

**Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen**

# ÖKOBILANZIERUNG DER HYDROTHERMALEN CARBONISIERUNG VON KLÄRSCHLAMM

Matthias Stucki, Lea Eymann

8. Mai 2014, IFAT Messe, München

## Eckdaten des Projekts

- **Thema des Gesamtprojekts:** HTC zur Trocknung von Klärschlamm im industriellen Maßstab und P-Rückgewinnung
- **Industriepartner:** AVA-CO2 Schweiz
- **Finanzierung:** Bundesamt für Umwelt BAFU  
(Technologieförderung)
- **Zeitraumen:** 2011-2013

## Inhalt des Projekts

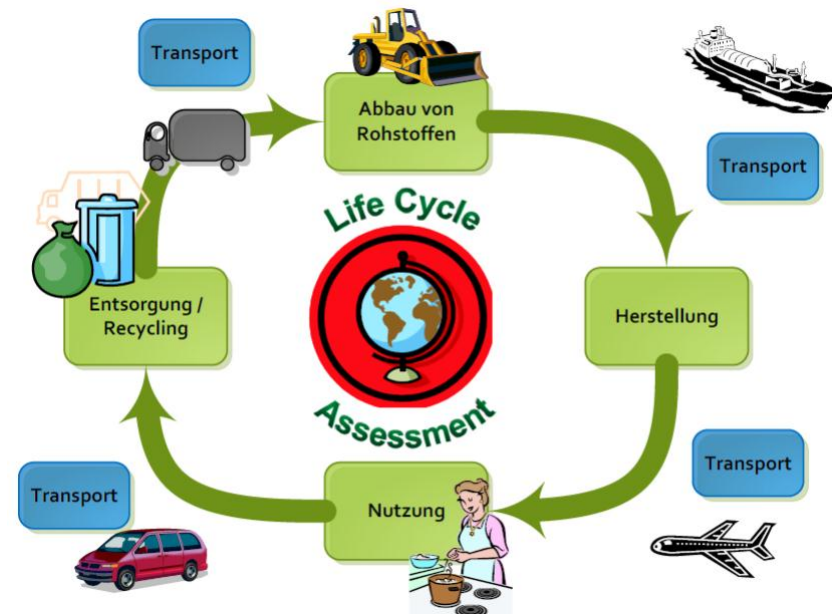
1. **Behandlung des HTC-Prozesswassers:** Mittlere bis sehr gute biologische Abbaubarkeit der organischen Fracht des HTC-Prozesswassers im Batchversuch
2. **Mechanische Entwässerbarkeit:** Vorteil von HTC für eine verbesserte Fest-Flüssigtrennung wurde nachgewiesen
3. **Energetischen Verwertungsmöglichkeiten von HTC-Kohle:** Erfolgreiche Versuche zur Mitverbrennung der HTC-Kohle in einer SVA und in einem Zementwerk
4. **Rückgewinnung von Phosphor und Schwermetallen:** Die tiefere Alkalinität der HTC-Asche verglichen zur KS-Asche erleichtert die Rückgewinnung von Schwermetallen und Phosphor

## Ziel der Ökobilanzierung

Vergleich des HTC-Prozesses mit weiteren Verfahren  
der Klärschlammmentsorgung aus Umweltsicht

# Ökobilanzen

- Standardisierte Methode für die Bestimmung der Auswirkungen von Produkten / Dienstleistungen / Prozessen auf die Umwelt
- Life Cycle Assessment (LCA): Gesamter Lebenszyklus «von der Wiege bis zur Bahre»
- Ökobilanzierung erfolgte mit der Software SimaPro



## Varianten der Klärschlamm Entsorgung mit HTC

- Faulung, HTC-Verfahren und **Monoverbrennung** der HTC-Kohle mit Phosphorrückgewinnung
- Faulung, HTC-Verfahren und Verbrennung der HTC-Kohle in **Zementindustrie**
- Faulung, HTC-Verfahren und Verbrennung der HTC-Kohle in **Braunkohlekraftwerk**

Wärme für HTC-Prozess: Biogas / alternative Szenarien für Nutzung von Abwärme oder Erdgas

## Varianten der Klärschlamm Entsorgung ohne HTC

- Faulung, **Monoverbrennung** und Phosphor-Rückgewinnung auf dem Gelände der ARA, Trocknung mit Abwärme
- Keine Faulung, **Monoverbrennung** und Phosphor-Rückgewinnung auf dem Gelände der ARA, Trocknung mit Abwärme
- Faulung, Entsorgung des Schlammes in einer **Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)**
- Faulung, Schlamm Entsorgung in der **Zementindustrie**, Trocknung auf ARA mit Wärmetauscher
- Faulung, Schlamm Entsorgung in der **Zementindustrie**, Trocknung im Zementwerk mit Abwärme

## ARA Luzern (REAL)



- Die betrachteten Klärschlamm-Entsorgungswege beziehen sich auf den Standort der REAL (Kt. Luzern)
- Die Abwasserreinigungsanlage reinigt seit 1974 das Abwasser von 180'000 Einwohnern und vielen Unternehmen aus 8 Gemeinden
- Fernwärme-Abgabe ist auf 12.2 MJ/EW beschränkt



## **Funktionelle Einheit (Bezugsgrösse):**

*«Entsorgung von einem Einwohnerwert (EW) Klärschlamm im Einzugsgebiet REAL, was einer jährlichen Klärschlammfracht mit einem Trockensubstanzgehalt von 27.5 kg TS entspricht.»*

