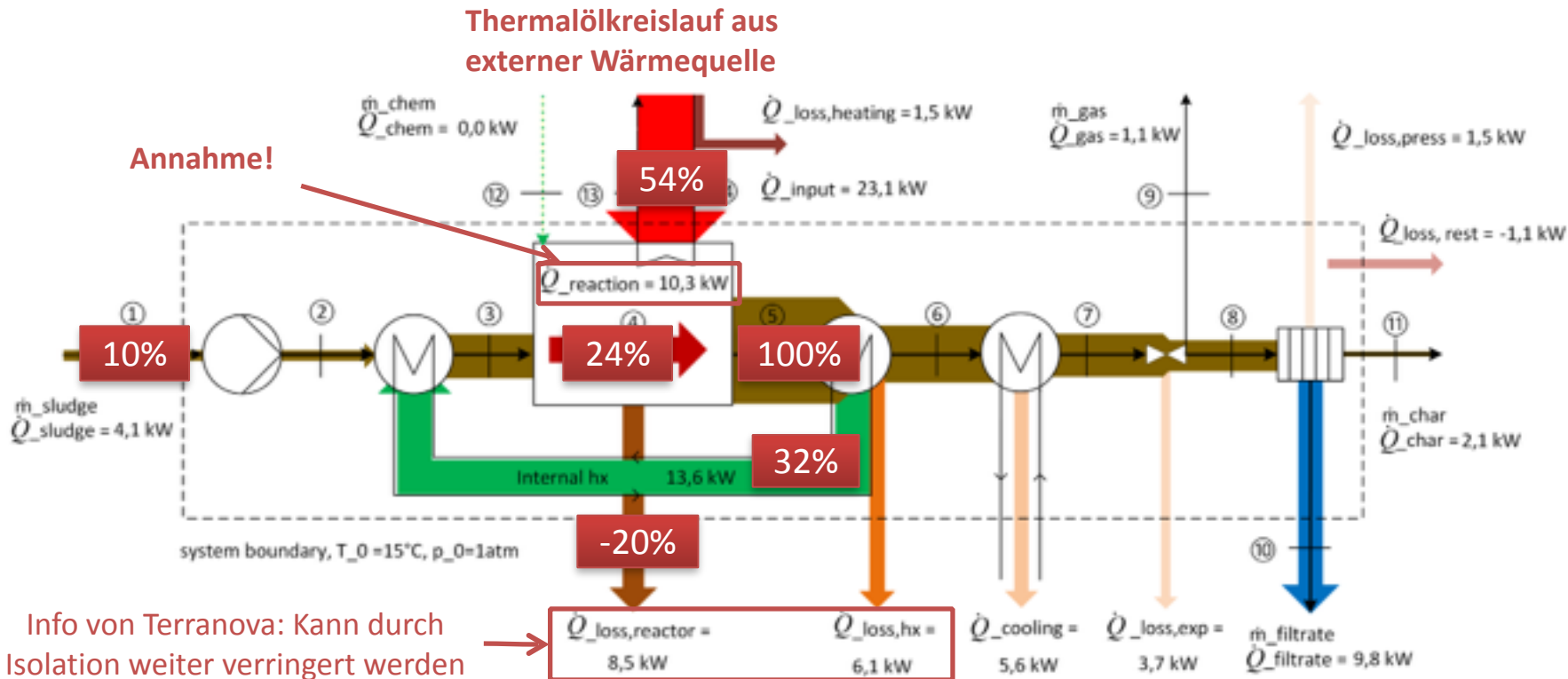
# Wichtige Kennzahlen des HTC-Prozesses von Terranova

Parameter	Formel	Wert	Literatur
<b>Massenausbeute für TR</b>	$\mu = \frac{m_{TR, Biokohle}}{m_{TR, Klärschlamm}}$	<b>74%</b>	<b>75% (Mittelwert)</b>
<b>Erhöhung des Heizwerts der TR</b>	$\psi = \frac{H_{u, Biokohle}}{H_{u, Klärschlamm}}$	<b>109%</b>	<b>106% (Escala 2013)</b>
<b>HTC-Effizienz</b>	$\eta_{HTC} = \mu \cdot \psi$	<b>81%</b>	
<b>Kohlenstoffeffizienz</b>	$\eta_C = \frac{m_{C, Biokohle}}{m_{C, Klärschlamm}}$	<b>81%</b>	<b>75% (Jeitz 2012) 62 – 71% (Escala 2013)</b>