## Datenquellen

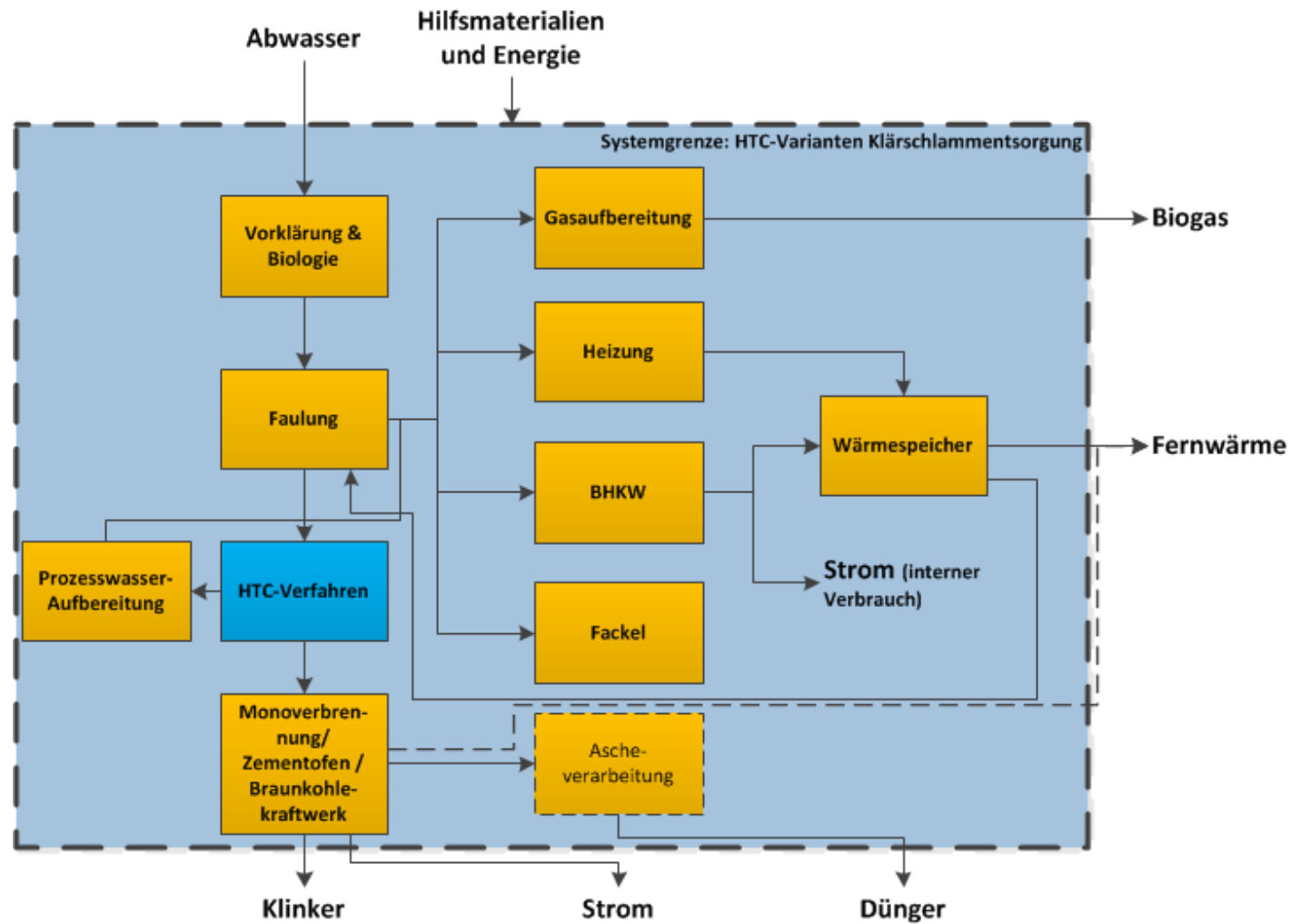
### 1. Für die Ökobilanzierung des HTC-Verfahrens:

- AVA-CO2 Schweiz AG: Vordergrunddaten (Energieverbrauch, Materialbedarf, Infrastruktur, Prozesswasserzusammensetzung)
- ecoinvent v2.2 Datenbank: Hintergrunddaten (ca. 4'000 Datensätze zu Strom-Mix, Transport, Chemikalien, mineralischen Rohstoffen, Entsorgung u.v.m)

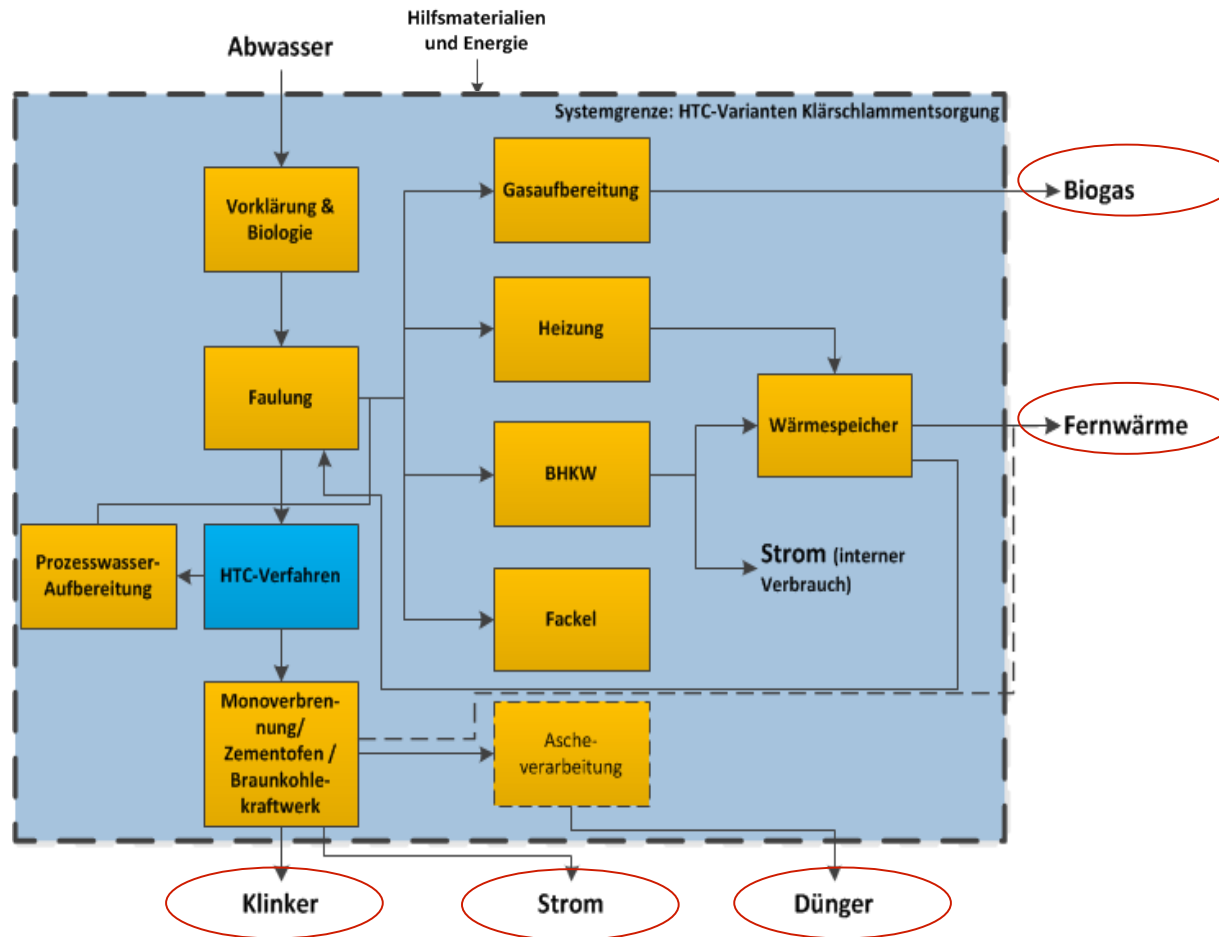
### 2. Für die Ökobilanzierung der Entsorgungswege ohne HTC:

- Studie von Bättig et al. (2011) für den Standort der ARA REAL in Emmen (Kt. Luzern)

# Systemgrenze der Klärschlammuntersorgungsvarianten mit HTC



# Gutschriften (1/2)

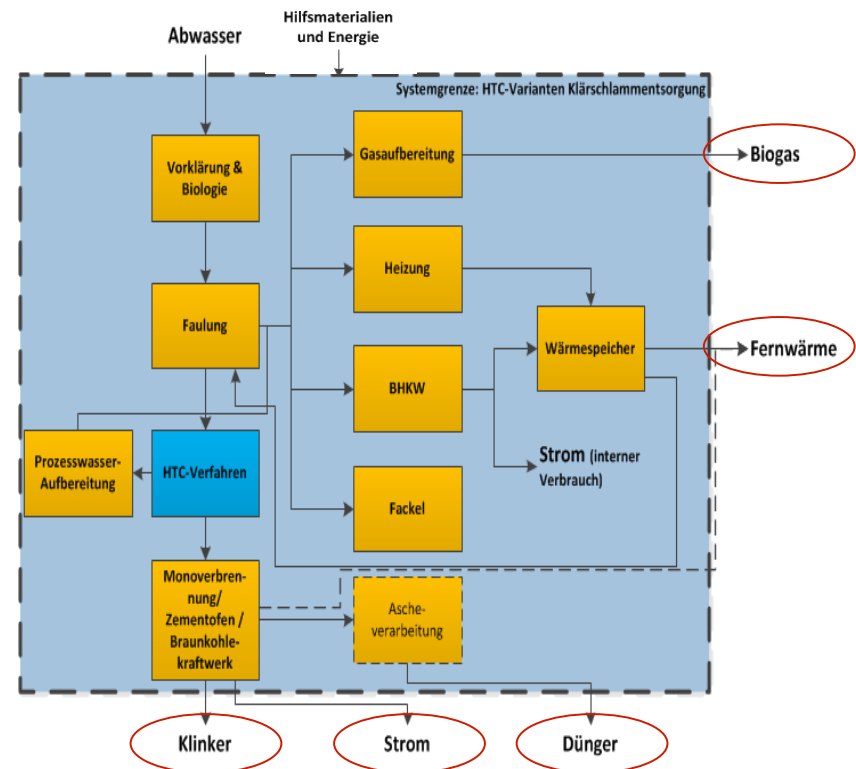


## Outputs:

Die Produkte der Klärschlammbehandlung können konventionelle Produkte substituieren

## Gutschriften (2/2)

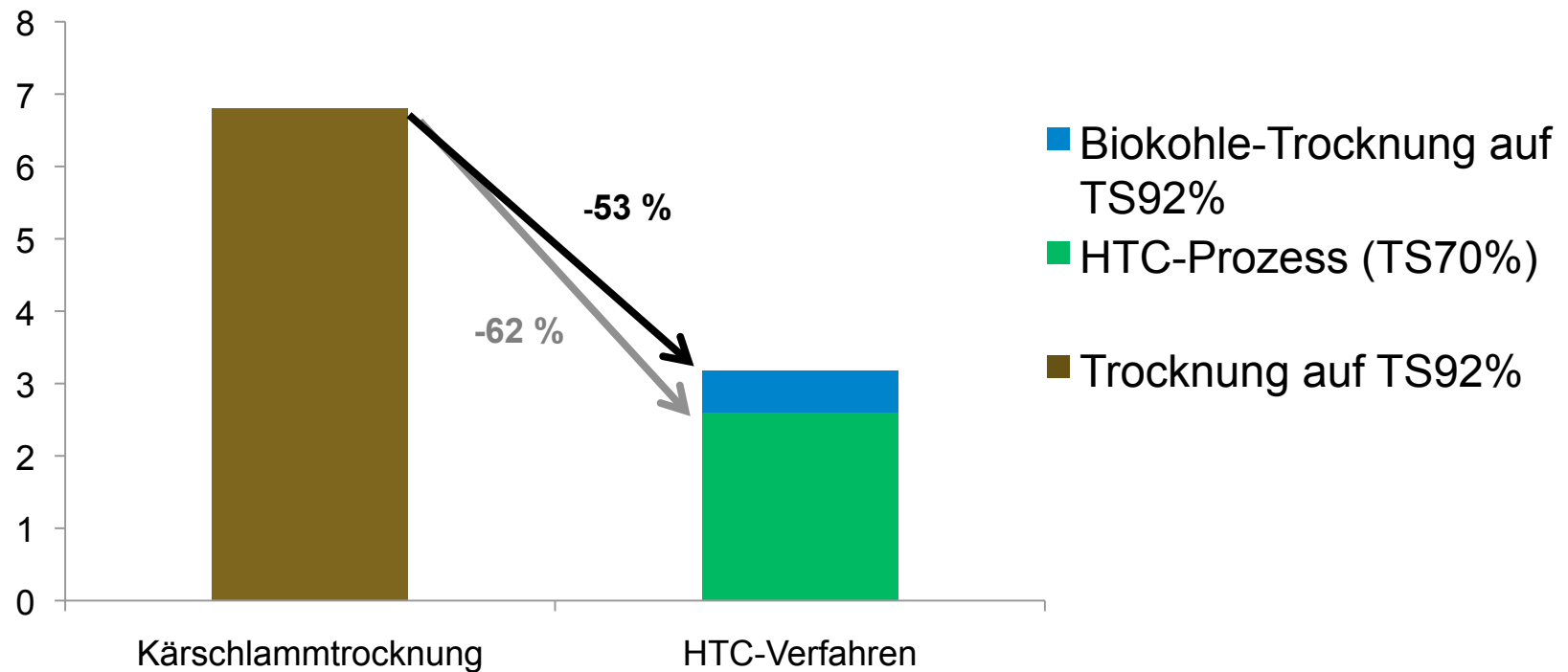
- Biogas ersetzt Erdgas
- Fernwärme ersetzt Wärme aus Erdgas
- Dünger aus Phosphor-Rückgewinnung ersetzt konventionellen Dünger
- HTC-Kohle in Braunkohlekraftwerk reduziert den Einsatz fossiler Braunkohle und vermeidet fossile Kohlendioxidemissionen
- HTC-Kohle in Zementwerk ersetzt fossile Brennstoffe und Rohmaterial