Geringe  
Karbonisierung  
mit Klärschlamm

109%

# Wärmebilanz des HTC-Prozesses (Pilotanlage, 280 kg/h)



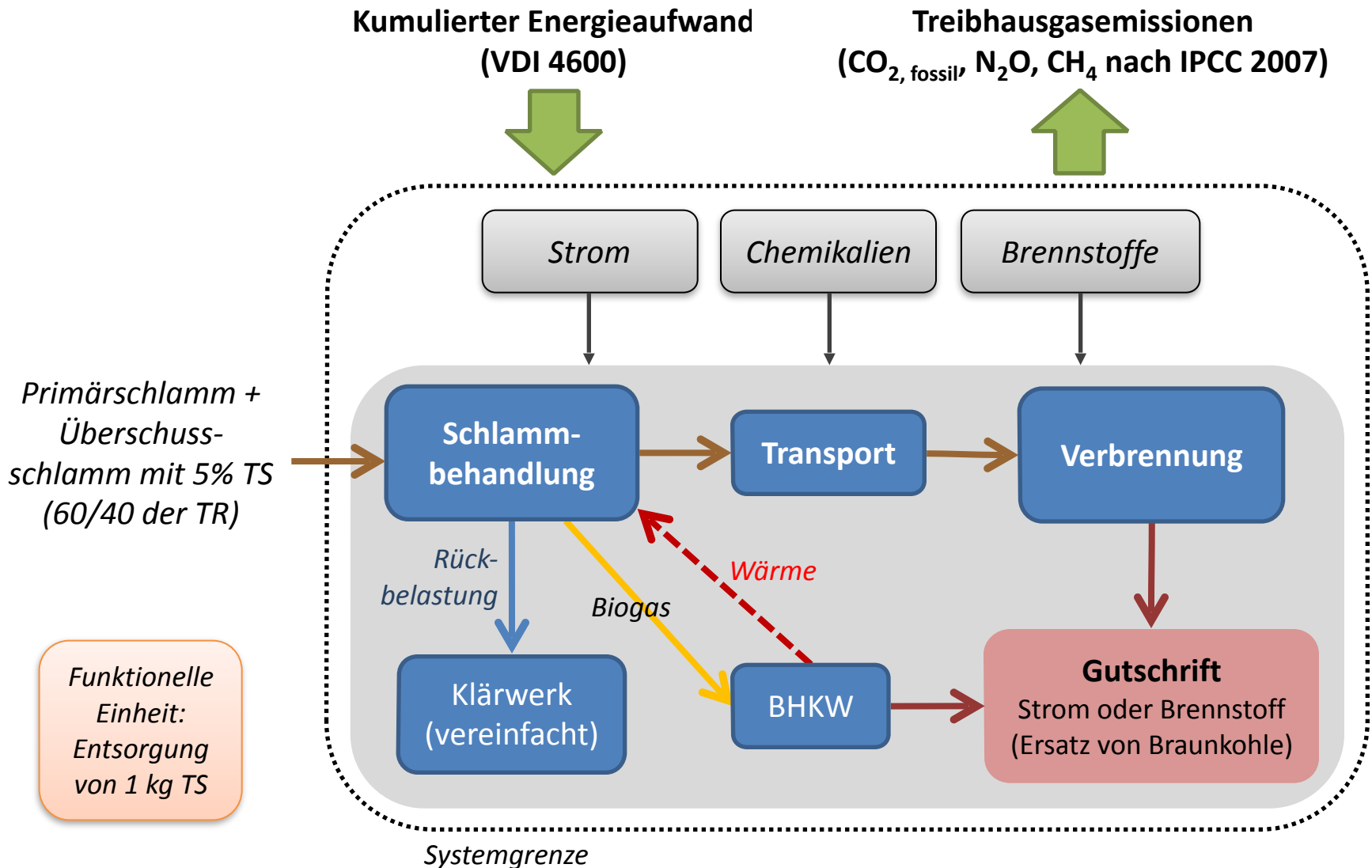
- Wärmebilanz lässt sich schließen unter Annahme von 3,7 % exothermer Reaktionswärme des Schlamm-Brennwerts (= 24% der Wärme im behandelten Schlamm)
- 32% der Wärme werden in der Pilotanlage über Wärmetauscher rückgewonnen (entwässerter Schlamm mit 20% TS → Großtechnik?)