# Resultate

## Wärmeverbrauch der Klärschlamm-trocknung (TS 92%)

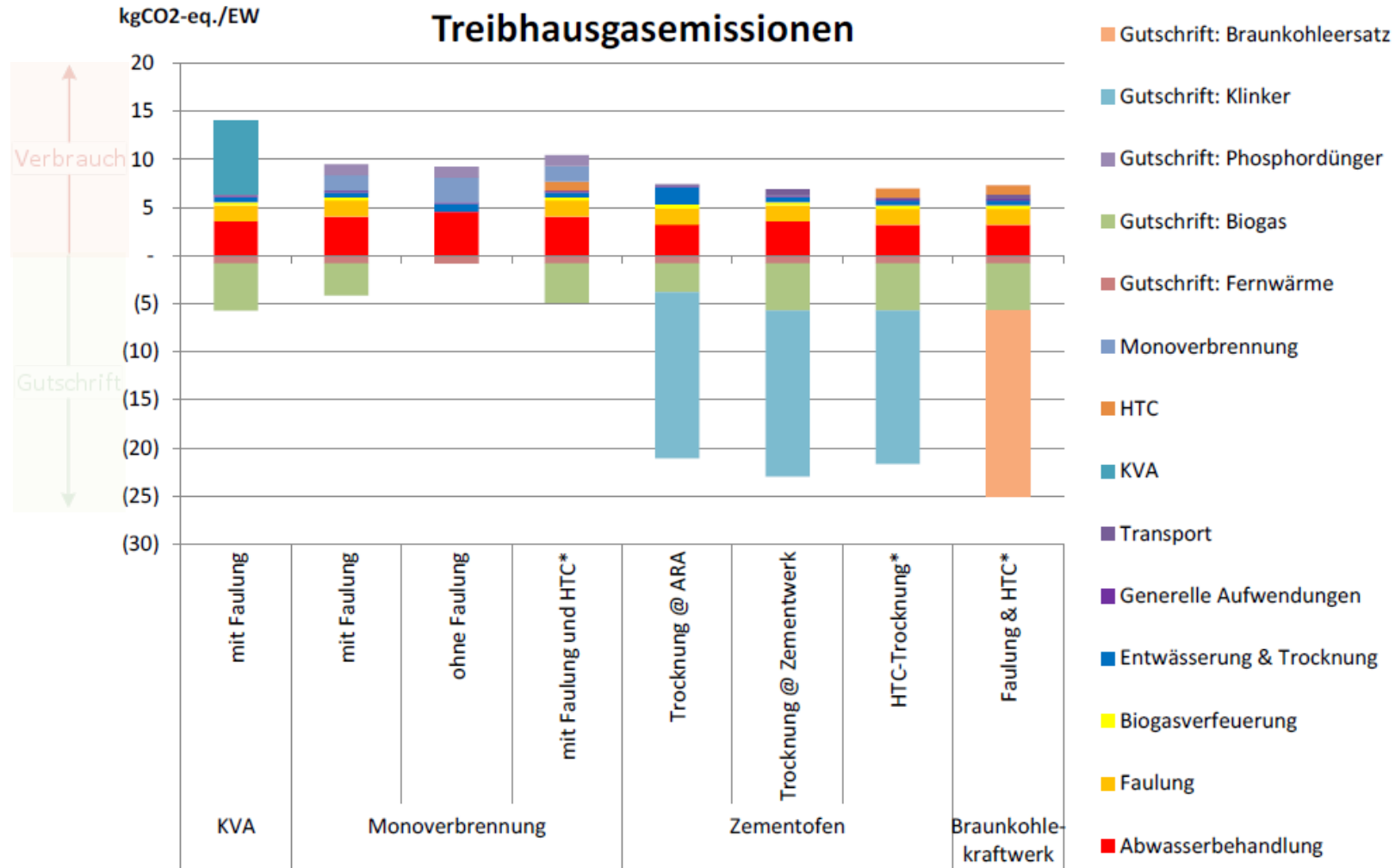
MJ/kg TS

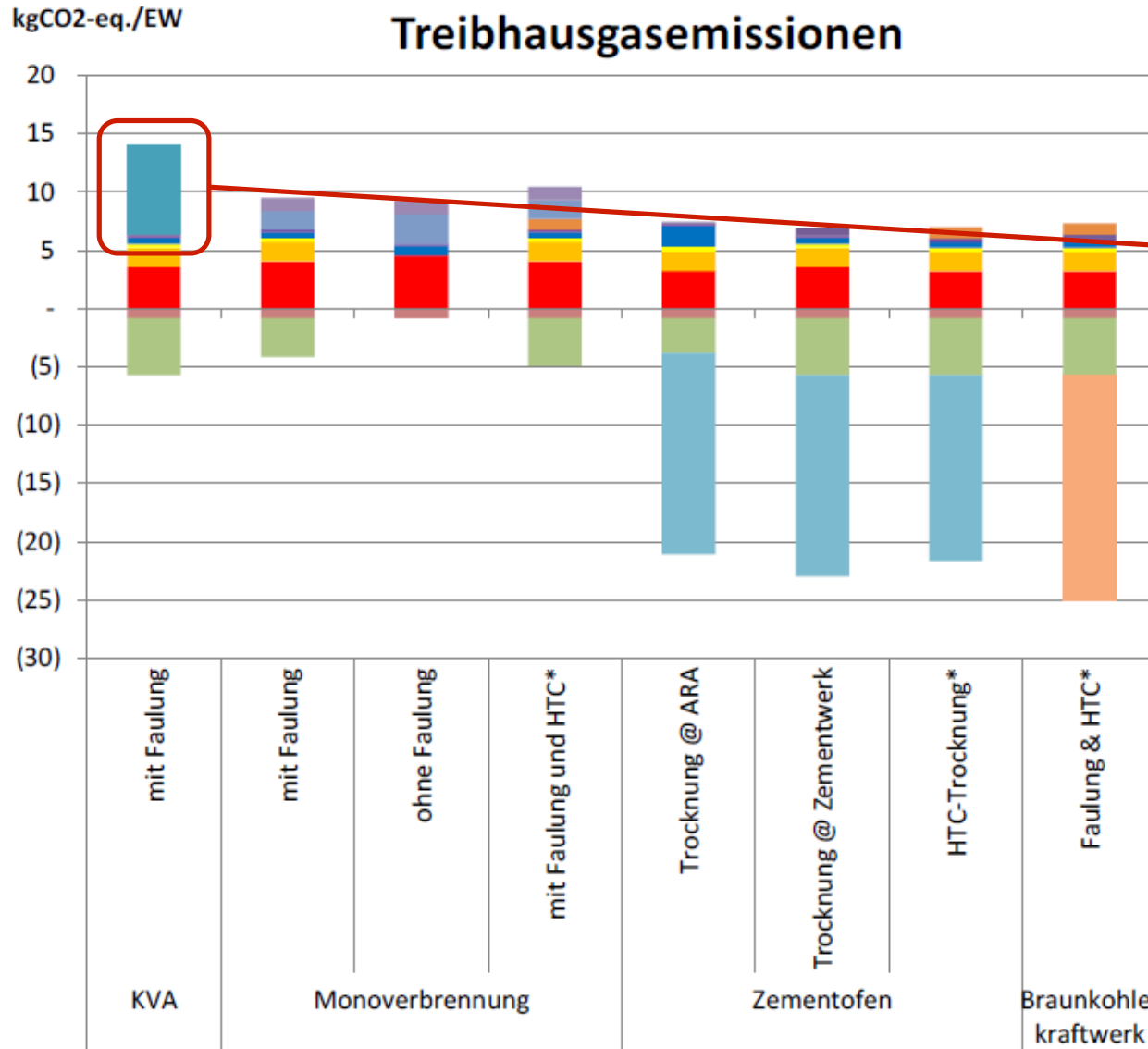


## Umweltindikatoren

Indikator	Einheit
Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbarer Energieträger	MJ-eq.
<b>Treibhauspotenzial</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>-eq.</b>
Überdüngungspotenzial	kg PO <sub>4</sub> -eq
Humantoxizitätspotenzial	kg 1,4-DCB-eq
Aquatisches und terrestrisches Ökotoxizitätspotenzial	kg 1,4-DCB.eq.
Volumen hochradioaktiver Abfälle	m <sup>3</sup>
Umweltbelastungspunkte (Methode der ökologischen Knappheit)	UBP 06
Verbrauch abiotischer Ressourcen (kumulierter Exergieaufwand von Metallen und Mineralien)	MJ-eq.