Systemgrenzen, Szenarien, Gutschriften

# DEFINITIONEN



# Systemgrenzen der Vergleichsstudien in UMBERTO®

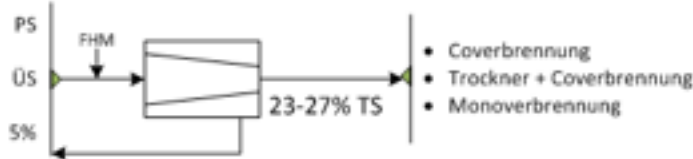


Funktionelle Einheit:  
Entsorgung von 1 kg TS

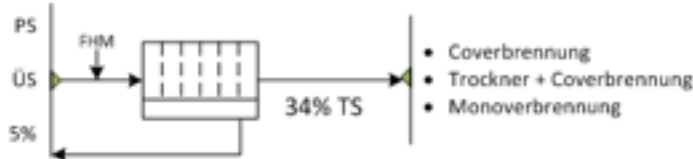
# Szenarien für Stoff- und Energiebilanz

## Rohschlamm (ohne Faulung)

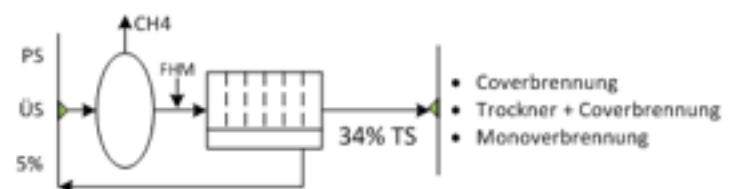
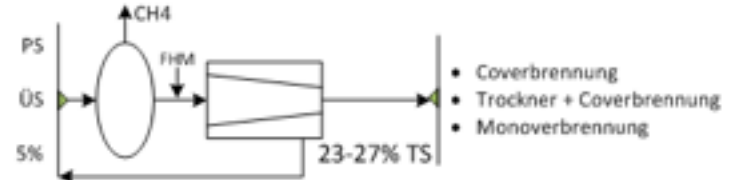
### Referenz (Zentrifuge)



### Referenz (Kammerfilterpresse)

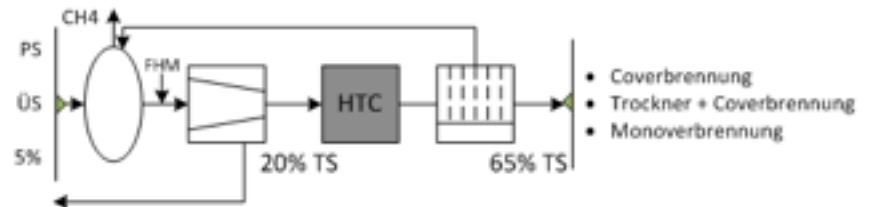
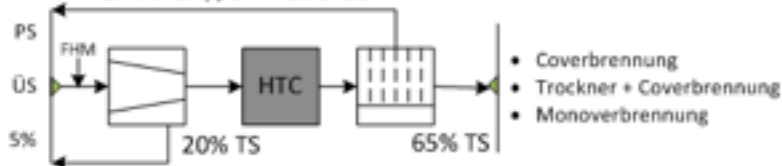


## Faulschlamm (Mit Faulung)



## Hydrothermale Carbonisierung

1. Rückführung ins Klärwerk
2. NH<sub>3</sub>-Stripper + Methanizer



### Abkürzungen

- HTC Hydrothermale Carbonisierung  
 PS Primärschlamm  
 ÜS Überschussschlamm  
 FHM Flockungshilfsmittel (Polymer)

# Wärmemanagement und Gutschriften bei Entsorgung

- **Wärmemanagement:**

- Kein BHKW: Wärmebedarf wird über **Erdgasbrenner** bereitgestellt
- Mit BHKW: **Abwärme** kann genutzt werden (Wirkungsgrade: 38% elektrisch, 21% Wärme bei 90°C, 21% Wärme bei 450°C), ggf. Zufeuerung von Erdgas
- Schlamm Trocknung wird über Erdgas betrieben
- Überschüssige Wärme wird nicht gutgeschrieben

- **Gutschriften:**

- **Strom** aus BHKW und Monoverbrennung (Dampfturbine)
- Ersatz von **Braunkohle** im Kraftwerk (Produktion und Verbrennung)
- N-Mineraldünger bei NH<sub>3</sub>-Strippung

- **Entsorgungswege:**

- a) **Coverbrennung** im Braunkohlekraftwerk (200 km per LKW), berechnet über Heizwerte von Schlamm und Braunkohle
- b) **Trocknung + Coverbrennung** im Braunkohlekraftwerk (200 km per LKW)
- c) **Monoverbrennung** (50 km per LKW), Stützfeuerung nach Modell Veolia DT