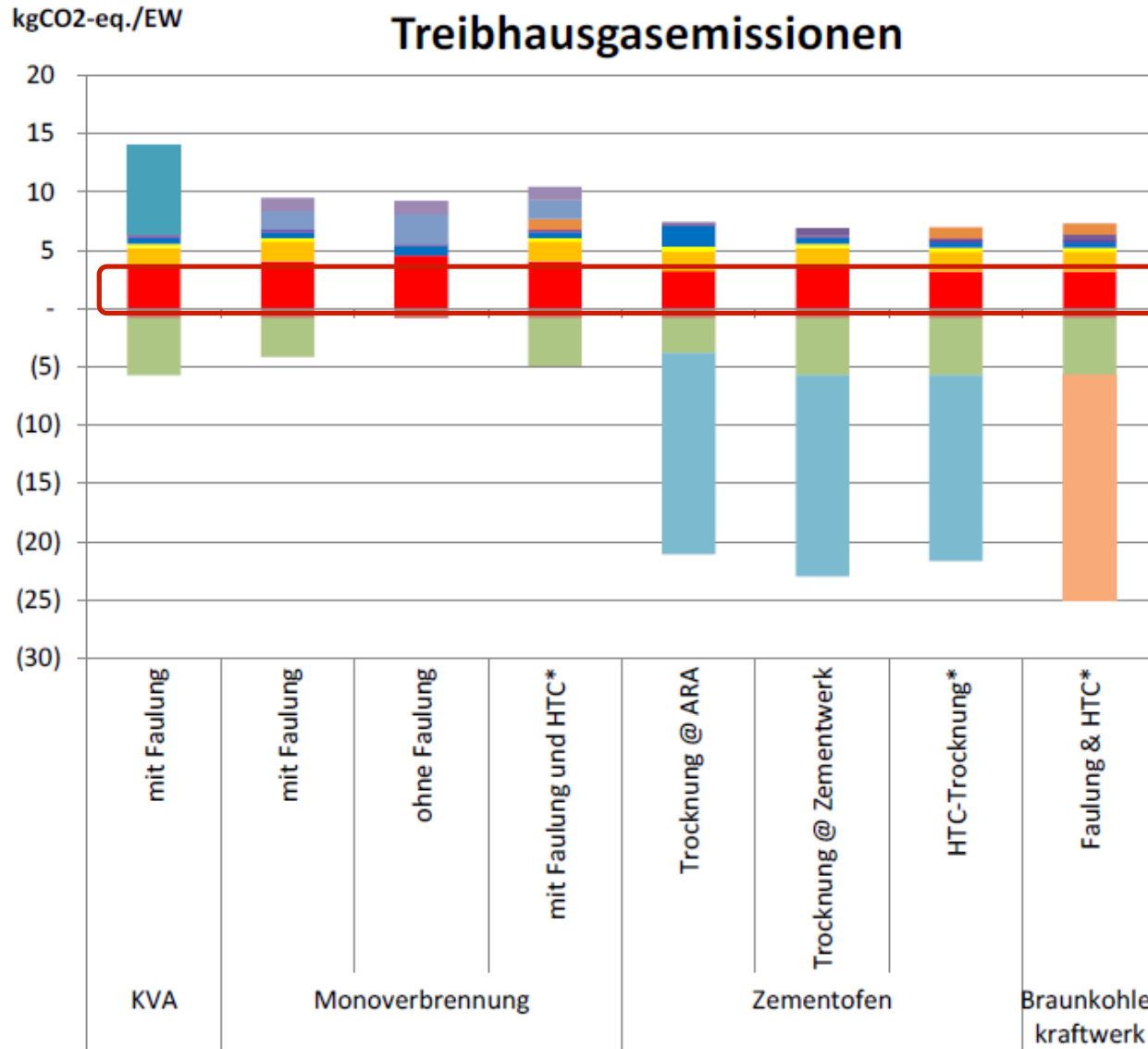






**KVA:**

→ Ins Gewicht fällt v.a. Zementverbrauch für die Verfestigung deponierter Reststoffe