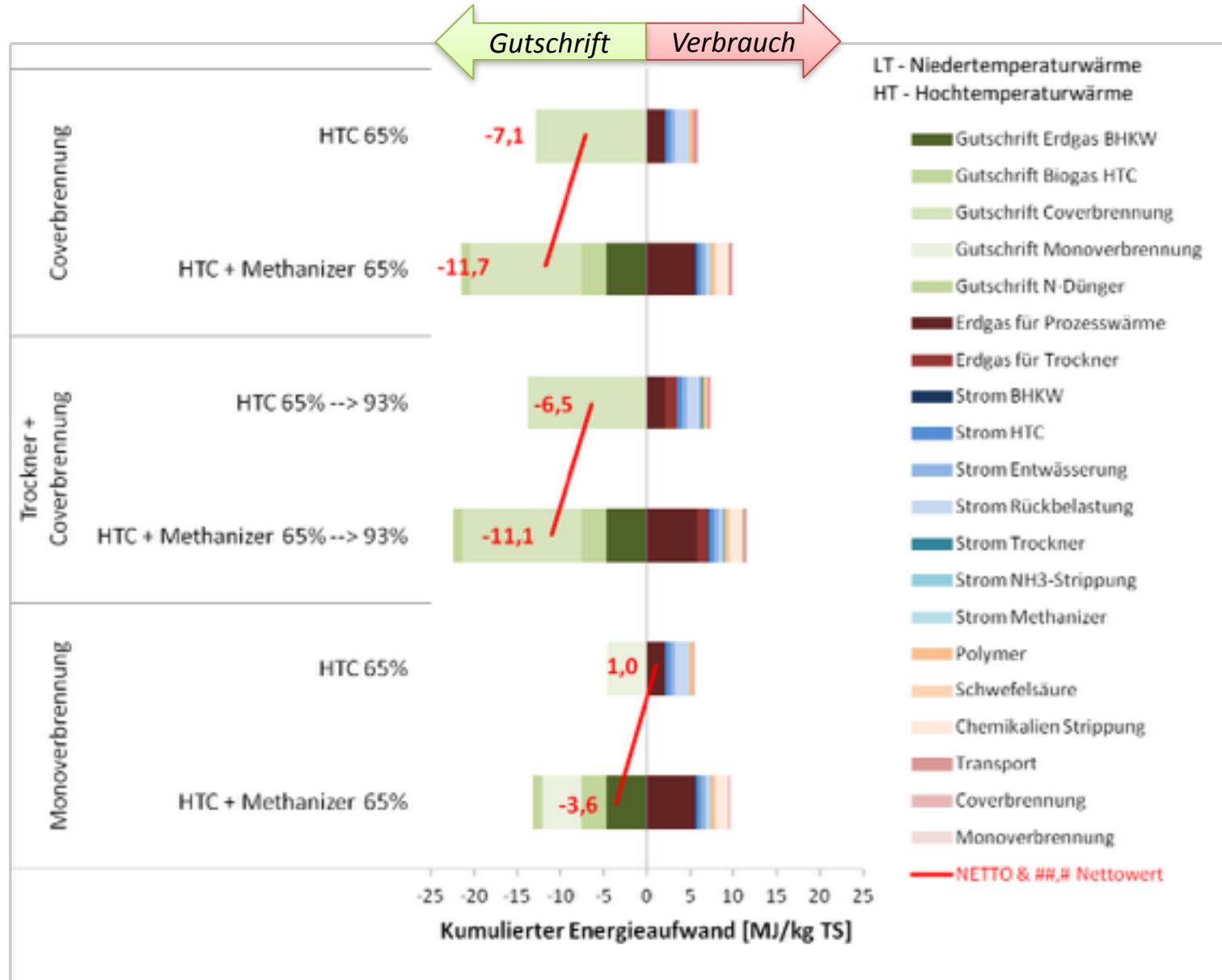
# Berücksichtigung des Prozesswassers

- **Prozesswasser der HTC:**
  - Hohe Belastung mit organischen Stoffen (CSB = 80.000 mg/L) und Nährstoffen (N = 8000 mg/L, P = 1000 mg/L)
  - Volumen: 125-200 L pro Tonne Mischschlamm
- **Prozesswasserbehandlung:**
  - **Faulturm:** Rückführung in die Faulung, Abbau von 70% des CSB zu Biogas
  - **Kein Faulturm:** Rückführung ins Klärwerk und Reinigung, Stromverbrauch für Belüftung wird angerechnet
  - **Variante:** Strippung von  $\text{NH}_3$  (→ N-Dünger) und Biogasreaktor („Methanizer“)
- **Spezifische Prozesswasserbehandlung notwendig?**
  - Bildung von nicht abbaubaren organischen Verbindungen („refraktärer CSB“)
  - Verhalten im Klärwerk? Aufstockung des CSB-Ablaufwerts?
  - Ggf. erweiterte Behandlung notwendig (Fällung, Oxidation, Aktivkohle)
    - hier nicht berücksichtigt!

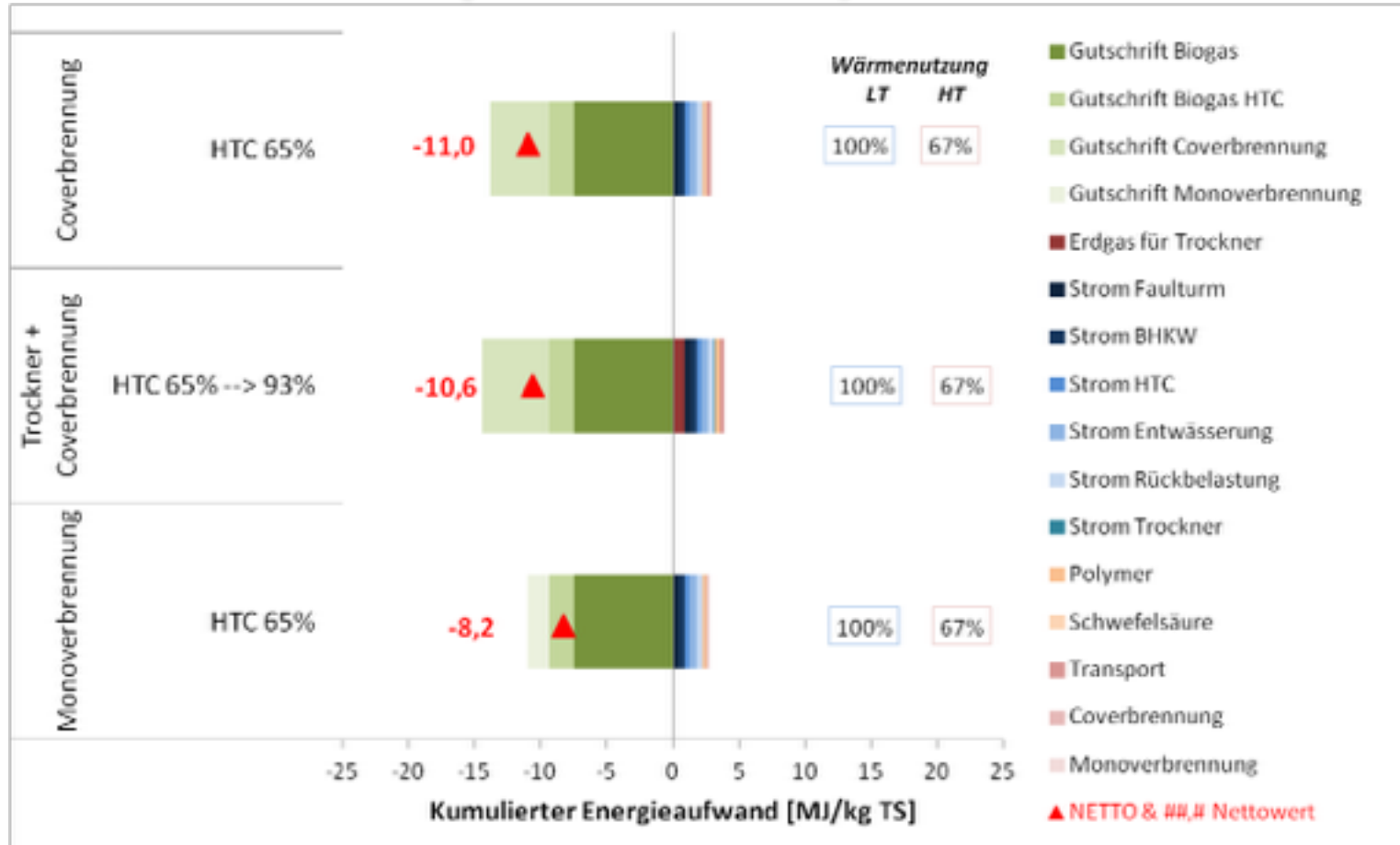
HTC im Detail, Vergleich

# ERGEBNISSE

# Energiebilanz: HTC für Rohschlamm

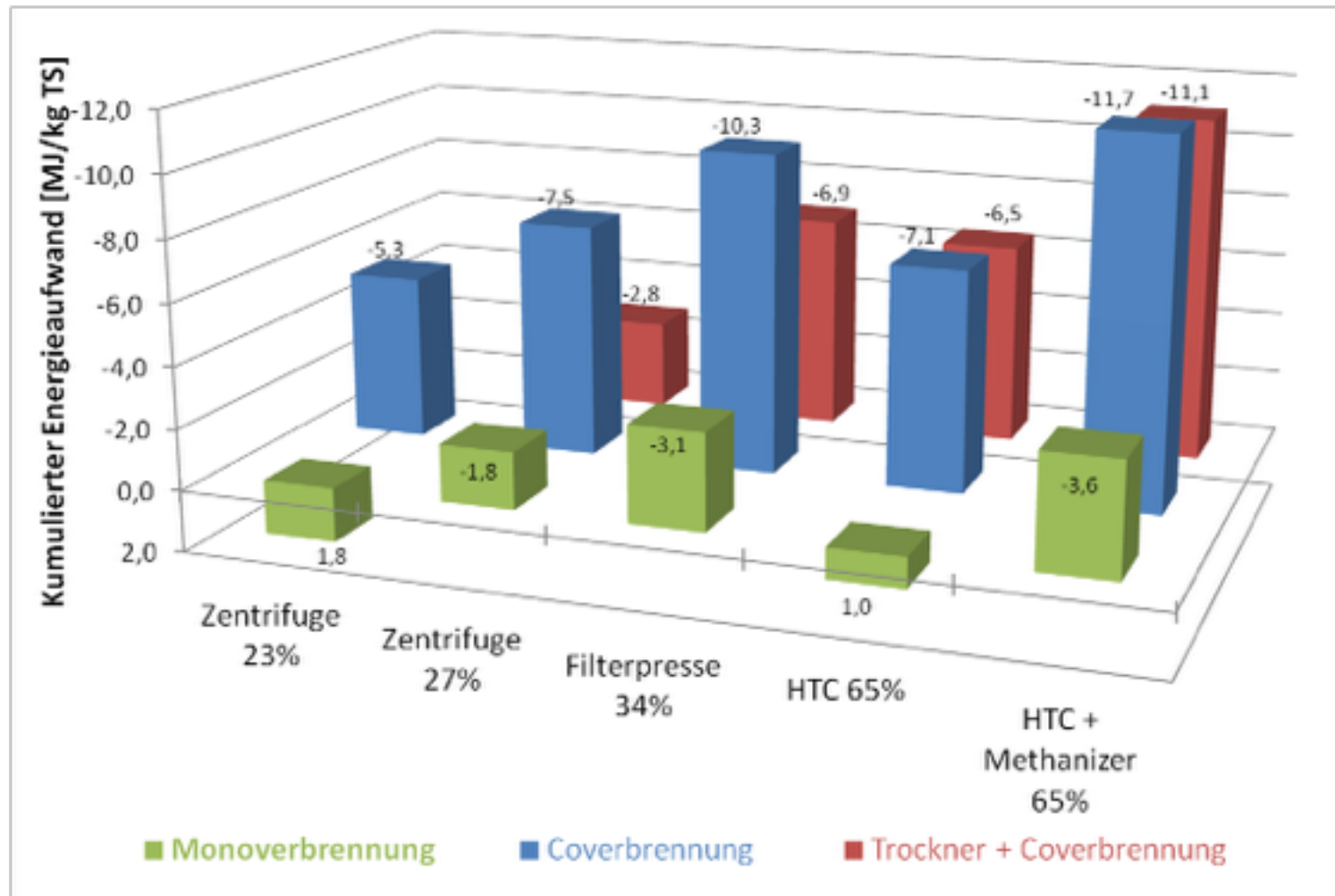