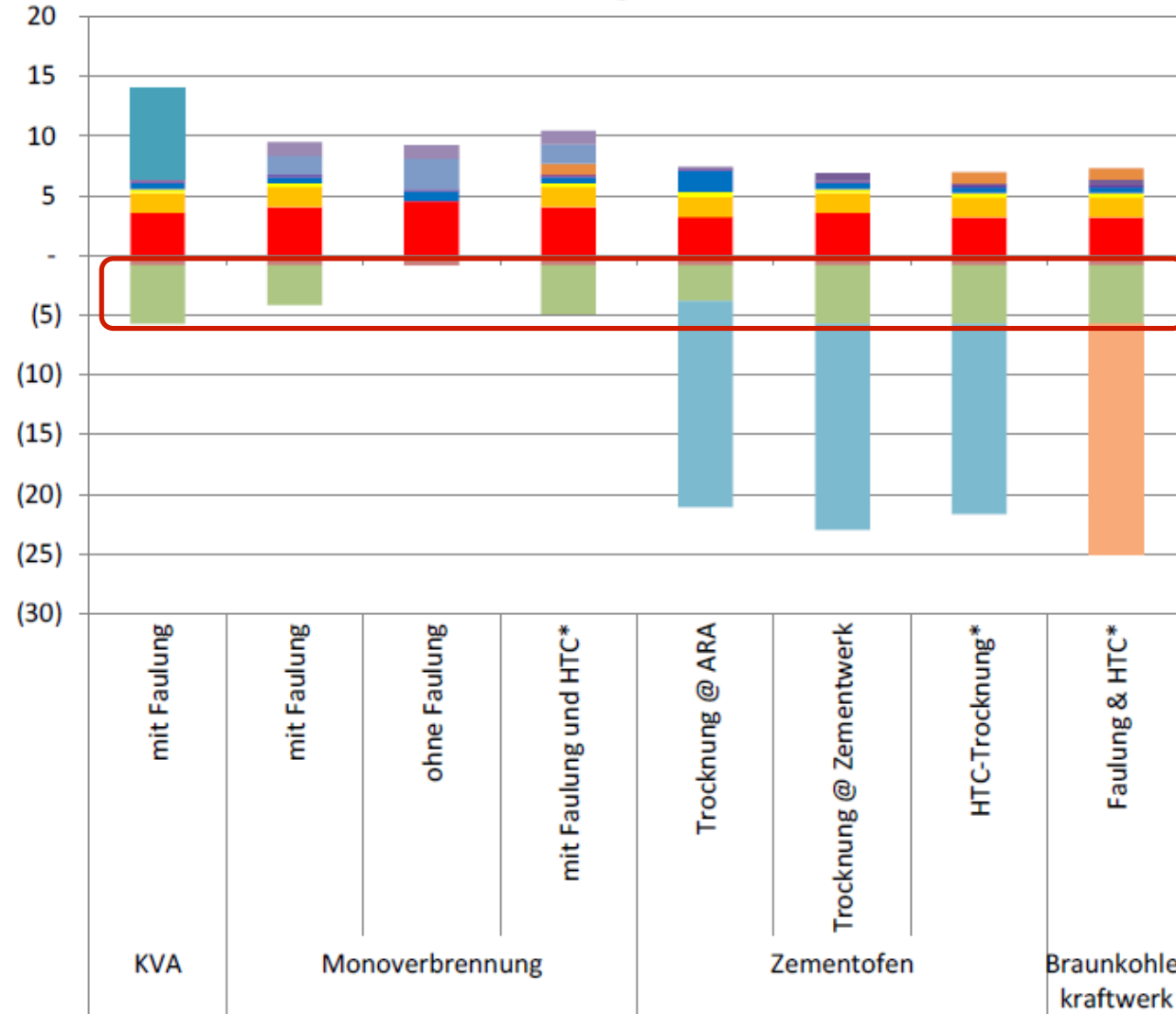


**Abwasser-  
behandlung**

→ Insbesondere  
Eisen(III)-chlorid  
ist relevant

kgCO<sub>2</sub>-eq./EW

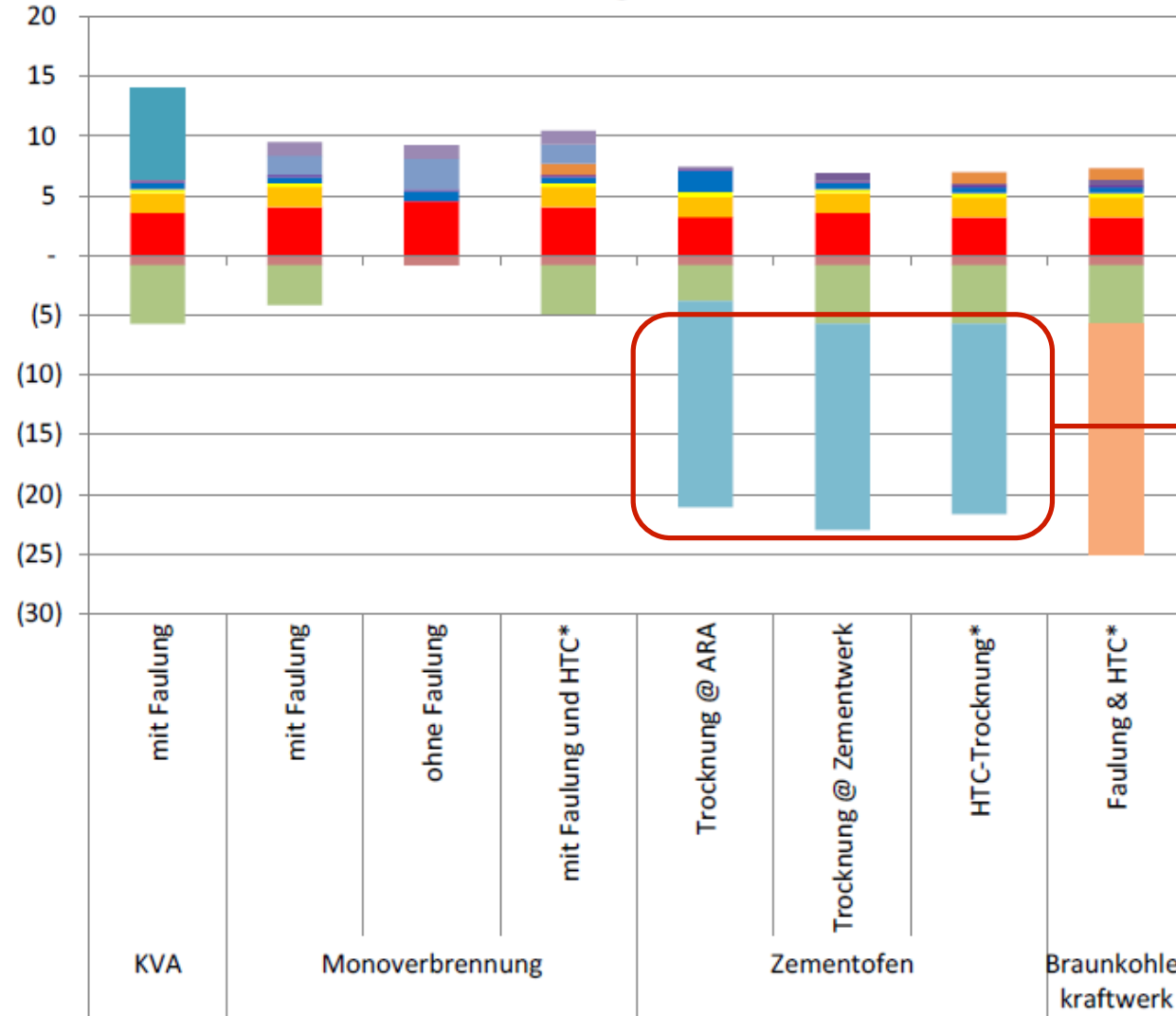
## Treibhausgasemissionen



**Gutschrift  
Biogas**

kgCO<sub>2</sub>-eq./EW

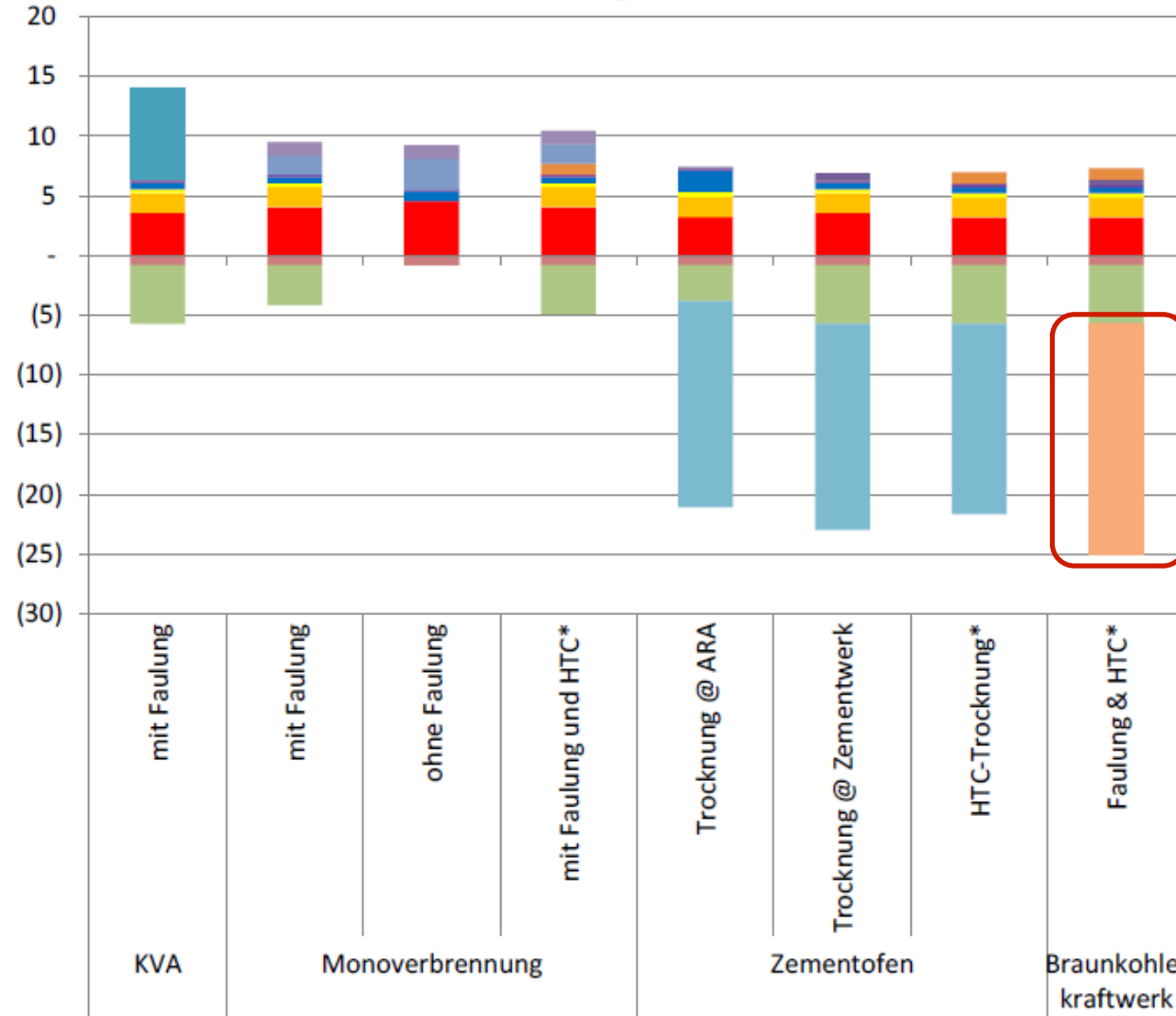
## Treibhausgasemissionen



**Gutschrift  
Klinker**

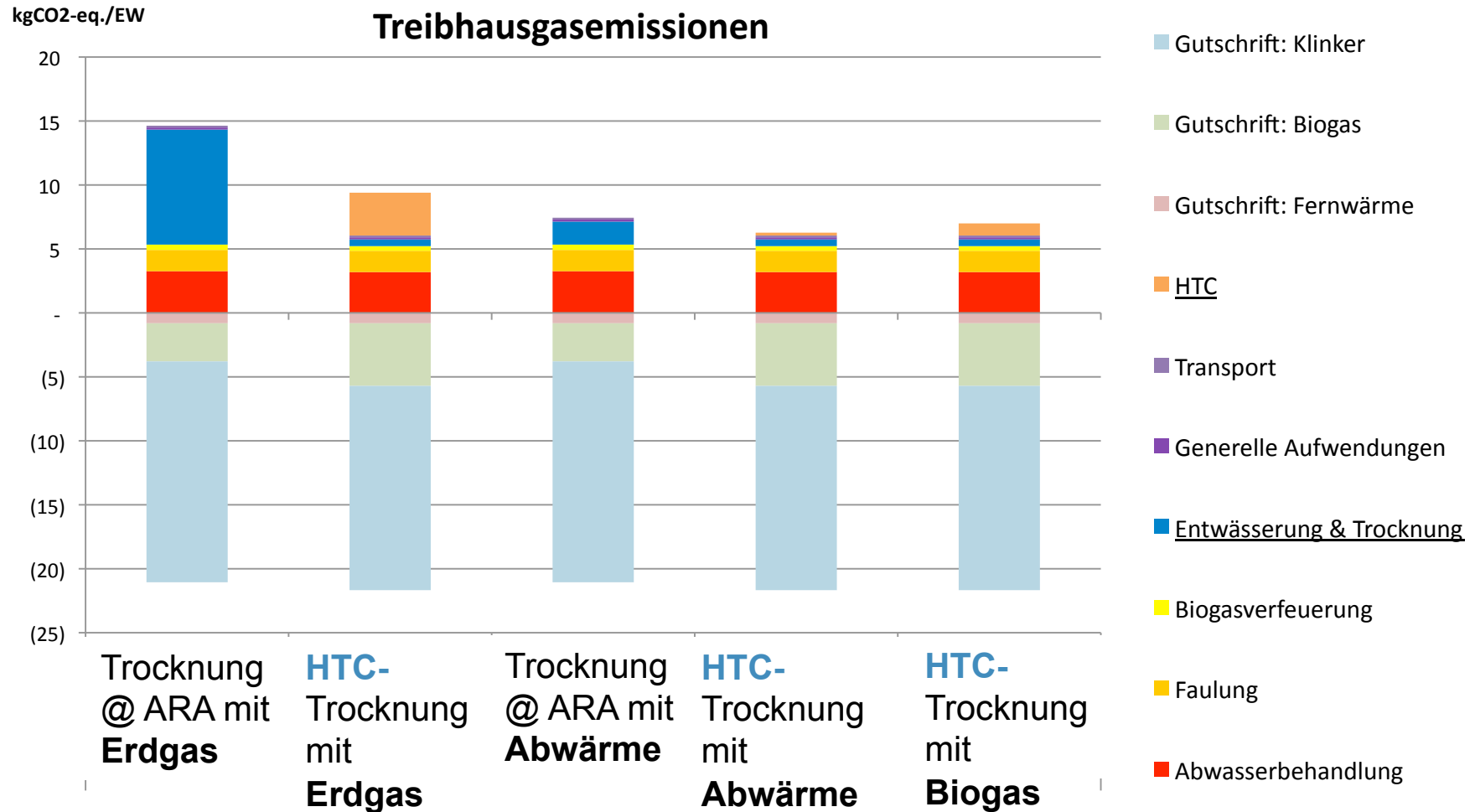
kgCO<sub>2</sub>-eq./EW

## Treibhausgasemissionen



**Gutschrift  
Braunkohle-  
ersatz**

# Alternative Energieträger für Klärschlamm-Trocknung und HTC bei anschließender Entsorgung im Zementofen



## Schlussfolgerungen

1. HTC-Kohle aus Klärschlamm ist ein wertvolles Produkt, mit dem fossile Energieträger ersetzt werden können
2. Der Energieverbrauch für das HTC-Verfahren ist geringer als für eine herkömmliche Klärschlamm-trocknung
  - Erfolgt die Klärschlamm-Trocknung mit fossilen Energieträgern, dann schneidet HTC aus Umweltsicht deutlich besser ab
  - Wird für HTC Abwärme verwendet, schneidet die Technologie am vorteilhaftes-ten ab
3. HTC-Entsorgungswege würden noch besser abschneiden, wenn eine P-Rückgewinnung erfolgt (z.B. mit Sandabscheidung):
  - Technisch machbar
  - Aufgrund fehlender Daten keine Ökobilanzierung für ein entsprechendes Szenario



## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Schlussbericht erhältlich unter: [www.iunr.zhaw.ch/erneuerbareenergien](http://www.iunr.zhaw.ch/erneuerbareenergien) →  
HTC

### Life Cycle Assessment @ ZHAW

Matthias Stucki, Lea Eymann

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Grüntal, Postfach, CH-8820 Wädenswil

Phone: +41 58 934 57 19

E-Mail: [matthias.stucki@zhaw.ch](mailto:matthias.stucki@zhaw.ch) / [lea.eymann@zhaw.ch](mailto:lea.eymann@zhaw.ch)