# Energiebilanz: HTC für Faulschlamm



- Kein Zusatzbrennstoff für HTC notwendig → Betrieb über Abwärme des BHKW

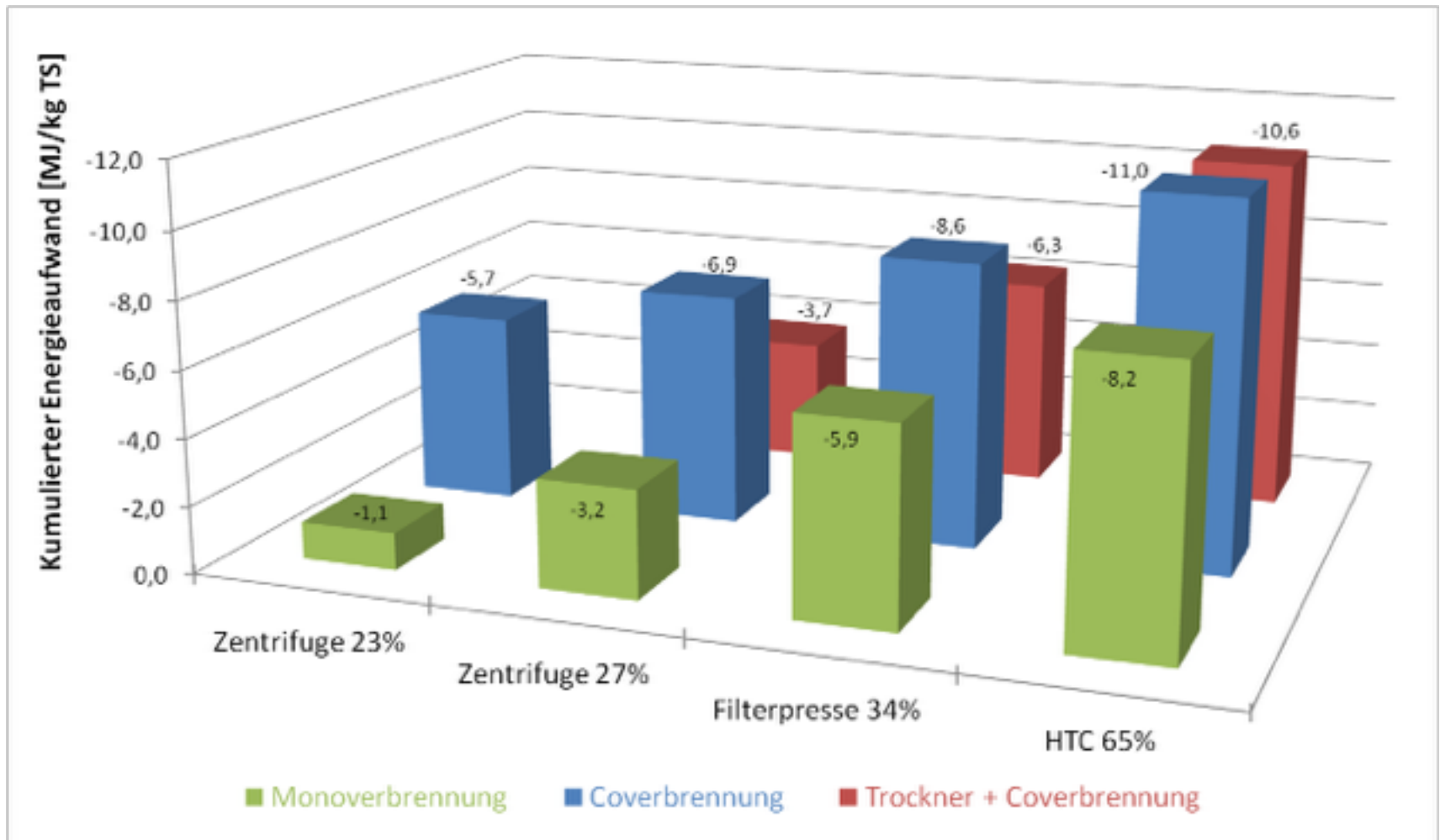
## Energiebilanz für Szenarien mit Rohschlamm



- HTC hat Vorteile im Vergleich zur Zentrifuge mit schlechter Entwässerung ( $\leq 23\%$  TS)
- Nutzung des Biogaspotentials im Prozesswasser führt zu HTC als bestem Szenario

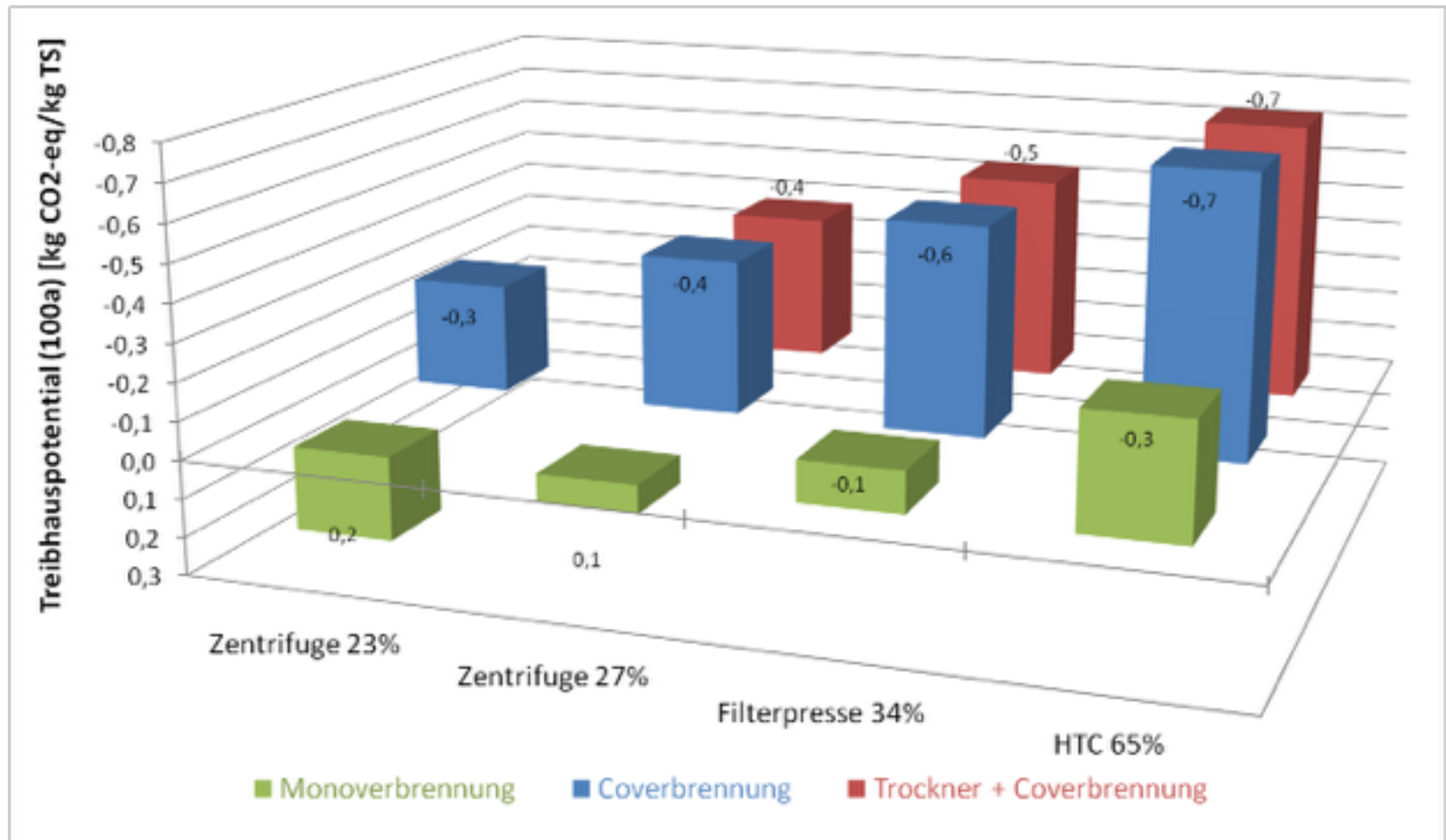


## Energiebilanz für Szenarien mit Faulschlamm



- HTC hat bessere Energiebilanz als alle Referenzszenarien
- Optimale Wärmenutzung (kein Zusatzbrennstoff) führt zu energetischen Vorteilen der HTC

# Carbon footprint für Szenarien mit Faulschlamm



- HTC hat bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz als alle Referenzszenarien
- Coverbrennung hat besseren Carbon footprint als Monoverbrennung

Grenzen der Studie, Ergebnisse und Ausblick

# ZUSAMMENFASSUNG

# Grenzen der Studie und ihrer Ergebnisse

- **Wärmenutzung kann auch in Referenz optimiert werden**
- **Annahmen für HTC-Prozess:**
  - Dauerbetrieb von Wärmerückgewinnung über Wärmetauscher? (20% TS im Schlamm, 32% Rückgewinnung)
  - Exothermie des HTC-Prozesses? (24% der Wärme im Schlamm)
  - Abbaubarkeit des CSB im Filtrat? (70% zu Biogas)
- **Datenqualität:**
  - Referenz: Großtechnische Daten, langjährige Erfahrung
  - HTC: Pilotanlage mit Ergebnissen für einen Klärschlamm
- **Studie ist begrenzt auf Energiebilanz und Treibhauspotential:**
  - Prozesswasserbehandlung? (refraktärer CSB )
  - Schadstoffe? (Schwermetalle)
  - Nährstoffrückgewinnung? (Phosphor)
  - Geruchsprobleme bei Rohschlammverarbeitung?
  - Kostenbetrachtung?

# Zusammenfassung und Ausblick

- **HTC-Prozess von Terranova:**

- Transfer von 74% der TS in HTC-Kohle → **hochbelastetes Filtrat** (CSB, N, P)
- **Geringer Wärmebedarf** (375 kWh/t TS) durch hohe Wärmerückgewinnung über Wärmetauscher
- **Sehr gute Entwässerbarkeit** in Kammerfilterpresse nach HTC (65% TS)

- **Energiebilanz:**

- **Rohschlamm:** HTC ist besser als Zentrifugenentwässerung auf  $\leq 23\%$  TS und schlechter als Kammerfilterpresse (Nutzung des Biogaspotentials im Prozesswasser?)
- **Faulschlamm:** HTC ist allen Referenzverfahren überlegen
- HTC-Prozess kann hier **nur über BHKW-Abwärme** betrieben werden → kein externer Brennstoff benötigt, sehr effiziente Wärmenutzung

- **Nächste Schritte:**

- Prozessdaten der HTC sollten geprüft und im Großmaßstab validiert werden
- Optionen zur Nährstoffrückgewinnung prüfen
- Prozesswasserbehandlung notwendig? (refraktärer CSB)
- Vergleich mit anderen thermischen Vorbehandlungsverfahren?



KWB

KOMPETENZZENTRUM  
Wasser Berlin



[www.kompetenz-wasser.de](http://www.kompetenz-wasser.de)

[boris.lesjean@kompetenz-wasser.de](mailto:boris.lesjean@kompetenz-wasser.de)

**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!**